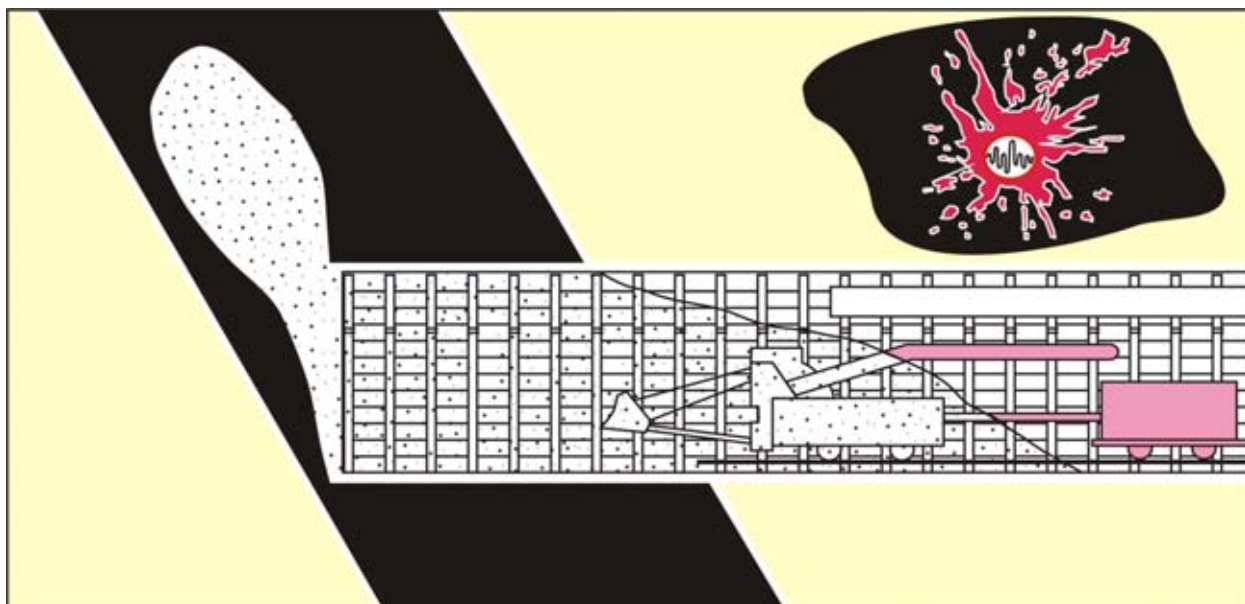


Большинский М.И., Лысиков Б.А., Каплюхин А.А.

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ШАХТАХ



Большинский М.И., Лысиков Б.А., Каплюхин А.А.

ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ В ШАХТАХ

Севастополь - Донецк

2003

УДК 622.81
ББК 331.181.11
Б-79

М.И. Большинский, Б.А. Лысиков, А.А. Каплюхин. Газодинамические явления в шахтах. Монография. – Севастополь: «Вебер», 2003. – 284 с.

В монографии представлены современное понятие о газодинамических явлениях в шахтах: суфлярных выделениях газа, обрушения массива горных пород и угольных пластов, внезапных разрушения почвы в горных выработках, внезапных выбросах угля, породы и газа, горных ударах. Приведены способы прогноза и методы предотвращения этих явлений. Излагается сущность автоматизированного контроля эффективности выполнения противовыбросных мероприятий. Предлагается новая классификация газодинамических явлений в шахтах.

Для инженерно-технических работников угольных предприятий, проектных и научно-исследовательских организаций, преподавателей и студентов горных специальностей высших учебных заведений и техникумов.

В монографії надано сучасне поняття про газодинамічні явища в шахтах: суфлярні виділення газу, обрушення масиву гірських порід та угольних пластів, раптові руйнування ґрунту в гірських виробках, раптові викиди вугілля, породи та газу, гірничі удари. Надані засоби прогнозування та методи запобігання цих явищ. Викладається сутність автоматизованого контролю ефективності виконання противикидних заходів. Пропонується нова класифікація газодинамічних явищ в шахтах.

Для інженерно-технічних робітників вугільних підприємств, проектних та науково-дослідних організацій, викладачів та студентів гірського фаху вищих навчальних закладів та технікумів.

УДК 622.81
ББК 331.181.11

ISBN 966-7968

М.И. Большинский,
Б.А. Лысиков,
А.А. Каплюхин, 2003
ООО «Норд Компьютер»,
2003

ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр.
Предисловие	9
Глава 1 СУФЛЯРНЫЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ГАЗА	10
1.1 Горно-геологические условия проявления суфляров.....	10
1.2 Прогнозирование зон, опасных по суфлярным выделениям газа	15
1.3 Текущий прогноз суфлярных выделений газа.....	16
1.4 Предотвращение суфлярных выделений газа.....	17
1.4.1 Надрработка и подработка пластов, опасных по суфлярным выделениям газа	17
1.4.2 Дегазация угольных пластов и вмещающих пород	18
1.4.3 Предотвращение суфлярных выделений газа при проведении квершлагов и полевых выработок	18
1.4.4 Предотвращение суфлярных выделений газа при проведении выработки по пласту.....	19
1.4.5 Ликвидация суфлярных выделений газа.....	20
1.4.6 Слоеое скопление метана	21
Глава 2 ОБРУШЕНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД И УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ	28
2.1 Общие положения	28
2.2 Горно-геологические и горно-технические условия и механизм обрушения угольных пластов и горных пород	29
2.3 Мероприятия по предотвращению обрушения породы в призабойном пространстве очистных выработок.....	30
2.4 Мероприятия по предотвращению обрушения породы в подготовительных выработках.....	35
2.5 Мероприятия по предотвращению сползания боковых пород	39
2.5.1 Прогнозирование зон, опасных по сползанию боковых пород	40

2.5.2	Комплекс мероприятий по предотвращению сползания боковых пород	41
2.6	Мероприятия по предотвращению обрушений угольных пластов	44
2.6.1	Характерные признаки обрушения угля и разделение угольных пластов на категории опасности по обрушению	44
2.6.2	Комплекс мер по предотвращению обрушений угольных пластов	45
2.6.3	Прогнозирование зон, опасных по обрушениям угля	46
2.6.4	Способы предотвращения внезапных обрушений угля	49
2.6.4.1	Общее положение	49
2.6.4.2	Технологические схемы, обеспечивающие предотвращения обрушений	50
2.6.4.3	Специальные меры по предотвращению обрушений угля	53
Глава 3	ВНЕЗАПНЫЕ РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД ПОЧВЫ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ	59
3.1	Горно-геологические условия проявления внезапных разрушений пород почвы в горных выработках	59
3.2	Природа и механизм внезапных поднятий пород почвы	63
3.3	Технология проведения горных выработок в породах, опасных по внезапным разрушениям пород почвы	77
3.3.1	Прогноз внезапных разрушений пород почвы	77
3.3.2	Способы предотвращения внезапных разрушений пород почвы	78
3.3.2.1	Опережающая отработка защитных пластов	78
3.3.2.2	Изменение положения выработки	79

3.3.2.3	Мероприятия по обеспечению безопасности ведения горных работ в породах, опасных по внезапным разрушениям почвы	80
Глава 4	ВНЕЗАПНЫЕ ВЫБРОСЫ УГЛЯ, ПОРОД И ГАЗА	82
4.1	Геологические и горно-технические условия проявления внезапных выбросов	82
4.1.1	Геологические и горно-технические условия проявления выбросов угля и газа	83
4.1.2	Геологические и горно-технические условия проявления выбросов песчаников и газа	88
4.1.3	Геологические и горно-технические условия проявления выбросов калийных солей и газа ...	90
4.2	Петрографический состав и физико-механические свойства выбросоопасных угольных пластов и пород.....	93
4.2.1	Петрографический состав и физико-механические свойства угольных пластов	93
4.2.2	Петрографический состав и физико-механические свойства песчаников	111
4.2.3	Петрографический состав и физико-механические свойства калийных солей.....	117
4.3	Газоносность и газодинамические свойства выбросоопасных угольных пластов и пород	119
4.3.1	Газоносность и газодинамические свойства угольных пластов	119
4.3.2	Газоносность и газодинамические свойства песчаников	132
4.3.3	Газоносность и газодинамические свойства калийных солей	136
4.4	Напряженно-деформированное и газодинамическое состояние угольных пластов и пород.....	140
4.5	Источники накопления и условия реализации потенциальной энергии, высвобождающейся при отторжении призабойной части угольных пластов и пород	157

4.5.1	Реализация потенциальной энергии упругого деформирования угольных пластов и пород.....	158
4.5.2	Условия реализации энергии газа	160
4.6	Энергетические условия выбросов	166
4.7	Влияние горно-геологических условий, физико-механических свойств, газодинамического и напряженного состояния на выбросоопасность угольных пластов и пород.....	171
4.8	Общность природы выбросов угля и пород	180
4.9	Механизм разрушения угольных пластов и пород при выбросах	182
4.9.1	Общие положения	182
4.9.2	Деформирование призабойной части угольных пластов и пород при их отторжении.....	185
4.9.3	Условия спонтанного разрушения призабойной части угольных пластов и пород.....	189
4.10	Перемещение разрушенных при выбросах угля и породы по горным выработкам	198
4.11	Прогнозирование выбросоопасности угольных пластов и пород.....	200
4.11.1	Общие положения	200
4.11.2	Прогнозирование выбросоопасности угольных пластов.....	202
4.11.3	Прогнозирование выбросоопасности зон в угольных пластах.....	204
4.11.3.1	Способ прогноза выбросоопасных зон на угольных пластах по начальной скорости газовыделения.....	208
4.11.3.2	Способ прогноза выбросоопасных зон в угольных пластах по скорости газовыделения из угольного штыва.....	209
4.11.3.3	Способ прогноза выбросоопасных зон по интенсивности инфракрасного излучения угля	211
4.11.3.4	Способ прогноза выбросоопасности перед вскрытием угольных пластов.....	211

4.11.4	Прогнозирование выбросоопасности пород.....	212
4.11.4.1	Общие положения.....	212
4.11.4.2	Способ прогноза выбросоопасности песчаников.....	217
4.11.4.3	Способ прогноза выбросоопасных зон в породах по делению кернов на диски	218
4.11.4.4	Прогнозирование выбросоопасных зон в калийных солях	220
4.12	Предотвращение выбросов угля, пород и газа	221
4.12.1	Общие положения.....	221
4.12.2	Способы предотвращения выбросов угля, породы и газа.....	224
4.12.2.1	Предотвращение выбросов угля и пород путем предварительной отработки защитных угольных пластов....	224
4.12.2.2	Предотвращение выбросов угля и пород образованием разгрузочных щелей и полостей	225
4.12.2.3	Предотвращение выбросов при проведении выработок по выбросоопасным породам комбайнами роторного типа	227
4.12.2.4	Предотвращение выбросов бурением дренажных шпуров и скважин.....	227
4.12.2.5	Предотвращение выбросов угля и пород путем гидрообработки выбросоопасного массива	228
4.13	Внезапные выдавливания угля.....	229
4.14	Контроль эффективности способов предотвращения выбросов угля и газа	230
4.14.1	Контроль эффективности по динамике начальной скорости газовыделения	231
4.14.2	Автоматизированный контроль эффективности выполнения противовыбросных мероприятий	232
Глава 5	ГОРНЫЕ УДАРЫ.....	236
5.1	Горно-геологические условия проявления горных ударов	236

5.2	Физико-механические свойства удароопасных угольных пластов.....	238
5.3	Напряженное состояние удароопасных угольных пластов.....	239
5.4	Механизм разрушения массива горных пород при горных ударах	244
5.5	Принципы прогноза и предупреждения горных ударов в угольных пластах	248
5.6	Прогноз горных ударов	249
5.6.1	Установление удароопасности месторождения.....	249
5.6.1.1	Визуальный метод оценки удароопасности месторождения.....	249
5.6.1.2	Методы оценки напряженного состояния удароопасного массива горных пород.....	251
5.6.1.3	Методы оценки способности пород к накоплению потенциальной энергии и склонности к хрупкому разрушению.....	254
5.6.2	Региональный прогноз удароопасности в пределах шахтного поля	255
5.6.3	Методы прогноза степени удароопасности массива горных пород.....	255
5.7	Способы предотвращения горных ударов	256
5.7.1	Способы снижения горного давления	256
5.7.2	Способы снижения напряжений в массиве горных пород, прилегающим к забою выработки	259
Глава 6	КЛАССИФИКАЦИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ШАХТАХ.....	261
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	272
	ЛИТЕРАТУРА	275

ПРЕДИСЛОВИЕ

При ведении горных работ в шахтах происходят различные газодинамические явления: внезапные выбросы угля, пород и газа, горные удары, отжим призабойной части угольных пластов, выдавливания угля, внезапные поднятия пород почвы горных выработок, обрушения горных пород и угля, сползание вмещающих пород при отработке угольных пластов крутого залегания, суфлярные выделения газа.

Все эти явления создают различные опасности в шахтах, приводят к травмированию горнорабочих, ухудшают технико-экономические показатели горных работ.

Некоторые явления, имеющие различную природу и механизм, иногда очень трудно различить по внешним признакам происшедшего явления.

Для надежного прогнозирования и предотвращения этих явлений необходимо располагать сведениями о предупредительных и внешних признаках, происшедшего явления, знать природу и механизм этих явлений, а также иметь достоверную классификацию явлений для правильного их распознавания.

Природа и механизм некоторых газодинамических явлений довольно хорошо изучены (суфлярные выделения, обрушения пород и угля и другие).

По поводу природы и механизма внезапных выбросов угля, породы и газа, внезапных поднятий пород почв в горных выработках и некоторых других явлений до настоящего времени нет единого мнения.

В монографии наибольшее внимание уделено тем газодинамическим явлениям, природа и механизм которых наименее изучены до настоящего времени.

ГЛАВА 1. СУФЛЯРНЫЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ГАЗА

1.1 Горно-геологические условия проявления суфляров

Внезапные выделения газа из трещин и полостей, образовавшихся в результате тектонических процессов в массиве горных пород называются суфлярными выделениями (суфлярами) геологического происхождения. Внезапное выделение газа при вскрытии суфляров может произвести к загазированию выработок, вследствие чего создается взрывоопасная ситуация. Кроме того, недостаток кислорода, возникающий при загазировании выработок вызывает удушье людей, находящихся в выработке.

Суфлярные выделения газа происходят во всех газоносных угледобывающих районах. Подробно суфлярные выделения газа описаны в [65, 67].

Суфлярные выделения газа происходят в очистных, капитальных и подготовительных выработках, проводимых по породам и по углю, на пластах пологого, наклонного и крутого залегания.

Продолжительность газовыделения при суфлярных выделениях составляет от нескольких часов до нескольких лет, а дебит достигает 7500-8500 м³ в сутки. Газы из суфляров по составу в основном метановые. Одновременно с газом при суфлярном выделении может выделяться вода. Минимальная глубина от поверхности суфлярных выделений газа составляет 20-25 м.

Суфляры наблюдались в зоне газового выветривания, т.е. выше границы метановых газов.

Около 90% суфлярных выделений газа произошло в капитальных и подготовительных выработках и лишь около 10% в очистных.

Интенсивность суфлярных выделений газа выше в очистных выработках. Плотность суфлярных выделений газа с увеличением глубины горных работ на современных глубинах возрастает. Но, в связи с тем, что с увеличением глубины горных работ число геологических нарушений уменьшается следует ожидать и соответственно уменьшения плотности суфлярных выделений.

Увеличение с ростом глубины газоносности в угольных пластах и вмещающих породах способствует аккумуляции газа в разного рода ловушках, чем объясняется влияние глубины на плотность и интенсивность суфлярных выделений.

Суфляры приурочены к пликативным (42%), дизъюнктивным (46%) и пликативным, осложненным дизъюнктивным нарушениям (12%).

Пликативные нарушения, в которых происходят суфлярные выделения газа, представляют собой флексуры или антиклинальные и синклинальные изгибы пород по простиранию или падению, шириной и длиной до 1,0-2,0 км с амплитудой не превышающей нескольких десятков метров. Эти нарушения образовались в результате вторичного тектогенеза на фоне крупных складок. Минимальный изгиб пликативных нарушений (отношение высоты складки к ее длине), при которой происходят суфлярные выделения газа, составляют $1/50$ для антиклинальных складок и $1/35$ для синклинальных. В антиклинальных складках с величиной изгиба от $1/50$

до $1/35$ суфляры происходят в своде складки, при величине изгиба от $1/35$ до $1/10$ – как в своде, так и в основании, при изгибе свыше $1/10$ – как правило в основании складки. В синклинальных складках суфляры происходят только в седловине. При непосредственной кровле пласта, представленной известняками, суфлярное выделения газа происходит и при величине изгиба пликативного нарушения менее $1/50$ и возникает в основании складок.

Суфлярные выделения газа в дизъюнктивных нарушениях происходят в надвигах и сбросах не имеющих выходов на поверхность, либо в самих нарушениях, либо на расстоянии не более 20 м от них.

При увеличении амплитуды нарушения, расстояние от смещения до места расположения суфляров возрастает. Чаше суфляры встречаются в мелко амплитудных нарушениях, являющихся апофизами крупных нарушений.

Суфляры происходили при давлении газа в нарушениях не менее 0,2 МПа.

Величина трещинообразования зависит от физико-механических свойств горных пород в районе геологических нарушений, что свидетельствует о наличии связи суфлярных выделений газа с литологическим составом пород. Повышенной склонностью к трещинообразованию обладают упругие породы. В известняках могут образовываться большие полости вследствие их выщелачивания.

Коллекторами газа могут быть трещиноватые зоны, которые широко развиты в песчаниках начального катагенеза (марки Ж - К - ОС), известняках, угольных пластах.

Суфляры геологического происхождения по площади пластов расположены не равномерно и представляют собой различно ориентированные зоны, тесно связанные с ориентировкой геологических нарушений. Зоны суфлярных выделений имеют протяженность от нескольких десятков до нескольких тысяч метров по простиранию и падению пластов. Суфлярные выделения ориентированы в основном в крест простиранию пластов. Зональное проявление суфляров наблюдается не только в пределах шахтных полей, но и в пределах месторождений.

Суфлярные выделения газа могут происходить из трещин и пустот возникающих при ведении горных работ. Эти суфлярные выделения называются эксплуатационными суфлярами. Эксплуатационные суфляры возникают вследствие осадки основной кровли, разгрузки пласта и пород от горного давления, образования трещин в результате опорного давления в районе целиков или створе горных работ.

Эксплуатационные суфляры, образовавшиеся в результате осадки основной кровли происходят в вентиляционных штреках и в верхних частях лав при труднообрушающихся породах кровли. В этих случаях дебит газа большой, но продолжительность газовыделения, как правило не превышает 20-25 суток.

Интенсивность сдвижения пород кровли на пластах крутого залегания меньше, чем на пологих, поэтому суфляры при осадке пород кровли на этих пластах не наблюдаются.

Суфляры, возникающие вследствие разгрузки угольных пластов и пород от горного давления, наблюдаются в тех случаях, когда в почве или кровле выработки на небольшом расстоянии залегают угольные пласты, пропластки или газоносные породы. Метан в этих случаях поступает в выработку вследствие деформации пород и образования в них трещин при наличии в кровле прослойков и пластов на расстоянии не более 10 м и в почве – не более 5 м, а при наличии в почве пучащих пород – до 15 м.

Газ, выделяющийся при суфлярных выделениях, в основном состоит из метана и тяжелых углеводородов. Содержание высших гомологов метана с увеличением глубины залегания угольных пластов возрастает. Содержание метана при суфлярных выделениях газа составляет 80-95%. Иногда в выделяющемся газе содержится в небольших количествах гелий. Незначительные количества гелия в составе газа, выделяющегося при суфлярах свидетельствует о том, что источником суфляров являются пласты и пропластки, залегающие на небольшом расстоянии от выработок, и подтока газа из больших глубин не происходит.

Таким образом, условия проявления суфлярных выделений газа (*природа суфляров*) определяются наличием газа под большим давлением в трещинах и полостях, образовавшихся в массиве горных пород, вследствие тектонических процессов, происходивших в земной коре или при ведении горных пород.

Механизм суфлярного выделения газа представляет собой свободное истечение газа, находящегося под давлением, из трещин и полостей в массиве горных пород при их вскрытии горными выработками или скважинами.

1.2 Прогнозирование зон, опасных по суфлярным выделениям метана

Прогнозирование осуществляется с целью оконтуривания участков, опасных по суфлярным выделениям газа. Для накопления исходного материала с целью прогнозирования расположения зон, опасных по суфлярным выделениям, необходимо иметь детальные сведения о происшедших ранее суфлярах, а также планы горных работ, на которых нанесены места происшедших суфляров и геологические нарушения, выявленные геологоразведочными скважинами или горными работами с указанием типа нарушения (закрытое или открытое).

При разработке сближенных пластов на планы горных работ должны быть нанесены проекции угольных целиков, оставленных на смежных пластах, а также взаимное расположение горных работ в свите разрабатываемых пластов.

В связи с тем, что суфляры геологического происхождения имеют зональное проявление, связанное с характером и ориентировкой геологических нарушений, последние должны проектироваться по падению или простиранию пласта на участки шахтного поля, намеченные к отработке. Размеры, опасных по суфлярным

выделениям зон, при дизъюнктивных нарушениях составляет около 20 м в каждую сторону от плоскости смесителя нарушения.

В случае пликативных нарушений или пликативных осложненных дизъюнктивными, ширина опасных по суфлярам зон равна ширине пликативного нарушения.

На смежных пластах часть угольного массива под и над целиками может быть опасной по суфлярным выделениям газа.

1.3 Текущий прогноз суфлярных выделений газа

При приближении выработки к зонам, опасным по суфлярным выделениям газа, и проведении выработок в этих зонах должно производиться бурение разведочных скважин с целью предотвращения внезапного прорыва газа в выработку, уточнения размеров и расположения опасных зон. Разведочные скважины должны буриться, начиная с 20 м от опасной по суфлярам зоны. При приближении выработки проводимой по простиранию к целику разведочные скважины должны буриться с расстояния от целика, равного мощности пород между пластами, а при проведении выработки по падению или восстанию пласта с расстояния, равного 0,8 междупластья. При проведении выработок вкрест простирания пластов разведочные скважины необходимо бурить с расстояния 10 м от пласта. Разведочные скважины бурятся диаметром 70-120 мм по направлению движения выработки на глубину 15-20 м при постоянном опережении ими забоя выработки не менее чем на 10 м.

1.4 Предотвращение суфлярных выделений газа

1.4.1 Надрработка и подработка пластов, опасных по суфлярным выделениям газа

Суфляры геологического происхождения могут быть предотвращены предварительной отработкой выше или ниже лежащих угольных пластов.

Расстояние, на которое проявляется защитное действие предварительной отработки, определяется по формуле:

при подработке:

$$h = Nm(1,2 + \cos \alpha), \quad (1.1)$$

где h – максимальное расстояние, на которое проявляется защитное действие подработки;

N – коэффициент, зависящий от способа управления кровлей и структуры вмещающих пород. При полном обрушении $N = 60$ м, а при частичной закладке $N = 45$ м;

m – мощность защитного пласта, м;

α – угол падения пласта, град.

при надрработке:

$$h = Nm(1,2 - \cos \alpha), \quad (1.2)$$

При надрработке или подработке очистные работы на защитных пластах должны опережать забои защищаемого пласта на расстояние не менее мощности пород междупластья, а на пластах крутого залегания – на расстояние не менее удвоенной мощности пород междупластья.

1.4.2 Дегазация угольных пластов и вмещающих пород

Для предотвращения суфлярных выделений газа применяют дегазацию угольных пластов и пород. Скважины для дегазации бурят таким образом, чтобы они пересекали возможно большее число трещин в породном и угольном массиве и выходили за контур выработки. Скважины бурят длиной 25-50 м и диаметром 50-150 мм. Дегазационные скважины бурят через задвижку и сальниковое уплотнение, чтобы не допустить поступление метана в выработку из скважины в процессе ее бурения. Газ, выделяющийся в скважину, отводится в исходящую струю воздуха или подключается к газопроводу находящемуся под вакуумом. Выпуск газа в выработку должен осуществляться через диффузор-смеситель.

1.4.3 Предотвращение суфлярных выделений газа при проведении квершлага и полевых выработок

При подходе квершлага в зоне, опасной по суфлярным выделениям, к газоносному пласту крутого залегания для предотвращения суфлярных выделений в выработку, на расстояние от забоя, равном 3-5 м, из забоя выработки бурят 5-6 дегазационных скважин с таким расчетом, чтобы они пересекали пласт.

При приближении выработки к пластам пологого и наклонного залегания в боках выработки проводятся камеры на расстоянии 15-20 м друг от друга, из которых бурятся скважины под углом 5-15° к оси выработки.

В особо сложных геологических условиях из забоя выработки по направлению к нарушению бурят серию скважин диаметром 80-100 мм и длиной 1,5-20 м под углом $3-6^{\circ}$ к оси выработки, в которых герметизируют обсадные трубы. Через обсадные трубы бурят скважины диаметром 50-80 мм до вскрытия ими нарушения и в каждую скважину нагнетают цементный раствор. Затем бурят и цементируют таким же образом вторую серию скважин, которая перебурирует массив горных пород на расстояние 10-13 м за нарушением. Из камер, пройденных в боках выработки, бурят по 2-3 дегазационные скважины веерообразно в вертикальной плоскости под углом $5-15^{\circ}$ к оси выработки, длиной, превышающей длину второй серии цементационных скважин (30-40 м) и подсоединяют их к трубопроводу, находящемуся под вакуумом.

1.4.4 Предотвращение суффлярных выделений газа при проведении выработок по пласту

При проведении выработок по угольным пластам в зонах, опасных по суффлярным выделениям газа, из камер, пройденных в боках выработки, бурят по одной дегазационной скважине по углю и по одной - две скважины по газоносным породам почвы или кровли пласта, из которых возможно поступление газа в выработку.

При приближении выработки к целику дегазационные скважины могут быть пробурены как из проводимой выработки, так и из ближе расположенных выработок. Скважины бурятся такой длины, чтобы ими перекрывался весь участок пласта над и под целиком или возможно большая его длина.

При эксплуатационных суфлярах, источниками которых являются трещиноватые газоносные породы или угольные пласты и прослойки, залегающие в кровле на расстоянии не более 10 м и в почве не более 5,0 м, для предотвращения суфлярного выделения газа в выработку, из проводимой выработки в ее почву или кровлю бурят дегазационные скважины в неразгруженную зону по нормали к напластованию пласта и подключают эти скважины к дегазационному трубопроводу. Расстояние между скважинами не должно превышать 50 м.

1.4.5 Ликвидация суфлярных выделений газа

Практически при ведении горных работ в зонах суфлярного выделения газа прогнозирование суфляров не осуществляется. По этой причине вскрытие суфляров, как правило, происходит внезапно.

При внезапных вскрытиях суфляров с большим дебитом газа может происходить опрокидывание воздушной струи и загазирование выработок, что приводит к тяжелым последствиям.

Для ликвидации последствий суфлярного выделения газа при вскрытии суфляров с небольшим дебитом безопасная концентрация газа в выработке может обеспечиваться путем усиления проветривания ее. С этой целью в выработке устанавливается дополнительный вентилятор и прокладывается по выработке второй вентиляционный став.

Обеспечение безопасных условий труда в выработках при вскрытии суфляров с высоким дебитом газа осуществляется путем

отвода газа по специально проложенному ставу в исходящую струю воздуха. Для этого под трещину или полость, из которой выделяется газ, устанавливается металлическая воронка, которую необходимо забетонировать для герметизации трещины. К воронке подсоединяют металлический став, по которому газ отводится в исходящую струю воздуха (рис. 1.1).

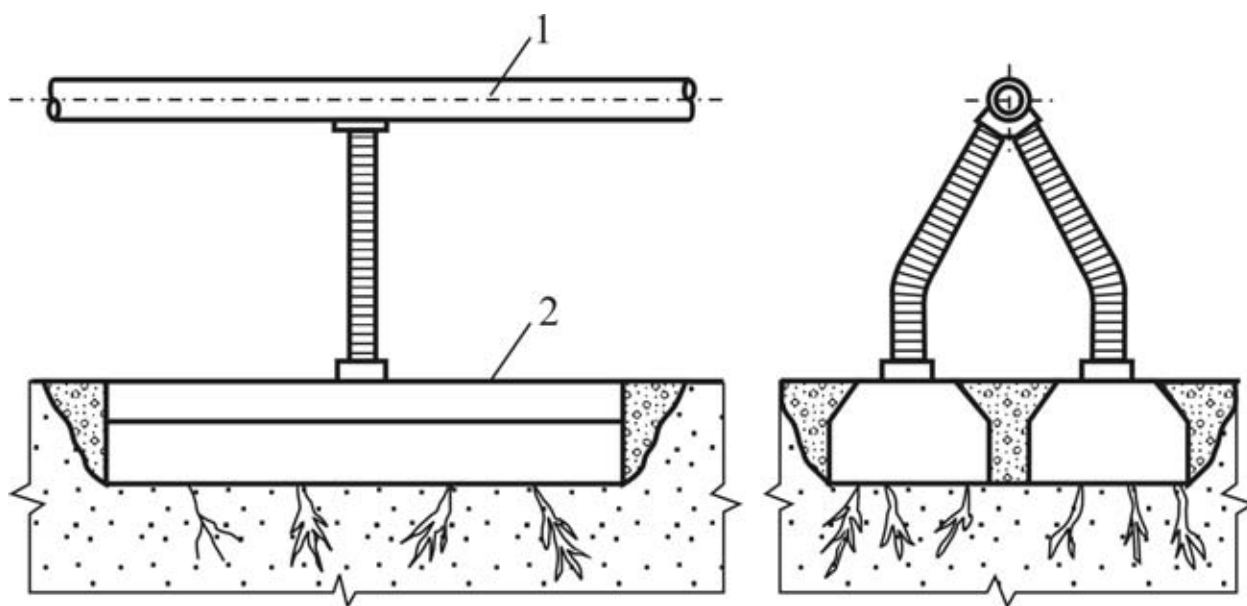


Рис. 1.1. Схема отвода газов при помощи каптажных воронок
1 – дегазационный трубопровод; 2 – каптажные колпаки

1.4.6 Слойные скопления метана

В результате суффляжного выделения газа у кровли выработки могут образовываться слойные скопления метана с концентрацией 2% и более, при толщине слоя более 5 см и длиной свыше 2,0 м. Из опыта ведения горных работ в зонах суффляжных выделений метана известно, что более 10% от общего числа взрывов газа на шахтах произошло из-за слойных скоплений метана, которые являлись проводниками пламени к загазированным участкам.

В результате проведенных исследований установлено, что слоевые скопления чаще всего образуются в выработках, в которых имеет место выделения газа из кровли выработки. Одной из главных причин образования слоевого скопления метана у кровли выработок является меньшая плотность его по сравнению с воздухом.

Горение метана в слое может перейти во взрыв вследствие высокой скорости движения пламени. Шероховатость поверхности выработок и движение воздуха увеличивают вероятность возникновения взрыва.

Высокая скорость движения пламени по слоевому скоплению метана приводит к взвешиванию и взрыву пыли, отложившейся на поверхности выработок.

Ликвидация слоевых скоплений метана может быть достигнута путем подачи воздуха со средней по сечению выработки скоростью, величина которой зависит от источника газовыделения. Величина средней скорости по выработке определяется следующим образом. При концентрированных источниках газовыделения:

- в метановых слоях, образованных отдельными источниками газовыделения из кровли выработки (трещины, шпур, скважины) – по номограмме, представленной на рис. 1.2;
- в слоевых скоплениях, образованных за счет суфлярных выделений метана из почвы и боков выработки – по графику приведенному на рис. 1.3.

При обычном газовыделении в выработке, проводимой по тонкому пласту величина средней скорости подачи воздуха в выработку должны быть более 0,5 м/с, а при проведении выработки по

пласту средней мощности, средняя скорость подачи воздуха определяется по формуле:

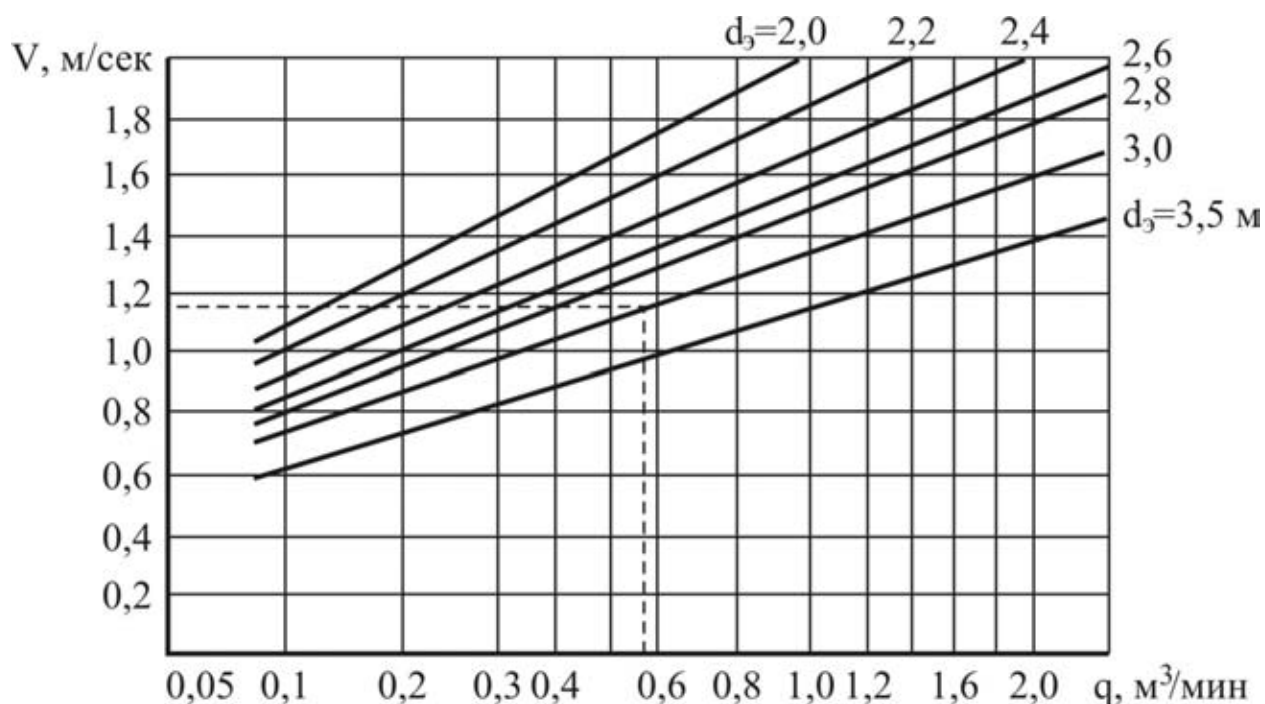


Рис. 1.2. Номограмма определения скорости воздуха для ликвидации слоевых скоплений метана

$d_{э}$ – эквивалентный диаметр выработки, м; $d_{э} = \frac{4S}{P}$; S – площадь поперечного сечения выработки, м²; P – периметр выработки, м

$$V = 10,7 K_{\delta} \sqrt{q_y}, \quad (1.3)$$

где K_{δ} – коэффициент, учитывающий соотношение газовыделения из кровли и боков выработки, определяемый в зависимости от угла падения пласта по номограмме, приведенной на рис. 1.3;

q_y – удельное газовыделение из кровли выработки;

$$q_y = \frac{q}{B\ell}, \quad (1.4)$$

где B – ширина выработки по кровле, м; при арочной форме выработки;

$$B = \frac{3}{4} B'',$$

где B'' – максимальная ширина выработки;

ℓ – протяженность загазированного участка выработки (длина слоя);

q – дебит источника газовыделения, образующего метановый слой;

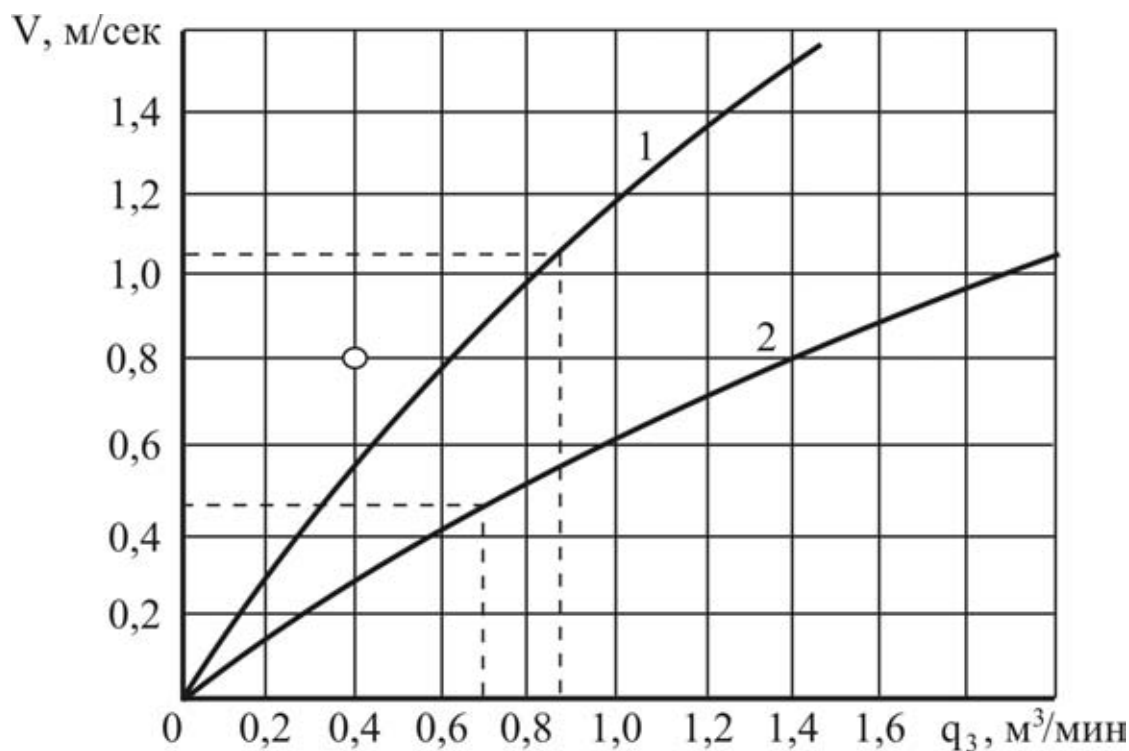


Рис. 1.3. Номограмма определения скорости воздуха для ликвидации слоевых скоплений метана

1 – при суффлярном выделении газа на почве выработки; 2 – при суффлярном выделении из боков выработки; V – скорость воздуха; q – газовыделение

$$q = \frac{Q \cdot (C_2 - C_1)}{100}, \quad (1.5)$$

где Q – количество воздуха, проходящего по выработке у источника газовыделения, м³/мин.;

$C1, C2$ – средние по сечению концентрации метана в выработке соответственно до и после источника по ходу вентиляционной струи, %.

Для ликвидации слоевых скоплений могут применяться паруса в тех случаях, когда невозможно обеспечить необходимую среднюю скорость подачи воздуха в выработку в местах слоевых скоплений метана. Паруса применяют при концентрированном источнике газовыделения с дебитом не более 0,5 м³/мин. Парус следует устанавливать перед источником выделения метана, на расстоянии не более 3 м от него с наклоном в сторону движения вентиляционной струи.

Площадь окна в верхней части выработки при установке паруса определяется по формуле:

$$S_o = 0,8 \cdot \frac{Q_s}{V}, \quad (1.6)$$

где Q_s – количество воздуха, проходящего по выработке в месте установки паруса, м³/с;

V – скорость воздуха, необходимая для ликвидации слоевого скопления, м/с.

Если скорость движения воздуха в центре выработки не меньше расчетной, необходимой для размывания слоевого скопления метана, и дебит источника, образующего скопление, не превышает 1 м³/мин. – для ликвидации скопления метана можно приме-

нять наклонные щитки шириной 1,0 м. Щитки устанавливают на участке газовыделения на расстоянии 0,2-0,3 м от кровли или стенки выработки под углом 45° . Схема установки щитков представлена на рис. 1.4. Расстояние между щитками должно составлять 3,0 м.

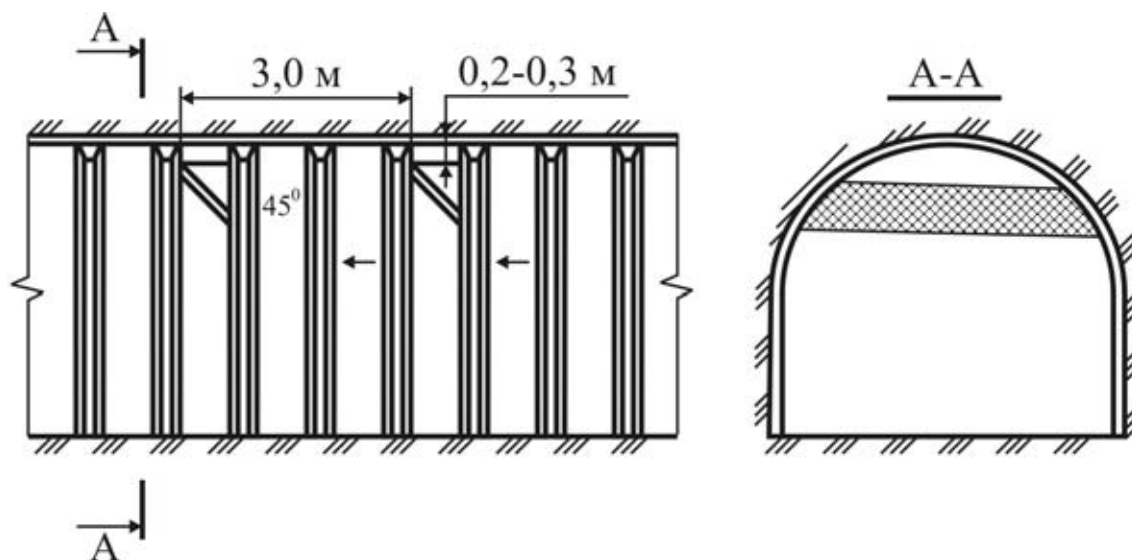


Рис. 1.4. Схема установки наклонных щитов

При рассредоточенных источниках газовыделения из кровли выработки с дебитом $0,5 \text{ м}^3/\text{мин.}$ и более для ликвидации слоевых скоплений метана устанавливают взвихрывающие трубопроводы. Взвихрывающий трубопровод изготавливают из стальной трубы диаметром 10-15 см, закрытой с одной стороны. На трубе в три ряда в шахматном порядке с шагом равным 0,5 м размещают патрубки диаметром 1,0 см и длиной 8-10 см (рис. 1.5). Длина трубопровода принимается равной длине участка, на котором наблюдается газовыделение. Взвихрывающий трубопровод подвешивается на расстоянии 0,2-0,3 м от кровли выработки и к нему подводится сжатый воздух.

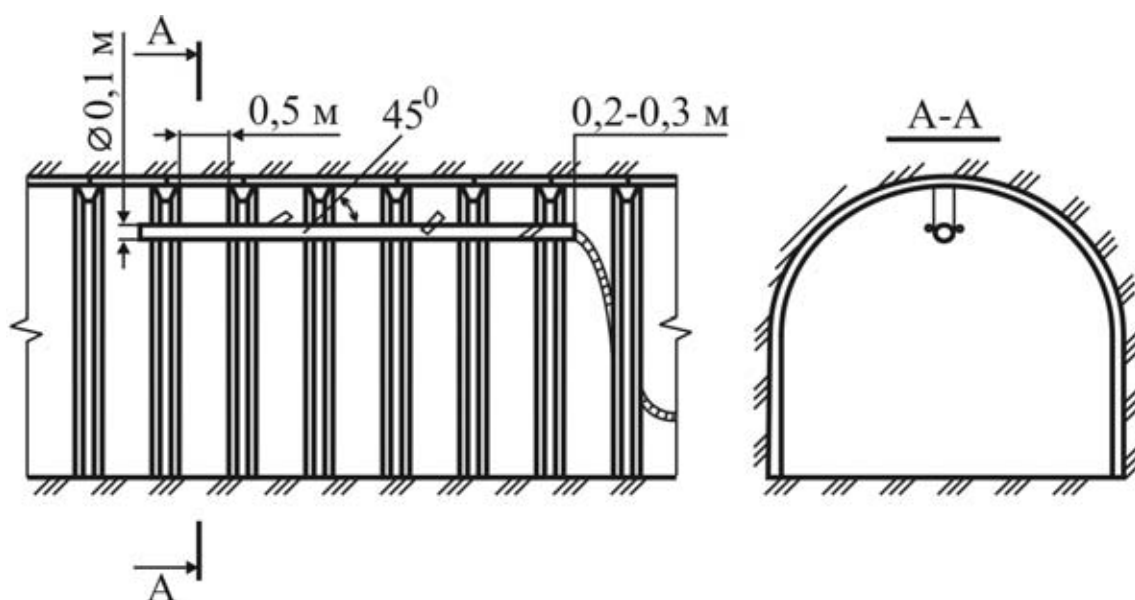


Рис. 1.5. Схема установки взвихривающего трубопровода

ГЛАВА 2. ОБРУШЕНИЕ МАССИВА ГОРНЫХ ПОРОД И УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

2.1 Общие положения

Во время ведения горных работ происходят обрушения нависающего массива как угольных пластов, так и вмещающих пород. Обрушения вмещающих пород и угля происходят как в очистных, так и в капитальных подготовительных выработках. Основная технологическая причина обрушения вмещающих пород и угля – это ненадежное крепление горных выработок.

В капитальных и подготовительных выработках обрушение нависающего породного массива и угля происходит, как правило, на незакрепленных участках между забоем выработки и постоянной крепью, а также на участках закрепленных постоянной крепью, если крепь не имеет плотного контакта с массивом горных пород.

В очистных выработках обрушение пород кровли может представлять опасность для людей, работающих в лавах, в основном на участках между забоем выработки и крепью.

Наибольшую сложность по борьбе с обрушениями, представляет предотвращение их в очистных выработках на угольных пластах наклонного и крутого залегания, поскольку в этих случаях обрушение угля может происходить непосредственно из забоя угольного пласта, закрепить который не всегда представляется возможным.

Обрушение нависающего массива горных пород и угля представляет собой динамическое явление, которое может сопровож-

даться газовыделением, если происходит обрушение газоносных пород или угля.

Согласно статическим данным 43% от общего травматизма на шахтах Донбасса приходится на обрушение угольных пластов и вмещающих пород.

2.2 Горно-геологические и горно-технические условия и механизм обрушения угольных пластов и горных пород

Горно-геологические и горно-технические условия, при которых могут произойти обрушения определяются положением обнаженного массива угольных пластов и горных пород, крепостью их, наличием крепи, а также плотного контакта между крепью и массивом угольных пластов и горных пород. Наиболее опасными по обрушению являются зоны геологических нарушений. Механизм обрушения массива горных пород представляется следующим образом.

В обнаженном нависающем массиве угольных пластов и горных пород под действием гравитационных сил возникают растягивающие напряжения. Если растягивающие напряжения превысят предел прочности на растяжение, произойдет отделение породы или угля в зоне, прилегающей непосредственно к обнажению, от остальной части массива угольного пласта или горных пород.

Обрушение угля и пород прекратится тогда, когда обнаженная поверхность достигнет крепких пород, в которых не будут соблюдаться условия $[\sigma_{\text{раст.}}] < \sigma_{\text{раст.}}$ или если сформируется над обру-

шающей зоной свод естественного равновесия (зона, в которой на контуре обнажения растягивающие напряжения отсутствуют).

Математически условия, при которых может возникнуть обрушение, записываются следующим образом:

$$\gamma \ell > [\sigma_{\text{раст.}}], \quad (2.1)$$

где γ – объемный вес массива горных пород;

ℓ – расстояние от обнажения до места, в котором $[\sigma_{\text{раст.}}] > \sigma_{\text{раст.}}$;

$\sigma_{\text{раст.}}$ – растягивающие напряжения в массиве горных пород, возникающие под действием гравитационных сил;

$[\sigma_{\text{раст.}}]$ – предел прочности массива горных пород на растяжение.

2.3 Мероприятия по предотвращению обрушений породы в призабойном пространстве очистных выработок

По мере расширения области применения механизированных комплексов в очистных выработках, особенно при переходе на узкозахватную технологию выемки угля, значительно увеличивается площадь незакрепленного пространства между забоем и первым рядом стоек крепи, в связи с чем возрастает актуальность проблемы предотвращения обрушения пород кровли.

На склонность пород непосредственной кровли к обрушению в призабойное пространство влияют: состав и механическая прочность пород, степень их нарушенности, слоистость, величина площади и продолжительность обнажения кровли до установки крепи.

Для предотвращения обрушения пород в призабойное пространство, на участках где породы кровли склонны к обрушению, наибольшее применение получили способы опережающего химического анкерования и нагнетание в породный массив скрепляющего материала. В особо сложных условиях может применяться укрепление породного массива путем нагнетания скрепляющего материала с последующим армированием его анкерами [63].

Применяются два способа подачи рабочей жидкости в шпур: в виде патронов и путем нагнетания.

При применении опережающего анкерования скрепляющий материал подается в шпуры в ампулах (патронах). Затем в них вводятся анкерные стержни при этом ампулы разрушаются и перемешиваются рабочие жидкости (смола и отвердитель) вследствие чего состав вспенивается, происходит увеличение его объема и самонагнетание в трещиноватый массив. Анкерные стержни устанавливаются под определенными углами к напластованию пород над еще не вынутым целиком углем. Для обеспечения устойчивости удерживаемого от обрушения массива пород необходимо хорошее сцепление скрепляющего состава с породами и стержнем, проникновение скрепляющего состава в наиболее развитые трещины в массиве горных пород, предварительное натяжение анкера.

При нагнетании скрепляющего состава под давлением обеспечивается равномерное насыщение обрабатываемого массива, вследствие чего повышается эффективность этого способа. Скрепляющие растворы могут нагнетаться через скважины, пробуренные с

поверхности, из подготовительной выработки или непосредственно из лавы.

Указанные способы упрочнения пород, как правило, применяются на сопряжениях лавы с подготовительными выработками, в зонах тектонических нарушений в лавах.

Связующий материал, применяемый в угольной промышленности, должен обладать определенными физико-механическими, санитарно-гигиеническими и противопожарными свойствами.

Работоспособность скрепляющего материала характеризуется его сцеплением (адгезией), прочностью (когезией), вязкостью и регулируемыми сроками отверждения.

По условиям безопасности должны приниматься во внимание: характер воздействия скрепляющего состава на кожный покров, возможность выделения вредных газообразных веществ, горючесть исходных компонентов и скрепляющего состава, его воспламеняемость и самозатухаемость.

Применяются скрепляющие составы на основе фенол- и карбомидоформальдегидных, эпоксидных, полиэфирных смол, полиуританов и акриламида.

Наиболее перспективными являются скрепляющие составы на основе полиуретанов.

Ампулы применяемые при химическом анкерировании состоят из полиэтиленовой оболочки, заполненной полиэфирной смесью, и вложенной в эту оболочку стеклянной пробирки с кодицином.

К параметрам химического анкерования относятся: длина анкера и диаметр его поперечного сечения, предварительное натяже-

ние анкера, количество рядов анкеров по высоте обрушения пород, углы установки анкеров в упрочняемом массиве, шаг установки анкеров в ряду.

Применение химического анкерования в лавах дает положительные результаты при следующих горно-технических условиях: залегание в породах кровли глинистых, песчано-глинистых и песчаных сланцев с коэффициентом крепости по шкале проф. М.М. Протодяконова $f = 2 \dots 6$, мощность обрушающихся пород – от 0,5 до 2 м и более, расстояние между трещинами – от 0,1 до 1 м, длина максимально возможного незакрепленного пролета породного массива от линии забоя до поверхности обрушения – 0,4...1,6 м.

Максимальное значение шага установки анкеров в ряду определяется из следующего выражения:

$$a_p = K + 0,8B\sqrt{\frac{f}{H}}, \quad (2.2)$$

где K – кусковатость пород при обрушении, м;

B – толщина нижнего слоя кровли, м;

H – общая мощность обрушающихся пород, м.

К параметрам упрочнения пород нагнетанием скрепляющих растворов относятся: длина шпура, угол наклона к плоскости напластования, расстояние между шпурами, глубина герметизации шпура.

После нагнетания вокруг шпура по всей длине его фильтрующей части образуется зона упрочненных пород радиусом R .

Количество скрепляющего состава, подаваемого в один шпур, определяется по формуле:

$$V_c = \pi R^2 \ell_\phi q, \quad (2.3)$$

где ℓ_ϕ – длина фильтрующей части шпура, м;

q – удельный расход скрепляющего материала, л/м³.

Удельный расход скрепляющего материала может быть определен по формуле:

$$q = (n - w) \cdot V_n, \quad (2.4)$$

где V_n – объем упрочняемой породы, м³;

n – пористость породы;

w – влажность породы.

Величина радиуса зоны упрочненных пород R определяется экспериментально. Расстояние между шпурами принимается равным удвоенному радиусу зоны упрочнения пород. Угол наклона шпура принимается таким, чтобы забойная часть шпура располагалась над пластом угля на высоте 0,6-0,7 м. Глубина герметизации принимается равной 1,0-1,5 м.

При применении этого способа упрочнения пород на шахтах Донбасса получены хорошие результаты. Для упрочнения пород применялся раствор, содержащий 60-70% смолы, которая смешивалась с 10%-ным водным раствором щавелевой кислоты. На один шпур расходовалось 40-60 л при расстоянии между шпурами 2-2,5 м. Радиус распространения скрепляющей жидкости вокруг шпура составлял 1,2 м.

Основным недостатком, сдерживающим применение карбо-мидных смол для упрочнения пород, является выделение в шахтную атмосферу формальдегида и метанола.

2.4 Мероприятия по предотвращению обрушений пород в капитальных и подготовительных выработках

Основным условием предотвращения обрушений пород на участках капитальных и подготовительных выработок, закрепленных постоянной крепью, является отсутствие полостей в закрепном пространстве и наличие плотного контакта между крепью и массивом горных пород. Все пустоты в закрепном пространстве должны плотно закладываться инертными материалами, кроме того несущая способность крепи должна соответствовать горному давлению и условиям ее работы.

Для предотвращения обрушений на участках между забоем выработки и постоянной крепью должна применяться временная предохранительная крепь.

В настоящее время применяются различные конструкции временных предохранительных крепей. Основными недостатками большинства разработанных временных предохранительных крепей являются отсутствие плотного контакта между временной крепью и нависающим породным массивом, а также тот факт, что на время установки постоянной крепи временная крепь должна демонтироваться и рабочие вынуждены возводить постоянную крепь в раскрепленном пространстве. Это обстоятельство приводит к высокому травматизму рабочих при выполнении операций по возведению постоянной крепи.

Наиболее рациональными, в наибольшей степени обеспечивающими безопасность, являются технологии возведения монолитной бетонной и рамных крепей, разработанные кафедрой «Строи-

тельство шахт и подземных сооружений» Донецкого национального технического университета.

При применении в качестве постоянной бетонной крепи временная крепь возводится из металлических верхняков по форме соответствующих форме свода выработки (рис. 2.1). Металлический верхняк (5) подвешивается к породам кровли выработки на трех-четырёх анкерах (1). На металлические верхняки (5) укладывается деревянная затяжка-опалубка (7). Между верхняком (5) и гайкой (2), навинчиваемой на нижнюю часть анкера (1), на анкер одевается трубка (3) по длине равная толщине бетонной крепи. После этого путем завинчивания гайки (2) верхняк (5) плотно прижимается к породам кровли и расклинивается клиньями (4). Под защитой такой крепи производятся работы по бурению шпуров, погрузке породы, разделке котлованов под фундаменты, бетонировка фундаментов, установке опалубки (8) для бетонировки стен выработки, бетонировке стен. Затем по одному верхняки (5) опускаются на величину, равную толщине бетона в своде, за счет удаления трубки (3), установленной на нижней части анкера (1) между верхняком (5) и гайкой (2). На опущенный верхняк (6) укладывается опалубка и производится бетонировка свода выработки.

Технология проведения выработок с постоянной рамной крепью осуществляется с применением крепеустановщика и обеспечивает безопасность проходчиков при выполнении работ на участке выработки от постоянной крепи до забоя, исключает необходимость установки временной крепи на этом участке и позволяет частично механизировать наиболее тяжелые работы по возведению

постоянной рамной крепи. Такая технология может применяться при проведении горизонтальных и наклонных горных выработок.

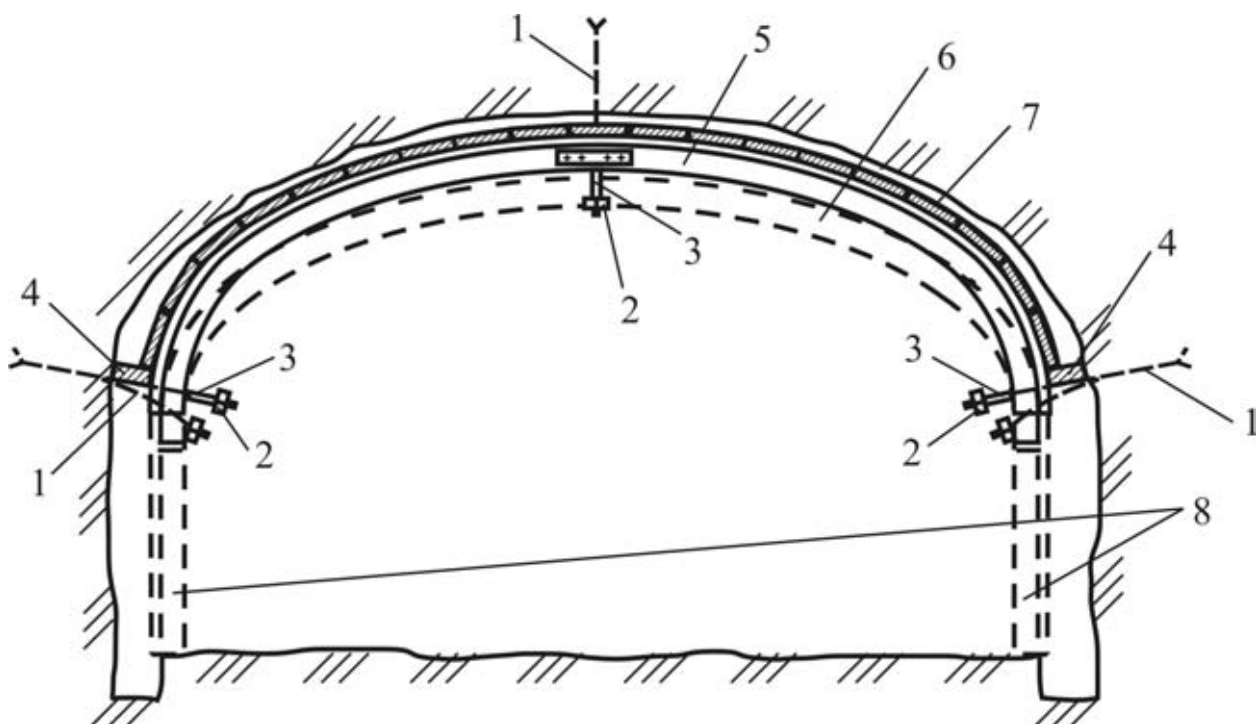


Рис. 2.1. Схема технологии возведения бетонной крепи

Крепеустановщик состоит из рычага с захватами (3) и удлинительной трубы (2). Крепеустановщик подвешивается к хомуту, установленному на верхняке постоянной крепи (рис. 2.2 а).

Для подъема верхняка (4) к кровле выработки на захваты рычага (3) навешивается верхняк постоянной крепи. Затем на рычаг (3) надевают удлинительную трубу (2), с помощью которой рычаг (3) с навешенным на него верхняком (4) переводят в горизонтальное положение (рис. 2.2 б) и закрепляют его в этом положении. Для перевода рычага (3) с навешенным на него верхняком (4) в горизонтальное положение удлинительную трубу с помощью породопогрузочной машины, проходческого комбайна или ручную пере-

мещают в направлении к забою выработки до тех пор, пока верхняк (4) не достигнет кровли выработки. После этого удлинительная труба (2) снимается, верхняк (4) расклинивается и затягивается затяжкой (рис. 2.2 б).

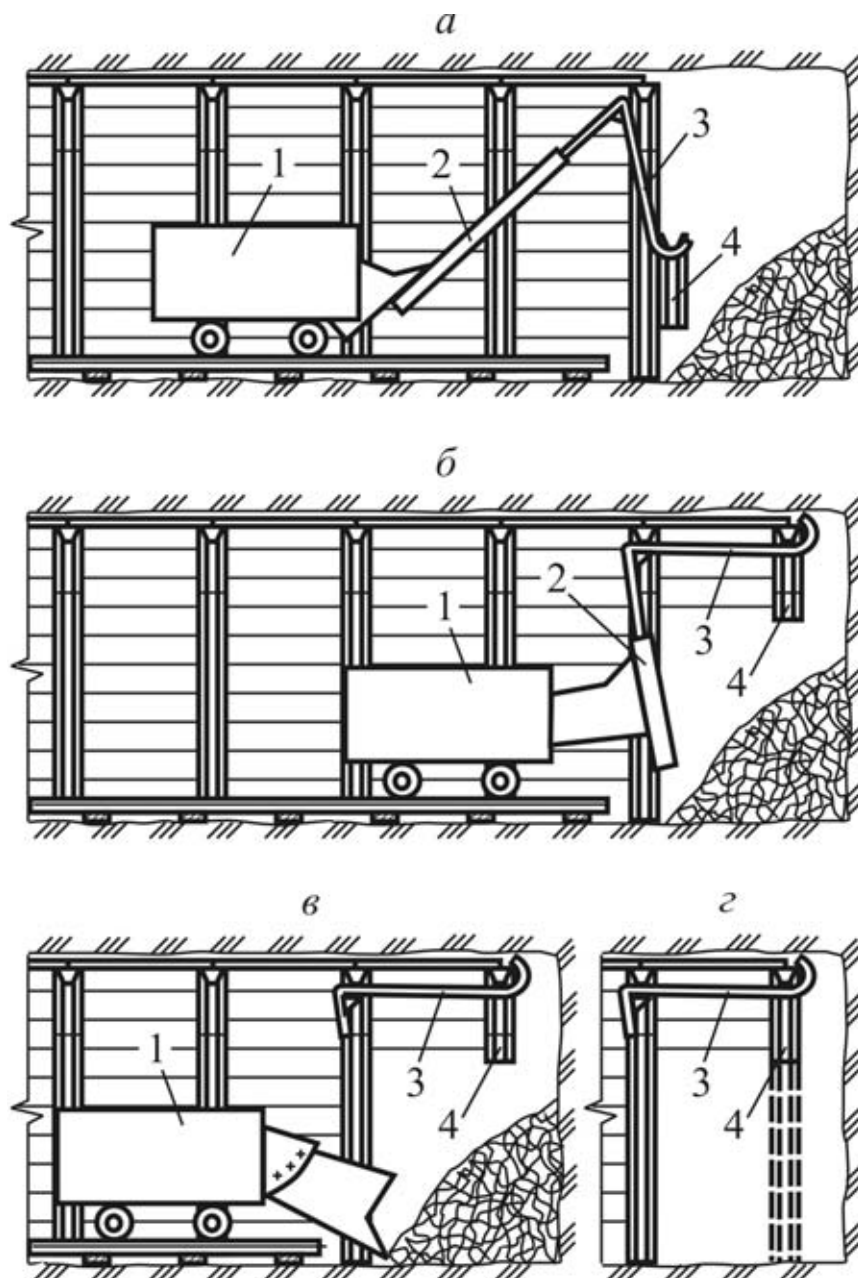


Рис. 2.2. Схема технологии проведения выработки с постоянной арочной крепью

Под защитой такой крепи производится уборка породы, разделка лунок под ножки крепи, установка ножек постоянной крепи и соединение их с верхняком (рис. 2.2 в, г).

При проведении капитальных и подготовительных выработок в зонах геологических нарушений могут также применяться химическое анкерование и нагнетание скрепляющих растворов в массив горных пород.

2.5 Мероприятия по предотвращению сползания боковых пород

Одной из разновидностей обрушений является сползание боковых пород.

Сползание боковых пород в околострековых зонах является одним из опасных проявлений горного давления при ведении очистных и подготовительных работ на крутых и крутонаклонных пластах, при котором происходит частичная или полная деформация крепи в откаточных и вентиляционных штреках на сопряжениях их с лавами и завалами последних.

При определенных условиях все крутые пласты могут быть потенциально опасными по сползанию боковых пород, в том числе и пласты с прочными и мощными слоями пород непосредственно кровли и почвы толщиной до 4,0 м при наличии или появлении в них участков с резко выраженными контактами по напластованию и значительной величиной подрезки слоев пород при проведении штреков.

Потенциально опасными по сползанию боковых пород являются участки пластов, в которых породы почвы имеют плоскости

ослабления на контакте между слоями (зеркальная поверхность, «кучерявчики», угольные пропластки или углистый сланец, обводненный слабый глинистый или песчано-глинистый сланец) или линзовидное сложение пород, особенно с резким уменьшением толщины линз по восстанию (падению) и простираению пласта (в направлении движения очистного забоя и нижнего просека), либо прилегающие к геологическим нарушениям разрывного характера (от плоскости разрыва в сторону выработанного пространства).

Выбор способов охраны штреков и параметров крепи сопряжений лав с подготовительными выработками должен производиться в первую очередь из условий создания наиболее безопасных условий ведения очистных работ на протяжении всего времени эксплуатации выработки. При этом способ охраны подготовительной выработки не должен оказывать вредного влияния на отработку других пластов в свите.

2.5.1 Прогнозирование зон, опасных по сползанию боковых пород

Прогноз зон, опасных по сползанию боковых пород осуществляется по геологическим данным отработанного верхнего горизонта и уточняется по разведочным скважинам при проведении подготовительных выработок отрабатываемого горизонта.

Бурение разведочных скважин должно производиться с опережением очистного забоя на 40...50 м. Расстояние между разведочными скважинами отрабатываемого горизонта должно выбираться из условия возможного изменения мощности слоев пород-

ной толщи, заключенной между пластом и плоскостью сползания, и может составлять 25...100 м.

Опасными по сползанию считаются породы, заключенные между пластом и плоскостью сползания, мощностью 0,4...4,0 м.

Наиболее опасными по сползанию следует считать участки вмещающих пород на сопряжении со штреками протяженностью 20...25 м в направлении подвигания очистного забоя, располагаемых у разрезных печей, проводимых для нарезки лав.

К неопасным по сползанию относятся слои пород, если сползающие слои не подрезаются и не нарушаются буровзрывными работами (даже если по своей геологической характеристике могут быть отнесены к склонным к сползанию).

Опасная зона по сползанию пород, как правило, находится в районе разгруженных боковых пород и величина ее по простиранию зависит от их структуры, прочности и класса кровель по обрушаемости (табл. 2.1).

2.5.2 Комплекс мероприятий по предотвращению сползания боковых пород

Подрезка сползающего слоя пород при проведении подготовительной выработки на величину не более 25% его мощности, отсутствие или некачественная забутовка закрепного пространства, несоответствие параметров охраны и крепления штреков горно-геологическим факторам могут создать благоприятные условия для формирования процесса сползания боковых пород.

Таблица 2.1. Протяженность участков, опасных по сползанию пород

Обрушаемость пород кров- ли	Размеры участков сползания боковых пород, м		
	при породах почвы		
	слабых	средней прочно- сти	прочных
Легкообрушаемая	5...8	8...14	—
Средней обрушаемости	5...8	8...14	—
Труднообрушаемая	8...10	15...20	25...35
Весьма труднообрушаемая	8...10	15...20	45...80
Плавнопрогибающаяся	10...15	20...25	30...35

Штреки относительно пласта должны располагаться таким образом, чтобы мощность подрезки сползающих породных слоев была минимальной (не более 25%). Если один из слоев непосредственной кровли или почвы более опасен по сползанию (например, из-за наличия воды), то штрек следует располагать так, чтобы такой слой не подрезался. При наличии склонных к сползанию пород непосредственных кровли и почвы пласта штрек следует проводить полевым. Во всех случаях при выборе места заложения штрека и его расположения в процессе отработки пласта должно учитываться наличие необходимых средств охраны и крепления, должно производиться тщательное изучение структуры и свойств боковых пород, вестись постоянное наблюдение за их изменениями, влажностью межслоевых контактов, притоком воды и источниками ее появления.

В зависимости от горно-геологических условий в качестве средств, предупреждающих возникновение опасной ситуации от возможного сползания боковых пород в околоштрековом пространстве и развития процесса сползания, необходимо оставлять угольные целики (на самовозгорающихся и не защищенных пластах), железобетонные тумбы, кусты, кустокостры и усиленные костры из шпального бруса в совокупности со штрековой крепью и средствами ее усиления. Выбор типа специальной крепи для охраны штрека и плотности ее установки должны обеспечивать достаточное усилие прижатия сползающих породных слоев к общему массиву и сохранение целостности их на период до осадки непосредственной и основной кровель.

Для охраны штреков должны исключаться костры из круглых стоек, которые в зоне разгруженных пород не могут создать распора, необходимого для прижатия склонного к сползанию слоя породы к остальной части массива.

Призобойная крепь в силу своей ограниченной податливости и более быстрого восприятия нагрузки имеет несколько большее сопротивление, чем костры, и поэтому, формируя из стоек кустовую крепь, можно обеспечить достаточно высокое сопротивление (300...800 кН), необходимое для прижатия склонного к сползанию слоя к основной толще пород.

Оставление над- и под штреками угольных целиков необходимых размеров обеспечивает сравнительно устойчивое состояние штреков и надштрекового пространства. В случаях мягких углей и недостаточных размеров целиков в зоне опорного давления непо-

средственно впереди и за лавой последние раздавливаются с последующим высыпанием угля, в результате чего создаются условия, благоприятные для сползания пород. Ограничивающими факторами оставления угольных целиков для охраны штреков являются особо выбросоопасные и защитные пласты, а также пласты с самовозгорающимися углями.

При прочих породах, склонных к сползанию, целесообразно применять железобетонные тумбы, которые по своим несущим параметрам и устойчивости против сдвига в плоскости пласта превосходят кустовую крепь в 1,5-2 раза, менее трудоемки по возведению и менее материалоемки в единичном объеме.

2.6 Мероприятия по предотвращению обрушений угольных пластов

2.6.1 Характерные признаки обрушения угля и разделение угольных пластов на категории опасности по обрушению

В основном обрушению подвержены угольные пласты крутого и крутонаклонного залегания.

Характерными признаками обрушения угля являются:

- отсутствие отброса угля от забоя и его расположение под углом, близким к углу естественного откоса;
- образование в угольном массиве полости, ось которой обычно ориентирована по восстанию пласта с максимальной шириной устья полости;
- газовыделение, величина которого не превышает разности между природной и остаточной газоносностью угля.

Внезапному обрушению угля могут предшествовать предупредительные признаки: высыпание угля на отдельных небольших участках, усиление давления на крепь выработки.

Крутые и крутонаклонные угольные шахтопласты подразделяют на опасные, склонные, и неопасные по обрушениям угля. На шахтопластах, склонных к обрушениям угля, выделяют зоны различной степени опасности (неопасные, опасные и особо опасные), а на опасных пластах – особо опасные зоны.

К пластам, склонным к обрушениям угля, относят шахтопласты, сложенные углями или отдельными пачками мощностью 0,1 м и более III-IV степени нарушенности на отдельных участках пласта, и шахтопласты, на которых происходили внезапные обрушения угля в зонах геологических нарушений.

К опасным по внезапным обрушениям угля относят шахтопласты, сложенные на всем протяжении углями или отдельными пачками мощностью 0,1 и более IV-V степени нарушенности, и шахтопласты, на которых в пределах шахтного поля происходили внезапные обрушения угля вне зон геологических нарушений.

На шахтопластах, опасных по обрушениям угля, к особо опасным зонам относят: зоны повышенного горного давления, зоны влияния геологических нарушений.

2.6.2 Комплекс мер по предотвращению обрушений угольных пластов

Разработку пластов, опасных и склонных к обрушениям угля, производят с применением комплекса технологических и специ-

альных мер, обеспечивающих прогнозирование опасных по обрушению зон, снижение влияния гравитационных сил, применение надежных способов крепления нависающего массива угля и управление горным давлением. К ним относят:

- прогноз опасных и особо опасных зон по внезапным обрушениям угля;
- опережающую разработку защитных пластов;
- способы предотвращения внезапных обрушений угля, включающие технологические схемы, снижающие влияние гравитационных сил, технологические и специальные меры по предотвращению обрушений угля.

Прогноз опасных и особо опасных зон по внезапным обрушениям угля включает: прогнозирование зон геологических нарушений, построение и определение степени опасности зон повышенного горного давления.

При обеспечении эффективной защиты пласты, опасные по внезапным обрушениям угля, разрабатывают как склонные к внезапным обрушениям.

2.6.3 Прогнозирование зон, опасных по обрушениям угля

Для составления горно-геологического прогноза зон, опасных по обрушениям угля, приуроченных к геологическим нарушениям устанавливает степень нарушенности угля по табл. 2.2, определяют вид геологических нарушений и их элементы.

Опасными по обрушениям угля являются приуроченные к геологическим нарушениям зоны на угольных пластах:

- с изменением углов падения на десятиметровом интервале на 10^0 и более;
- с изменением геологической мощности пласта на десятиметровом интервале на 50% и более;
- угольными пачками мощностью 0,1 и более, представленных углем IV-V степени нарушенности;
- с изменением мощности слегающих пачек, представленных углем IV-V степени нарушенности, на десятиметровом интервале более чем в 2 раза.

Таблица 2.2. Степень нарушенности угля

Степень нарушенности	Текстура	Краткая характеристика
1	2	3
I	Слоистая слоботрещинчатая	Уголь характеризуется заметно выраженной слоистостью, в массиве монолитен, устойчив к механическим воздействиям, не осыпается. Разламывается на куски, ограниченные слоистостью и трещинами.
II	Брекчевидная	Слоистость и трещиноватость, как правило, затушеваны. Массив состоит из кусочков угля разнообразной формы. Краевые части кусочков угловатые. Между кусочками могут встречаться угольная мелочь, зернистый и даже землистый уголь. Слабоустойчив к механическим воздействиям, но осыпается с трудом.

1	2	3
III	Линзовидная (мелколинзовидная)	Слоистость и трещиноватость затушеваны. Уголь слагается из отдельных линз. Поверхность линз зеркально отполирована и несет на себе борозды и штрихи скольжения. При механическом воздействии превращается иногда в угольную мелочь.
IV	Земленисто-зернистая	Слоистость и трещиноватость затушеваны. Основная масса состоит из мелких зерен угля, между которыми располагается землинистый уголь (угольная мука). Достаточно спрессован, между пальцами раздавливается чаще всего с трудом. Слабоустойчив и склонен к осыпанию.
V	Земленистая	Слоистость и трещиноватость затушеваны. Состоит из тонкоперетертого угля (угольная мука). Неустойчив, осыпается интенсивно. Между пальцами раздавливается легко.

В геологических нарушениях дизъюнктивного характера ширина опасной зоны (повышенной трещиноватости угля) определяются по формуле:

$$B_{mp} = \frac{10N}{\sin \alpha}, \quad (2.5)$$

где B_{mp} – ширина зоны повышенной трещиноватости угля с одной стороны от смесителя, измеряемая в плоскости пласта по перпендикуляру к линии смещения, м;

N – нормальная (стратиграфическая) амплитуда смещения, м;

α - двугранный угол между плоскостью смесителя и напластованием, град.

Ширина зоны влияния пликативных и структурных нарушений устанавливается исходя из опыта пересечения их горными выработками.

2.6.4 Способы предотвращения внезапных обрушений угля

2.6.4.1 Общие положения

При выемке угля на пластах опасных по обрушениям, применяют следующие технологические схемы, обеспечивающие предотвращение обрушений угля:

- выемка угля щитовым агрегатом;
- выемка угля комбайном;
- выемка угля почвоуступным забоем.

Способ управления кровлей должен обеспечивать снижение динамичности воздействия на угольный пласт пород основной и мощных слоев непосредственной кровли.

В случае, когда применение указанных технологических схем по горно-геологическим условиям невозможно, допускается выемка угля отбойным молотком, в потолкоуступном забое с выполнение технологических и специальных мер, обеспечивающих предотвращение внезапных обрушений угля.

Разрезные печи на опасных пластах, в опасных и особо опасных зонах на пластах, склонных к внезапным обрушениям угля, проводят только сверху вниз.

Подготовительные и нарезные выработки на опасных пластах в опасных и особо опасных зонах на пластах, склонных к внезапным обрушениям угля, проводят с выполнением комплекса мер по предотвращению внезапных обрушений угля.

Вскрытия пластов, опасных и склонных к внезапным обрушениям угля, в опасных и особо опасных зонах, должны вестись с применением следующих мер по предотвращению обрушений угля: возведение металлического каркаса по своду выработку, предварительный вымыв нависающей части угольного массива с последующим тампонированием твердеющим раствором для создания искусственного свода [36].

2.6.4.2 Технологические схемы, обеспечивающие предотвращение обрушений

Выемка угля щитовыми агрегатами. Обрушение угля в очистных забоях, оснащенных щитовыми агрегатами, исключается вследствие горизонтального расположения линии очистного забоя и отсутствия нависающего угольного массива.

Монтажную нишу, как правило, проводят вприсечку к вентиляционному штреку или выработанному пространству без оставления целика угля.

При проведении монтажной ниши по целику угля в опасных по обрушению зонах применяются технологические и специальные

меры по предотвращению обрушения угля. При этом под нависающий массив устанавливают двухрядную органную крепь с отставанием второго ряда от забоя не более 2,5 м.

При проведении ниши буровзрывным способом предотвращение обрушений угля достигают химическим анкерованием.

Для предотвращения обрушений угля из бортов углеспускной и вентиляционной печей следует на участке вентиляционной печи между забоем щитовой лавы и венцовой крепью устанавливать органную крепь с отставанием от обводной головки на 0,7 м. Отставание постоянной венцовой крепи от перекрытия щитового агрегата не должно превышать 1,4 м.

Выемка угля комбайном. Предотвращение обрушений угля в очистных забоях с выемкой угля комбайном достигают за счет наклона линии забоя на массив. Рекомендуемый угол наклона линии забоя в комбайновых лавах приведен в табл. 2.3.

Таблица 2.3. Рекомендуемый угол наклона линии забоя в комбайновых лавах

Необходимый угол наклона комбайнового забоя, град.	Угол залегания пласта, град.					
	менее 45	50	55	60	70	более 80
Для сухого угля	0	10	20	25	35	40
Для увлажненного угля	0	5	15	20	30	35

Управление горным давлением и крепление в лавах пластов, опасных и склонных к обрушениям угля, в зависимости от горно-

геологических условий осуществляется полной или частичной закладкой выработанного пространства, полным обрушением, плавным опусканием кровли и удержанием ее на кострах.

Выемка угля отбойными молотками. На пластах или отдельных участках, представленных углем III степени нарушенности выемку угля отбойными молотками осуществляют с затяжкой нависающего массива на полную мощность пласта после перерезки кутка на ширину крепи. Затяжка опирается на стойку предыдущей крепи и верхнюю стойку забойной крепи. Кроме того, под нее дополнительно устанавливают промежуточные стойки через 0,3 м.

На углях IV-V степени нарушенности, склонных к обрушению, при выемке угля в кутке нависающий массив удерживают подвижным перекрытием из распилов или обаполов толщиной не менее 0,02 м (кольевая крепь). Для этого перед началом выемки концы перекрытия располагают между верхней стойкой забойной крепи и дополнительной стойкой, установленной в этой крепи на 5-8 см ниже верхней стойки. По мере обнажения нависающего массива угля перекрытие выдвигают на забой и под него через 0,3 м устанавливают упорные стойки. Если уголь способен к высыпанию, перекрытие нависающего массива производят посредством забивки заостренных распилов или обаполов (забивная крепь) с последующей установкой упорных стоек через 0,3 м. При мощности пласта более 1,2 м после завершения оформления кутка под нависающий массив угля устанавливают дополнительные стойки до образования сплошной органной крепи. При мощности пласта более 1,5 м под

органный креп нависающего массива устанавливают стропильную креп с отставанием на одну креп.

На сыпучем угле забой уступа в сплошную или в разбежку за-тягивают обаполами.

При ведении горных выработок в зонах геологических нару-шений куток, как правило, располагают вне их границ:

- при мощности пласта до 1,0 м выше или ниже, не менее чем на 4 м;
- при помощи пласта 1,0 м и более, выше или ниже, не менее чем на 6,0 м.

В зонах геологических нарушений нависающий массив угля дополнительно укрепляют органической крепью или химическими ан-керами.

Расстояние между уступами по простиранию не должно пре-вышать 3,0 м на пластах мощностью до 1,0 м и 4,0 м на пластах мощностью 1,0 м и более.

Нависающий массив каждого уступа может быть ориентиро-ван под углом 45^0 к линии простирания пласта.

Уступ наклоняют в сторону угольного массива на $5-10^0$.

2.6.4.3 Специальные меры по предотвращению обрушений угля

Образование технологических пазов. Технологические пазы, как способ предотвращения внезапных обрушений угля, представ-ляет собой щель, выполненную в угольном пласте перпендикуляр-но напластованию, с введенной в нее опережающей крепи, состоя-

щей из обрезных досок или других равноценных по прочности материалов.

Технологические пазы должны удовлетворять следующим требованиям:

- паз должен быть сплошным. При наличии в структуре пласта породных прослоек мощностью более 0,02 м допускается выполнение паза с разрывом сплошности, т.е. по отдельным пачкам угольного пласта;
- высота паза должна обеспечивать введение в него досок толщиной не менее 0,04 м;
- технологические пазы ориентируют в направлении проведения выработки под углом $5-10^0$ к линии простирания;
- устье паза располагают на расстоянии не более 0,5 м от внутренней части (кутка) уступа.

Минимальное неснижаемое опережение технологических пазов составляет 0,5 м – для пластов мощностью до 1 м; 1,0 м – для пластов мощностью более 1,0 м.

При образовании паза частями (заходками) по мощности пласта введение в паз опережающей крепи осуществляют сразу после образования очередной части паза. После перекрытия паза крепью на всю мощность под свободный конец досок устанавливают деревянную стойку. По мере выемки угля в кутке уступа под освобождающуюся опережающую крепь устанавливают стойки через 0,2-0,3 м.

Опережающую крепь с использованием пенополиуретановых составов (химическое анкерование). Технологию укрепления нави-

сающего массива угля в очистных и подготовительных забоях крутых пластов выполняют в следующей последовательности: по угольному целику в кутке уступа, а в подготовительном забое на уровне крепи штрека бурят шпуры диаметром 42-43 мм длиной 2,5-3,0 м с подъемом $5-10^0$, количество которых зависит от мощности пласта; в шпуры досылают химические ампулы, содержащие полиэфирную и полиизоцианатную смеси; затем в свободную от ампул часть шпура вставляют стержень из арматурной стали диаметром 20-28 мм или деревянные стержни Ø 36-38 мм, или витые стеклопластиковые стержни Ø 28 мм, которые вращают с помощью ручного сверла и подают до конца шпура. При вращательном и поступательном движении стержень разрушает ампулы и перемешивает их содержимое. В результате химической реакции смола ампул вспенивается, увеличиваясь в объеме в 4-5 раз, и затвердевает за 5-7 мин. Вспениваясь, состав заполняет все полости, образовавшиеся между стенками шпура и стержнем опережающей крепи, и скрепляет его с угольным массивом.

Шпуры располагают в кутке забоя по линии, перпендикулярной вмещающим боковым породам, на расстоянии 20-30 см друг от друга. Бурить шпуры следует по слабоустойчивым, наиболее газообильным пачкам угля.

В особо опасных зонах неснижаемое опережение химического анкерования должно быть не менее 1,0 м.

Технология возведения металлического каркаса. Каркас предназначен для предотвращения обрушений нависающего массива при вскрытии полевыми выработками крутых и крутонаклонных,

склонных к обрушению угольных пластов. Его возводят по своду выработки в месте пересечения ею угольного пласта. Возведение каркаса, как технологической меры по предотвращению обрушений, осуществляют с расстояния N по нормали от забоя выработки до пласта:

- при вскрытии крутых пластов $N \geq 2,0$ м;
- при вскрытии крутонаклонных пластов $N \geq 1,0$ м.

Указанное расстояние можно корректировать в большую сторону при низкой степени устойчивости разделяющей выработку и пласт породной толщи (трещиноватые породы или породы с коэффициентом крепости $f \leq 4$). Схема возведения каркаса приведена на рис. 2.3.

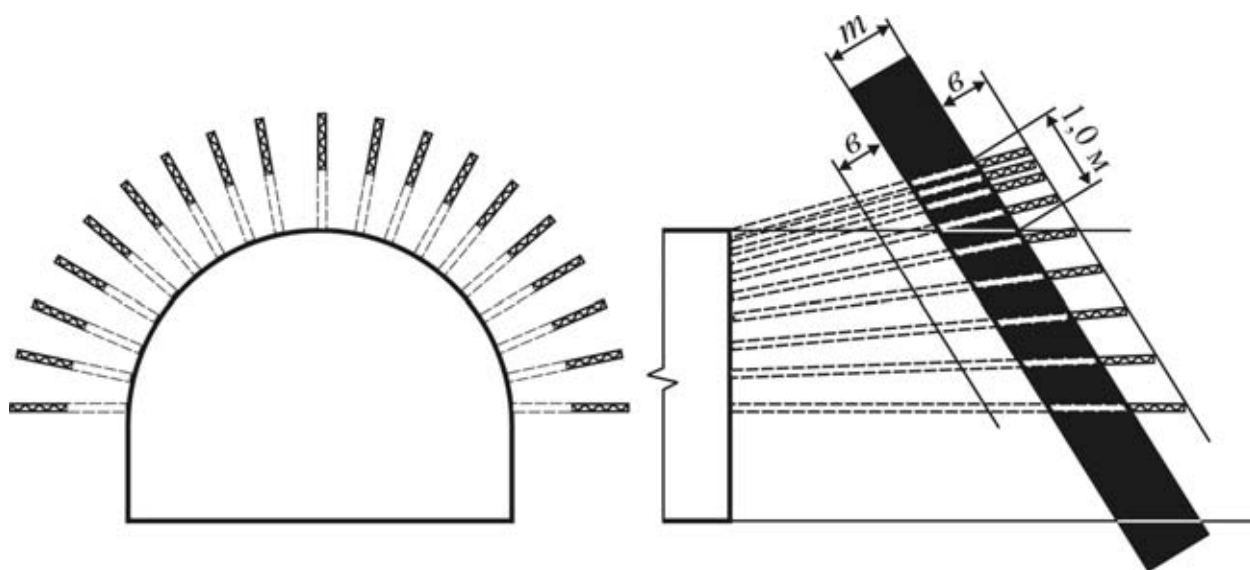


Рис. 2.3. Схема возведения каркаса

Для возведения каркаса по контуру свода вскрывающей выработки бурят через породную толщу скважины диаметром 42-43 мм с таким расчетом, чтобы они перебуривали угольный пласт и поро-

ды противоположной кровли (почвы) пласта не менее чем на 0,5 м. Расстояние между скважинами на выходе из пласта не должно превышать 0,3 м при выходе их за контур свода выработки на 1,0 м.

По окончании бурения скважины очищают от буровой мелочи путем продувки их сжатым воздухом в течение 3-5 минут и закрепляют в них элементы каркаса.

Схема закрепления каркасного элемента приведена на рис. 2.4.

Донную часть очищенных скважин заполняют патронированными вяжущими композициями (5) на величину, перекрывающую торцевую породную часть скважин и мощность пласта, после чего с помощью несущего каркасного элемента (4), соединенного переходником (3) (муфтой) с буровой штангой (2) бурильного механизма (1), производят их разрушение, сопровождаемое реакцией полимеризации. Разрушение осуществляют вращательно-поступательным перемещением каркасного элемента к торцу скважины в течение 20-30 сек.

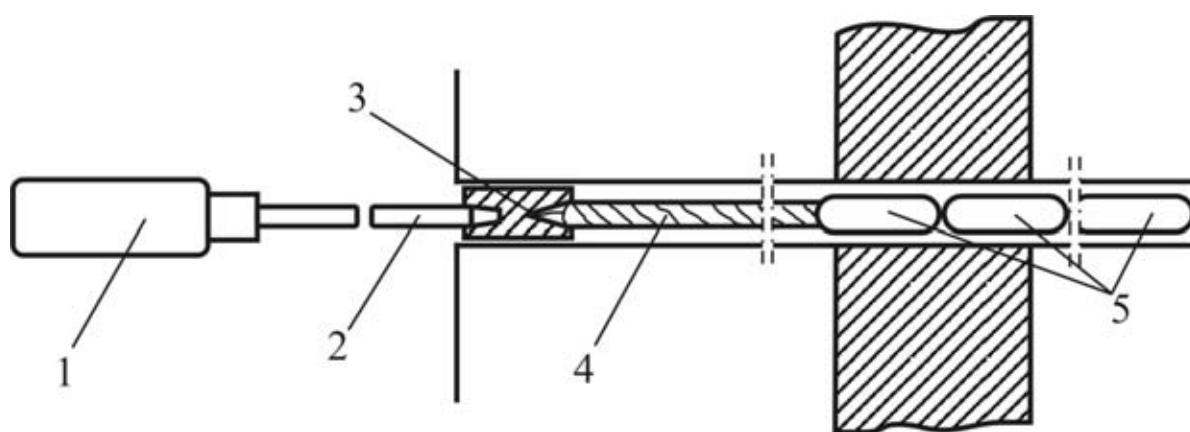


Рис. 2.4. Схема закрепления каркасного элемента в скважине
1 – бурильная машина; 2 – штанга; 3 – переходник; 4 – несущий каркасный элемент; 5 – ампулы с химической композицией

В качестве патронированных вяжущих средств рекомендуется использование ампул с пенополиуретановой композицией, увеличивающейся в объеме при полимеризации в 4-5 раз.

В качестве несущих каркасных элементов следует применять арматурное профилированное железо диаметром 32-36 мм при длине каркасного элемента (ℓ_k) определяемого из выражения:

$$l_k \geq 1,1 \cdot m + b + N, \quad (2.6)$$

где m – мощность пласта, м;

b – длина каркасного элемента, закрепляемого в породах противоположной кровли (почвы), равная 0,5 м;

N – расстояние от забоя выработки до угольного пласта в момент установки каркаса.

ГЛАВА 3. ВНЕЗАПНЫЕ РАЗРУШЕНИЯ ПОРОД ПОЧВЫ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ

3.1 Горно-геологические условия проявления внезапных разрушений пород почвы в горных выработках

Одной из разновидностей динамических явлений, резко ухудшающих безопасность ведения горных работ, являются внезапные разрушения пород почвы в горных выработках (ВРПП), представляющие собой процесс быстропротекающего разрушения надрабатываемого массива с образованием в нем трещин, по которым в выработки может выделяться газ из разгруженного массива горных пород в почве выработки. Эти явления могут приводить к повреждению машин и механизмов, длительному загазированию выработок, снижению содержания кислорода в рудничной атмосфере ниже нормы предельно допустимой для жизнедеятельности человека. В последние годы с увеличением глубины ведения горных работ последствия внезапных разрушений пород почвы стали приобретать все более катастрофический характер. В мае 1983 г. на сопряжении 5 западного конвейерного штрека с 4 западной лавой шахты «Суходольская» в Донбассе, произошло внезапное разрушение почвы штрека и прорыв метана с максимальным расходом до $110 \text{ м}^3/\text{мин}$. В результате разрушения пород почвы образовалась открытая трещина шириной до 3,0 см, ориентированная вдоль оси выработки, длиной 25-27 м (рис. 3.1). Поднятие разрушенной породы (1) составило 1,10-1,15 м. Находившийся в выработке энергопоезд (2) был приподнят, наклонен до 15° и частично опрокинут в сторону выработочного пространства. Приподнятым, искривленным и опрокину-

тым оказался также скребковый конвейер СП-36 (3). Нарушение состояния крепи в лаве отмечено не было. В момент разрушения пород почвы и прорыва метана из надработанного массива содержание его в выработке составило, примерно 25%, а содержание кислорода снизилось до 15%. Загазирование выработки продолжалось в течение двух суток. За это время выделилось около 30 тыс. м³ метана.

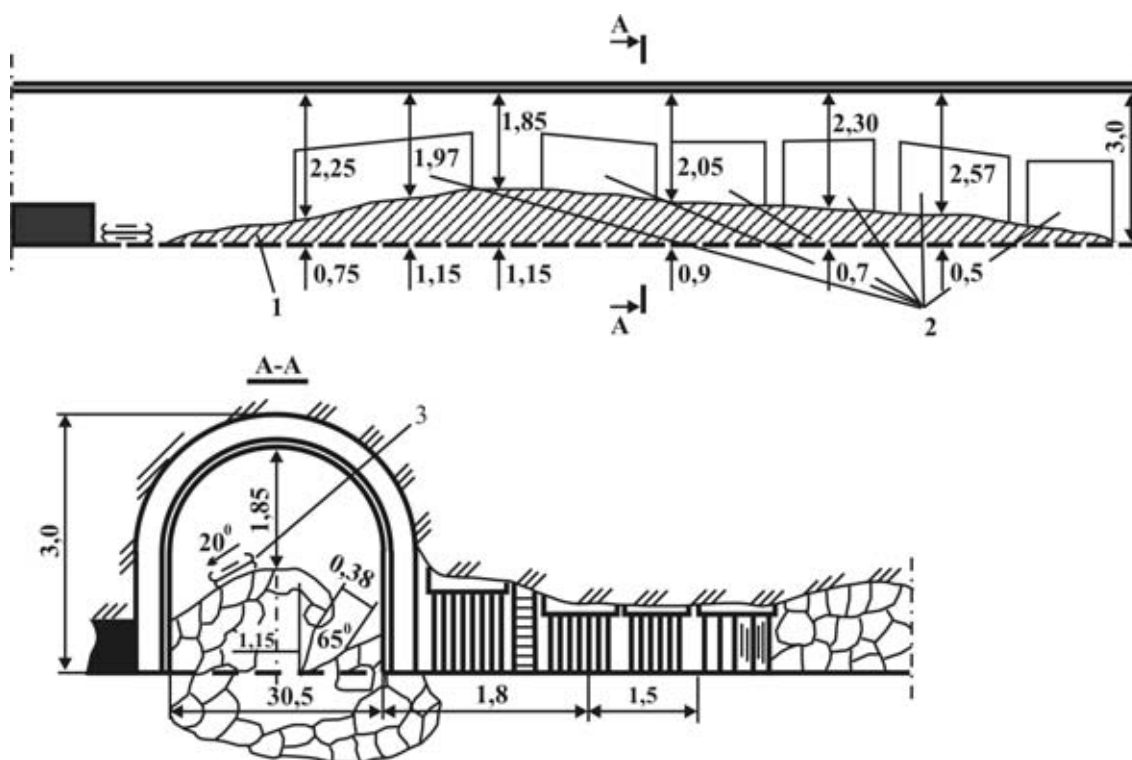


Рис. 3.1. Разрушение почвы в западном конвейерном штреке шахты «Суходольская»

На шахте им. акад. А.А. Скочинского ГП «Донецкуголь» внезапные поднятия пород почвы происходили в конвейерном уклоне 5 лавы и в 5 западном вентиляционном штреке, проводимых по пласту h_6^1 «Смоляниновский». Поднятие пород почвы в этих выработках происходило после выбросов угля и газа, т.е. при мгновен-

ном обнажении большой площади почвы выработки. Литологический состав пород почвы приведен на рис. 3.2.

На шахте «Глубокая» ГП «Донецкуголь» внезапные поднятия пород почвы происходили как в подготовительных, так и в очистных выработках. В 4 западном конвейерном штреке ш. «Глубокая» ГП «Донецкуголь», проводимом по пласту h_{10} – Ливенский по его оси в подошве выработки после внезапного поднятия пород почвы была обнаружена трещина зиянием до 4 см. Газовыделение из трещины отсутствовало. Поднятие почвы выработки составило 0,3-0,4 м. Металлическая арочная крепь у этого места не нарушена.

В очистном забое 4-й западной лавы пласта h_{10} после внезапного поднятия пород почвы на 70-й секции крепи в 2 метрах от забоя были обнаружены трещины в породах почвы, ориентированные параллельно линии забоя. Зияние трещин 4-8 см, глубина трещин более 0,6 м. Содержание метана в трещинах более 2,0%. В районе 110-ой секции содержание метана под конвейером составило 2,8%.

В районе 190-ой секции с завальной стороны конвейера в почве пласта обнаружена трещина с углом падения 70^0 в сторону массива, зиянием менее 1 см. Газовыделение из этой трещины не обнаружено.

Надрабатываемый 4 западной лавой массив характеризуется следующими геологическими особенностями. При отработке лавы не установлены какие-либо разрывные тектонические нарушения. В почве пласта h_{10} залегает однородная 30-40 метровая толща алевролитов с включением в верхней и нижней частях ее линз мелкозернистых песчаников мощностью до 2-3 м.

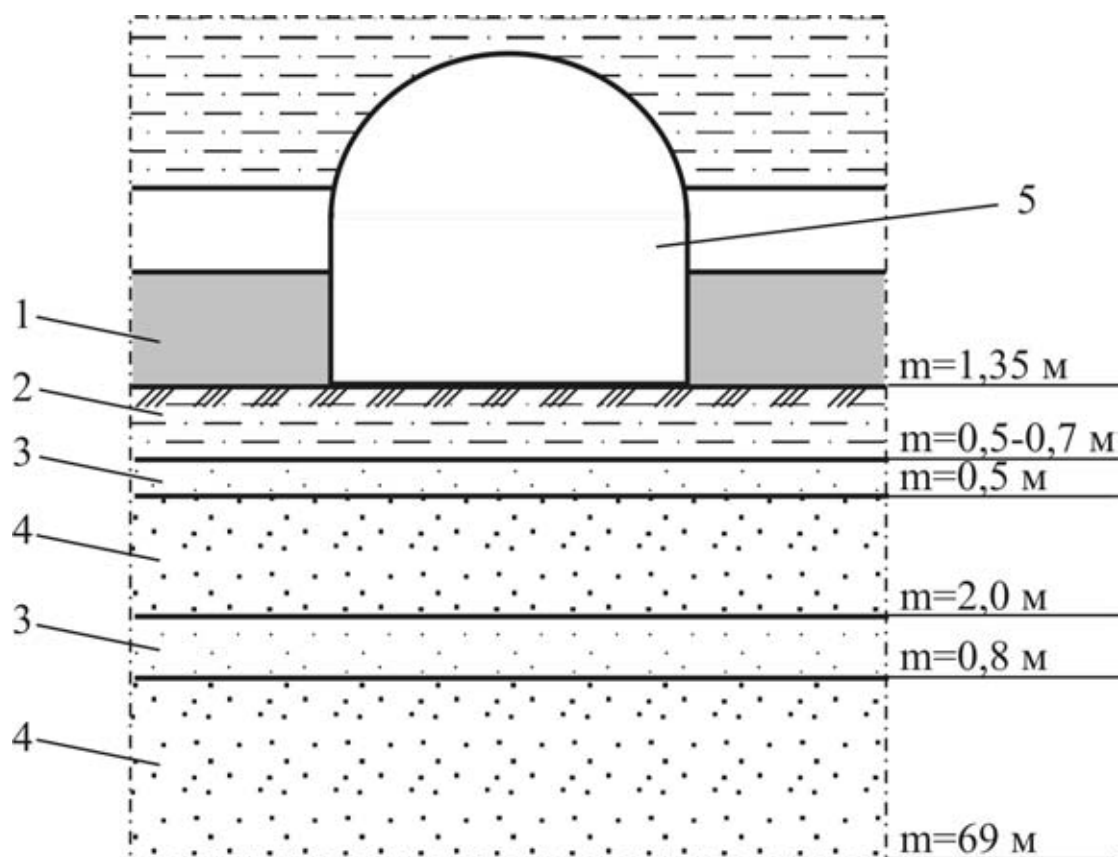


Рис. 3.2. Литологический состав пород почвы конвейерного уклона 5-х лав шахты им. акад. А.А. Скочинского

1 – выбросоопасный угольный пласт; 2 – глинистый сланец; 3 – невыбросоопасный песчаник; 4 – выбросоопасный песчаник; 5 – выработка; m – мощность пласта

В Донбассе внезапные разрушения пород почвы имели место на 22 угольных пластах, залегающих под углом от 2 до 65° на глубинах от 93 м до 1150 м. Чаще всего они происходили на пластах высокой степени метаморфизма. Разрушение пород почвы имели место практически во всех типах выработок. Распределение внезапных разрушений пород почвы по типам выработок приведено в табл. 3.1.

Таблица 3.1. Распределение случаев внезапных разрушений пород почвы по типам выработок

Тип вы- ботки	Откаточный штрек	Лава	Ствол	Бремсберг	Ходок	Вентиляци- онный штрек	Раскоска	Камера	Сопряжение лавы с под- готовитель- ными выработками	Квершлаг	Гезенк
Количе- ство	34	24	8	7	6	3	2	2	21	2	1

В литологическом составе пород почвы в зонах внезапных разрушений чаще всего залегают уголь, песчаник или песчаный сланец.

Внезапным разрушением пород почвы, как правило, предшествуют глухие удары в надрабатываемом массиве.

Внезапные разрушения пород почвы происходили как с последующим газовыделением, так и без него. Наиболее интенсивное газовыделение наблюдается обычно на сопряжении подготовительной выработки с лавой (табл. 3.2). Продолжительность загазирования при внезапном разрушении пород почвы изменяется от нескольких часов до нескольких суток.

3.2 Природа и механизм внезапных поднятий пород и почвы

В настоящее время нет единого мнения о природе и механизме внезапных разрушений пород почвы в горных выработках. Наи-

большее распространение получили следующие гипотезы: гипотеза, согласно которой внезапные разрушения пород почвы происходят в основном за счет энергии газа, заключенного в нижележащих угольных пластах и породах [62], и гипотеза, согласно которой эти явления происходят за счет энергии упругого восстановления пород с участием или без участия газа, заключенного в нижележащих угольных пластах [44].

Основным недостатком первой гипотезы является то, что она не учитывает тот факт, что внезапные поднятия почв в горных выработках происходят и без участия газа. Поэтому достоверность основного положения этой гипотезы вызывает сомнение, т.к. в ней предполагается, что разрушение пород почвы происходит под действием газа.

Недостатком второй гипотезы является то, что она рассматривает поднятие почв с участием и без участия газа как два самостоятельных явления и относит первое к газодинамическим явлениям, а второе к динамическим, т.е. к явлениям, имеющим различную природу и механизм.

Для уточнения природы и механизма внезапных разрушений пород почвы были выполнены экспериментальные исследования распределения напряжений в окрестности выработки, закономерности деформирования угля и пород почвы и газовыделения из них при упругом восстановлении вследствие разгрузки (надработки) при ведении очистных работ или проведении горных выработок.

Таблица 3.2. Максимальное метановыделение в выработки при ВРПП

Тип выработки	Кол-во случаев	Максимальное метановыделение в начальный период, м ³ /мин.		
		От	До	В среднем
1	2	3	4	5
Очистные забои	16	6,0	188,0	52,0
1	2	3	4	5
Сопряжения выработок с выработанным пространством лав	21	5,0	310,0	53,6
Раскоски	2	28,0	41,4	34,7
Сопряжение подготовительной выработки с капитальной	1		14,6	14,6
Откаточные штреки	2	1,2	7,4	2,6
Бремсберги	3		3,0	3,0
Уклоны	1		2,0	2,0
Квершлагги	4	0,9	2,6	1,6
Ходки	3	1,8	3,4	2,7
Камеры	2	1,0	9,0	5,0
Вертикальные стволы	6	2,0	10,0	6,8

При экспериментальных исследованиях деформации пород почвы измерялись с помощью глубинных реперов и индикаторов часового типа.

Характер изменения относительных деформаций в породах почвы выработки приведен на рис. 3.3.

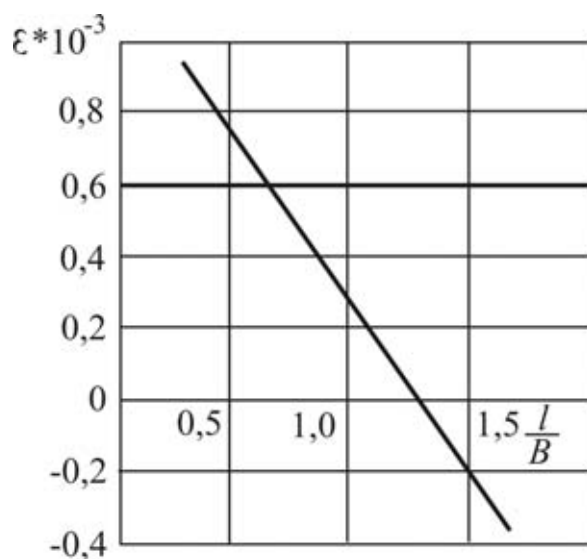


Рис. 3.3. Характер изменения относительных деформаций (ϵ) в породах почвы

l – расстояние от почвы выработки; B – ширина выработки; + - расширение; - – сжатие

Как видно из данных, приведенных на рис. 3.3 в породах почвы при их разгрузке возникают деформации расширения (упругого восстановления), которые по мере удаления от почвы выработки уменьшаются и затухают на расстоянии в 1,0-1,5 раза превышающем ширину выработки и далее переходят в деформации сжатия.

Следовательно, выработка оказывает на некоторую глубину разгружающее влияние на породы почвы.

По результатам измерения деформаций упругого восстановления в породах почвы выработки, получена эмпирическая зависи-

мость величины относительных деформаций (ε) в зоне разгрузки от расстояния до почвы выработки:

$$\varepsilon = \left(20 - 15,7 \cdot \frac{\ell}{B} \right) \cdot 10^{-4}; \quad r = 0,66 \pm 0,03, \quad (3.1)$$

где ℓ - расстояние от почвы до места в зоне разгрузки, в котором определяются относительные деформации;

B - ширина выработки;

r - коэффициент парной корреляции.

Учитывая достаточно надежную зависимость относительных деформаций (ε) от отношения $\frac{\ell}{B}$ можно принять для практического применения, что величина абсолютных деформаций упругого восстановления пород почвы выработки (V) равна:

$$V = \frac{\varepsilon_{\max}}{2} \ell,$$

где ℓ - расстояние от почвы выработки до границы зоны разгрузки.

Величина абсолютных деформаций упругого восстановления пород почвы в зоне разгрузки зависит также от ширины выработки. Эта зависимость, полученная в результате выполненных аналитических исследований, приведена на рис. 3.4.

Анализ результатов проведенных исследований позволил установить характер распределения напряжений в окрестности горной выработки.

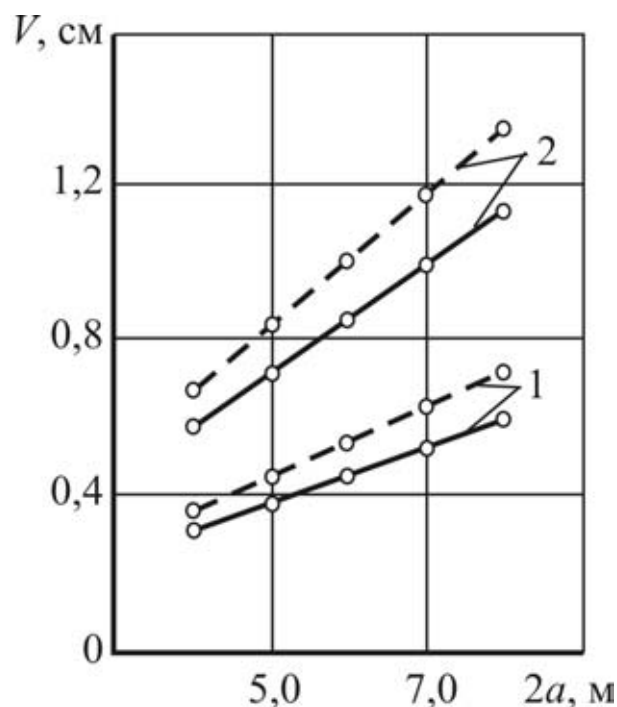


Рис .3.4. зависимость абсолютной величины деформации упругого восстановления пород почвы (V) от ширины выработки ($2a$)
 1 – песчаники; 2 – аргиллиты; - - - - $t \rightarrow \infty$; — $t \rightarrow 0$

Распределение напряжений в окрестности выработки приведено на рис. 3.5. Как видно из рис. 3.5 в почве и кровле выработки возникают зоны пониженных напряжений (зоны разгружающего влияния выработки).

При исследовании величины зоны разгружающего влияния на породы, залегающие в почве выработки, за границу этой зоны принималось расстояние от почвы до места в породах почвы, на котором деформации упругого восстановления равнялись нулю. Результаты определения величины зоны разгрузки (ℓ) в породах почвы в различных горно-геологических и горнотехнических условиях показаны на рис. 3.6, из которых видно, что величина зоны разгрузки зависит от ширины выработки ($2a$). В различных породах величина зоны разгрузки составляет от 1,0 до 1,5 ширины выработки.

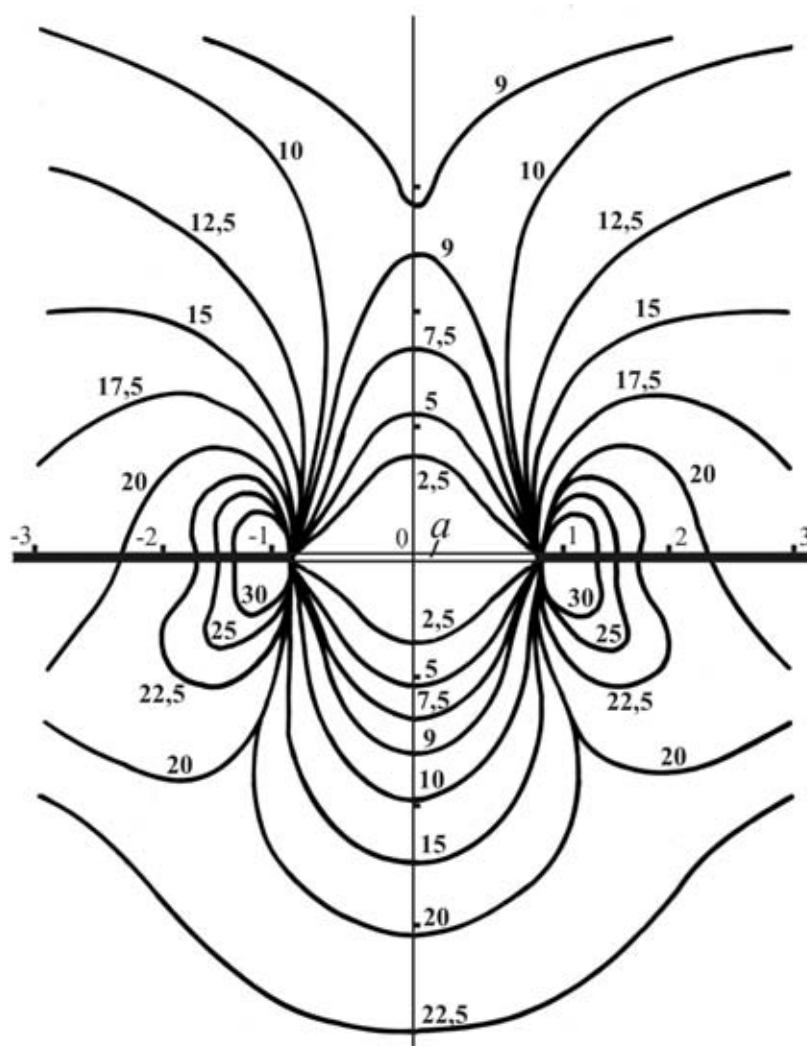


Рис. 3.5. Схема влияния выработки на окружающий массив горных пород
 a – выработка (распределение нормальных напряжений к напластованию пород)

Величина зоны разгрузки зависит также от глубины расположения выработки. Зависимость величины зоны разгрузки от глубины расположения выработки приведена на рис. 3.7. Как видно из данных приведенных на рис. 3.7 с увеличением глубины горных работ размер зоны разгрузки уменьшается.

При разработке механизма внезапных разрушений пород почвы были выполнены также шахтные эксперименты по изучению закономерности газовыделения из массива горных пород при их раз-

грузке. С этой целью в различных точках забоя бурились скважины глубиной 1,8 м, в которых герметизировались замерные камеры, соединенные с трубками с мерными сосудами. Во время установки мерных сосудов газовыделение из всех скважин практически равнялось нулю. Затем производили разгрузку породного массива на участке, на котором были пробурены скважины.

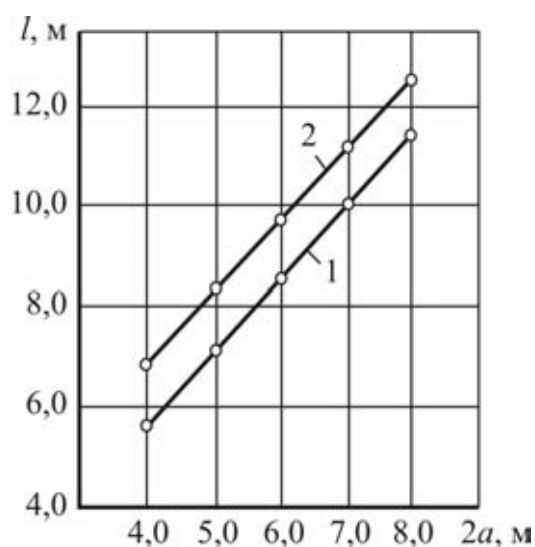


Рис. 3.6. Зависимость величины зоны разгружающего влияния выработки (l) на породы почвы от ширины выработки ($2a$)
1 – сланцы; 2 – песчаники

Для разгрузки породного массива на участке, где были пробурены скважины выбуривались разгрузочные щели. После разгрузки массива горных пород разгрузочными щелями скорость газовыделения из него резко возросла (рис. 3.8).

По мере разгрузки угля и пород абсолютная величина расширения возрастает, достигает максимума, а затем уменьшается. При этом уменьшение деформаций расширения происходит по мере увеличения скорости газовыделения из угля и пород (увеличения степени дегазации угля и пород). Характер деформирования пород

при разгрузке и динамика газовыделения из них приведены на рис. 4.38, 4.39, 4.47.

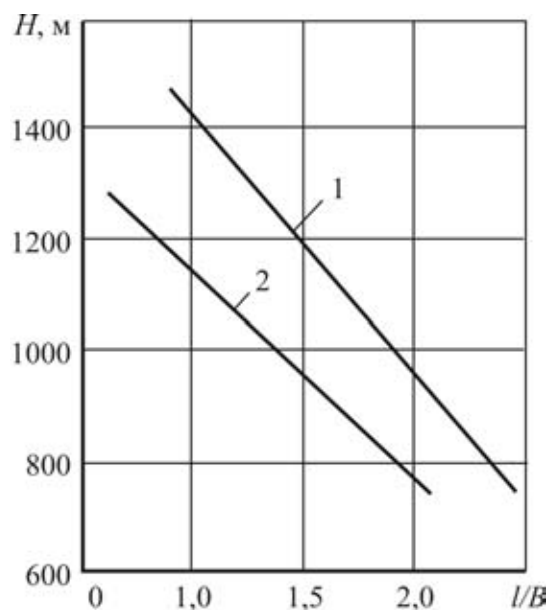


Рис. 3.7. Зависимость величины зоны разгружающего влияния выработки (l) в породах кровли и почвы от глубины расположения выработки (H)

1 – породы кровли; 2 – породы почвы

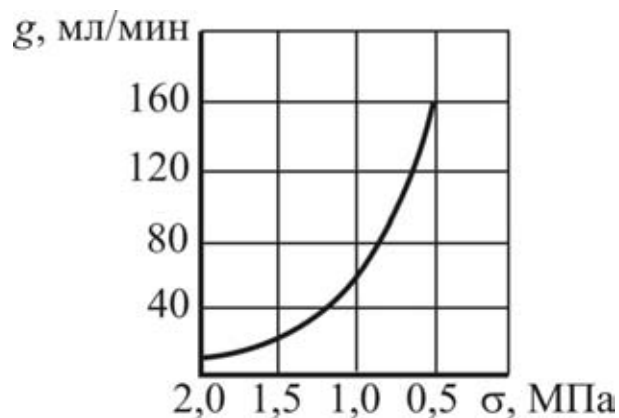


Рис. 3.8. Зависимость скорости газовыделения (g_n) от напряженного состояния газонасыщенного массива горных пород (σ)

Установлено, что снижение деформаций расширения в угле и породах по мере их дегазации происходит вследствие того, что га-

зонасыщенные угли и породы обладают склонностью к «набуханию» при наличии газа в их поровом пространстве.

Изучение склонности угля и породы к «набуханию» проводилось на установке показанной на рис. 4.30. Результаты исследования «набухания» угля приведены на рис. 4.31, а песчаника на рис. 3.9. Как видно из данных приведенных на рис. 4.31 «набухание» угля происходит при увеличении давления в поровом пространстве до 1,0 МПа, а затем стабилизируется. В песчаниках «набухание» происходит до давления газа в поровом пространстве, равном 4,5 МПа, а затем стабилизируется (рис. 3.9).

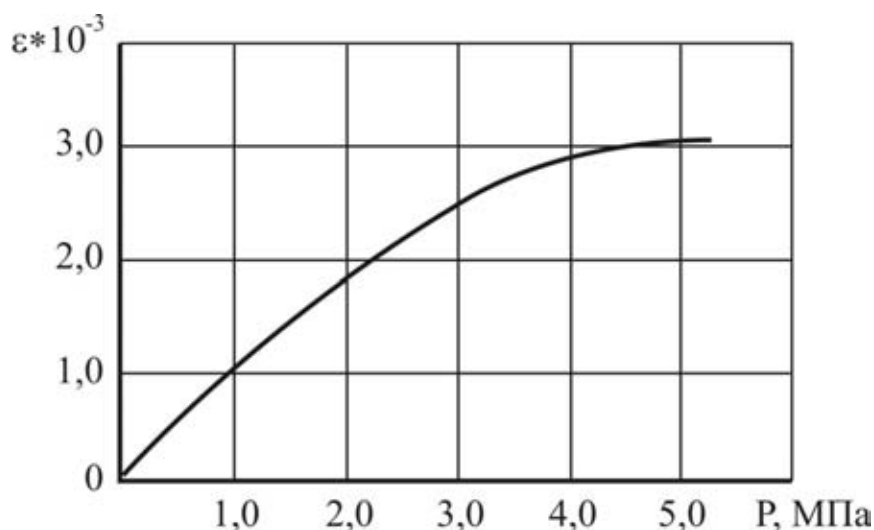


Рис. 3.9. Зависимость относительных деформаций «набухания» песчаника от степени его газонасыщения

ε — относительные деформации «набухания»; P — давление газа в поровом пространстве песчаника

Коэффициенты линейного расширения при «набухании» угля составляют $\alpha = 2,0 \cdot 10^{-4}$ на 1,0 МПа, (α — коэффициент линейного расширения при «набухании»), а песчаника $\alpha = 6,0 \cdot 10^{-5}$ на 0,1 МПа давления газа. Таким образом, максимальные относительные де-

формации «набухания» угля на уровне их стабилизации (при давлении газа в поровом пространстве, равном 1,0 МПа) – составляют $20,0 \cdot 10^{-4}$, а песчаника (при давлении газа, равном 4,5 МПа) $27,0 \cdot 10^{-4}$ и являются одного порядка с деформациями упругого восстановления (рис. 3.3).

Проведенными исследованиями установлено, что деформации газонасыщенного массива горных пород при их разгрузке состоят из деформаций упругого восстановления и деформаций, возникающих вследствие склонности угля и пород к «набуханию».

Анализ и обобщение проведенных исследований позволили представить механизм внезапного разрушения пород почвы следующим образом. При надработке (разгрузке) пород, залегающих в почве выработки, если непосредственно в почве выработки располагается пластичный слой, а под ним породы обладающие высокими упругими свойствами, или угольные пласты и прослойки, вследствие склонности пород и угля к упругому восстановлению при разгрузке, на пластичный слой будут действовать силы со стороны разгружаемых пород и угля, стремящиеся прогнуть пластичный слой. При этом в верхней части пластичного слоя возникнут растягивающие напряжения. Если максимальные растягивающие напряжения в верхней части неупругого слоя $(\sigma_x)_{\max}$ превысят предел прочности этой породы на растяжение $[\sigma_{\text{раст}}]$, то произойдет разрыв этого слоя и внезапное разрушение пород почвы.

Если упругие породы или уголь, залегающие ниже неупругого слоя газоносны, то внезапное разрушение пород будет сопровождаться выделением газа.

Исходя из представленного механизма расчетная схема для максимальных растягивающих напряжений в неупругом слое $(\sigma_x)_{\max}$ может быть представлена в виде балки защемленной по краям с равномерно распределенной нагрузкой (рис. 3.10).

При этом

$$(\sigma_x)_{\max} = \frac{(M_z)_{\max}}{W_z}, \quad (3.3)$$

где $(M_z)_{\max}$ – изгибающий момент;

$$(M_z)_{\max} = \frac{qB^2}{12} \quad (3.4)$$

W_z – момент инерции;

$$W_z = \frac{bh_1^3}{12f} \quad (3.5)$$

f – величина прогиба пластичного слоя под действием сил, возникающих при упругом восстановлении пород почвы, см;

B – величина пролета (ширина выработки). В очистных выработках принимается равной расстоянию от забоя лавы до первого ряда крепи, см;

q – равномерно распределенная нагрузка ($q = \gamma H$, а в газонасыщенных породах $q = \gamma H + Pm$), кг/см; (3.6)

b – ширина пластичного слоя пород. При расчетах « b » принимается равной 1 см;

m – пористость пород почвы в долях единицы;

h_1 – мощность пластичного слоя, см;

γ – объемный вес пород, кг/см³;

H – глубина горных работ от поверхности, см.

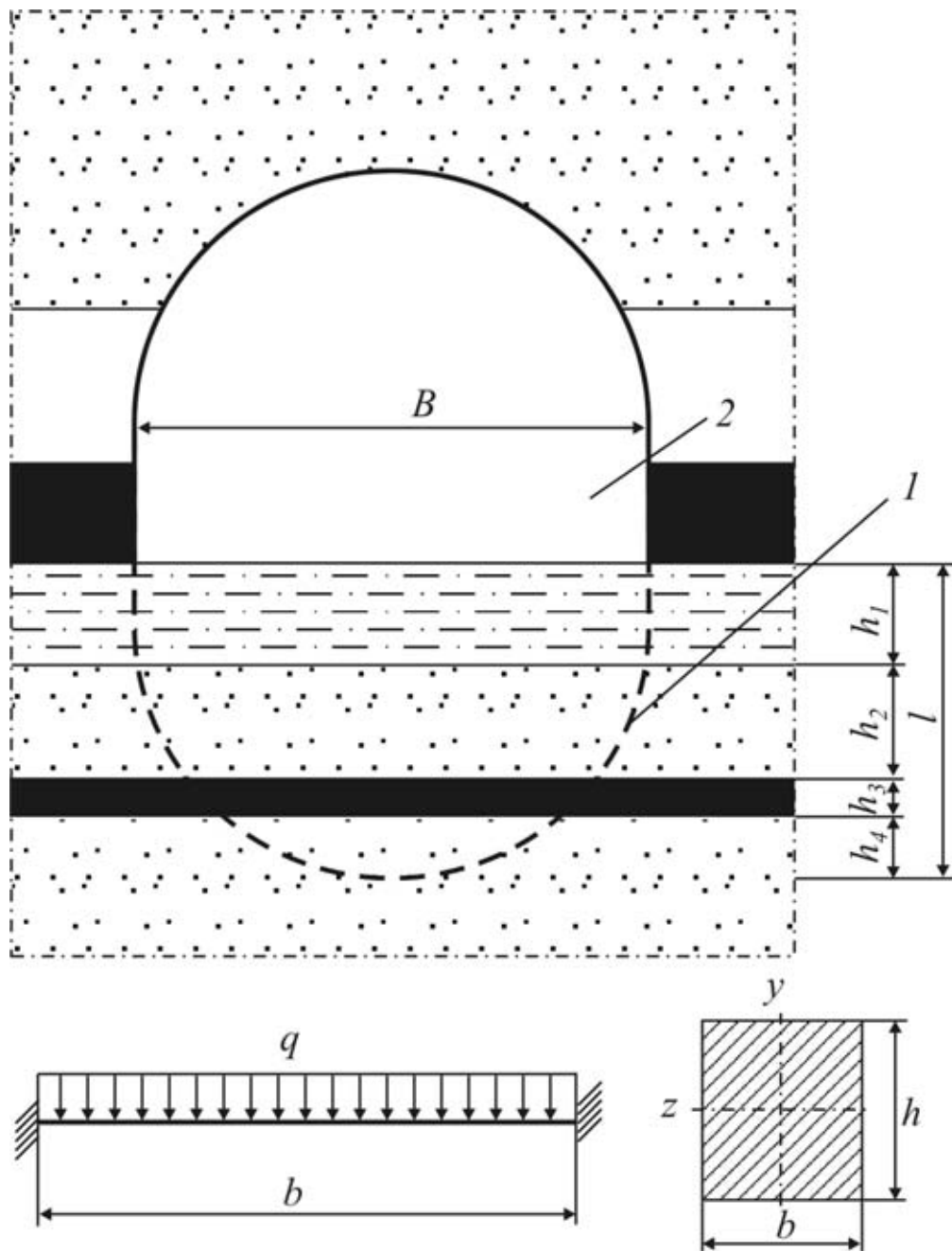


Рис. 3.10. расчетная схема и примерный литологический состав пород почвы

1 – граница зоны влияния выработки на породы почвы; B – ширина выработки; l – глубина зоны влияния; 2 – выработка; h_1 – глинистый сланец; h_2 и h_4 – песчаник; h_3 – уголь

Подставляя в (3.3) значения (3.4), (3.5) и (3.6) получим:

$$(\sigma_x)_{\max} = \frac{(\gamma H + P_m) \cdot B^2 f}{6h_1^3} \quad (3.7)$$

Величина прогиба пластичного слоя будет равна сумме абсолютной величины деформации упругого восстановления и деформации расширения от «набухания» пород почвы, и может быть определена по следующей формуле:

$$f = \sum_o^{\ell} \cdot \frac{\gamma_i \cdot H_i}{2E_i} \cdot m_i + \sum_o^{\ell} \cdot P_i \cdot \alpha_i \cdot m_i, \quad (3.8)$$

где ℓ - глубина зоны разгружающего влияния выработки на породы почвы

γ_i - объемный вес пород или угля i -го слоя, кг/см³;

H_i - глубина от поверхности i -го слоя, см;

E_i - модуль упругости i -го слоя, МПа;

m_i - мощность i -го слоя, залегающего в почве выработки, см;

P_i - давление газа в i -ом слое пород и угля, залегающих в почве выработки, МПа;

α_i - коэффициент линейного расширения i -го слоя в следствии склонности его к «набуханию».

Подставляя в (3.7) значение (3.8) получим:

$$(\sigma_x)_{\max} = \frac{(\gamma H + P_m) \cdot B^2}{6h_1^3} \cdot \left(\sum_o^{\ell} \cdot \frac{\gamma_i \cdot H_i}{2E_i} \cdot m_i + \sum_o^{\ell} \cdot P_i \cdot \alpha_i \cdot m_i \right) \quad (3.9)$$

Тогда условие возникновения внезапных разрушений математически может быть записано в виде следующего выражения:

$$[\sigma_{расм}] < \frac{(\gamma H + P_m) \cdot B^2}{6h_1^3} \cdot \left(\sum_o^{\ell} \cdot \frac{\gamma_i \cdot H_i}{2E_i} \cdot m_i + \sum_o^{\ell} \cdot P_i \cdot \alpha_i \cdot m_i \right) \quad (3.10)$$

где $[\sigma_{расст}]$ - предел прочности на растяжение пластичного слоя, непосредственно прилегающего к почве выработки, МПа.

3.3 Технология проведения горных выработок в породах, опасных по внезапным разрушениям пород почвы

Внезапные разрушения пород почвы отрицательно сказываются как на безопасности ведения работ, так и на технико-экономических показателях работы шахты. В этой связи возникает необходимость в применении комплекса мероприятий при ведении горных работ на участках опасных по внезапным разрушениям пород почвы. Комплекс мер по безопасному ведению горных работ на этих участках включает:

- прогноз внезапных разрушений пород почвы;
- способы предотвращения внезапных поднятий пород почвы;
- мероприятия по обеспечению безопасного ведения горных работ.

Таким образом, технология проведения горных выработок по опасным по внезапным разрушениям породам почвы, отличается тем, что к операциям проходческого цикла, непосредственно направленным на сооружение выработки, добавляется ряд операций по осуществлению прогноза и предупреждения этих явлений.

3.3.1 Прогноз внезапных разрушений пород почвы

На основе математической модели механизма разрушений пород почвы прогнозирование этих явлений должно осуществляться следующим образом. По оси выработки в породах почвы бурится

керновая скважина на глубину равную $2B$ (B – ширина выработки). По керну извлеченному из скважины описывается состав пород почвы выработки и мощность каждого слоя пород. По формуле (3.9) рассчитывают максимальные растягивающие напряжения в верхнем слое породы, непосредственно прилегающем к почве выработки, которые могут возникнуть вследствие упругого восстановления пород почвы при их разгрузке (при надработке пород почвы выработкой). Затем сопоставляют рассчитанные растягивающие напряжения с пределом прочности на растяжение породы верхнего слоя. Согласно неравенству (3.7), если рассчитанные растягивающие напряжения превышают предел прочности породы верхнего слоя, непосредственно прилегающего к почве выработки, то выработка является опасной по поднятиям пород почвы. Керновые скважины для разведки пород почвы должны буриться диаметром 59-76 мм, непосредственно у забоя выработки, через каждые 50 м ее подвигания.

Физико-механические свойства пород, залегающих в почве выработки, и давление газа, если они не известны, определяются один раз перед началом проведения выработки.

3.3.2 Способы предотвращения внезапных разрушений пород почвы

3.3.2.1 Опережающая отработка защитных пластов

Предотвращение внезапных разрушений пород почвы выработки может быть достигнуто за счет опережающей отработки защитных пластов не залегающих непосредственно у пород, опасных

по разрушению. Выемка защитного пласта приводит к перераспределению напряжений и разгрузке (снижению напряжений) в надрабатываемом массиве. В результате разгрузки и увеличения вследствие этого проницаемости массива происходит его частичная естественная дегазация. Исследованиями, проведенными во ВНИМИ, были установлены размеры защитной зоны в кровле и почве защитного пласта, которые составляют 40 м в кровле защитного пласта и 25 м в почву для пологих и наклонных, и 35 м – для крутых пластов.

Выработка считается защищенной от внезапных разрушений пород почвы, если ее подошва находится на расстоянии не менее 18 м и выше нижней границы защиты, а с момента под- или надработки прошло не менее 6 месяцев.

3.3.2.2 Изменение положения выработки

В ряде случаев предупреждение внезапных разрушений пород почвы может быть достигнуто путем изменения положения выработки (рис. 3.11).

Если непосредственно в почве выработки, залегает слой неупругих пород (глинистые сланцы) значительной мощности и выработка проводится с частичной подрывкой этих пород, то предотвращение разрушения пород почвы может быть достигнуто путем уменьшения подрывки. Способ этот как правило, целесообразно применять еще на стадии проектирования горных выработок. Суть его состоит в том, что если прогнозом установлена возможность разрушения пород почвы выработки, то располагать выработку

следует таким образом, чтобы расстояние от подошвы выработки до границы неупругого слоя с упругими породами (h_1) было таким, при котором $(\sigma_x)_{max} < [\sigma_{расст}]$. Это расстояние может быть определено из следующего условия:

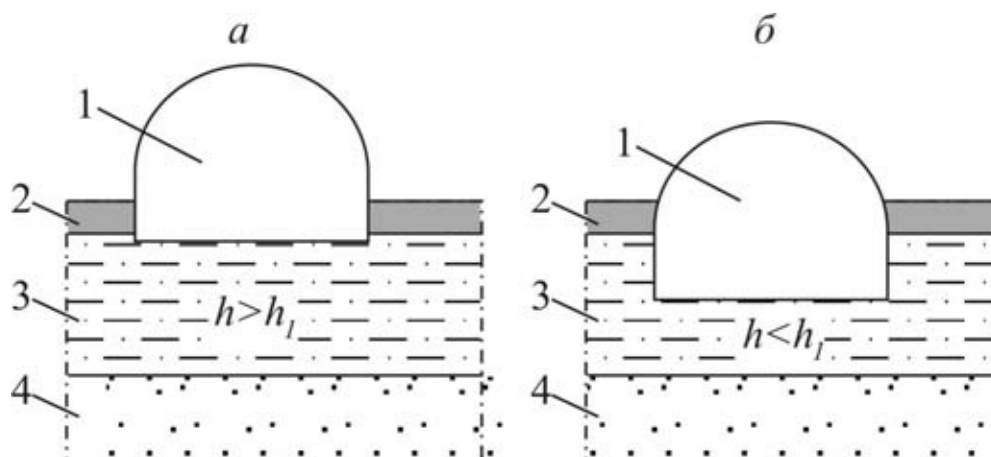


Рис. 3.11. Изменение расположения выработки с целью предупреждения внезапных разрушений пород почвы

1 – подготовительная выработка; 2 – угольный пласт; 3 – сланец; 4 – песчаник; а) – не опасно; б) – опасно

$$h_1 > \sqrt{\frac{(\gamma H + Pm) \cdot B^2}{6[\sigma_{расст}]} \cdot \left(\sum_o^\ell \cdot \frac{\gamma_i \cdot H_i}{2E_i} \cdot m_i + \sum_o^\ell \cdot P_i \cdot \alpha_i \cdot m_i \right)}, \quad (3.11)$$

где h_1 – минимальная мощность первого (неупругого) слоя, обеспечивающая предотвращение внезапного разрушения пород почвы.

3.3.2.3 Мероприятия по обеспечению безопасности ведения горных работ в породах, опасных по внезапным разрушениям пород почвы

Основная опасность ведения горных работ в выработках, опасных по внезапным разрушениям пород почвы может заклю-

чатся в резком повышении содержания метана в атмосфере выработки и снижении в результате этого содержания в нем кислорода, а также в нарушении крепи оборудования, что может вызвать удушье и травмирование горнорабочих. Поэтому все рабочие, направленные в данные выработки, а также посещающие их лица технического надзора, должны иметь при себе изолирующие самоспасатели, а рабочие, ведущие работы в этих выработках, должны быть оснащены индивидуальными автоматическими сигнализаторами метана. Кроме того, все рабочие, занятые на работах в выработках, опасных по внезапным разрушениям пород почвы и прорывом метана, должны быть ознакомлены с предупредительными признаками этого явления. Характерными признаками внезапного разрушения пород почвы являются кратковременные глухие удары в глубине массива, переходящие в сильный шум или нарастающий гул. Возможны также упругие колебательные движения почвы выработки.

ГЛАВА 4. ВНЕЗАПНЫЕ ВЫБРОСЫ УГЛЯ, ПОРОДЫ И ГАЗА

4.1 Геологические и горно-технические условия проявления внезапных выбросов

Во многих странах мира на шахтах происходят внезапные выбросы угля и газа, песчаников и газа, калийных солей и газа, а при сооружении тоннеля Арпа-Севан в Армении имели место выбросы порфиритов и газа. Уголь, песчаники, калийные соли и порфириты существенно различаются по своим физико-механическим свойствам. Общим для всех взрывоопасных пород и угля являются высокие упругие свойства и наличие газа в поровом пространстве.

Много общего в геологических и горнотехнических условиях проявления выбросов угля, породы и газа. Внешние признаки выбросов, происшедших в угольных пластах, калийных солях, песчаниках и порфиритах, а именно: характер их измельчения, образование полостей в массиве горных пород, выделение газа из измельченного материала, перемещение измельченных угля и пород в газовом потоке по выработкам, расположение разрушенного материала в выработке под углом меньше угла естественного откоса, характер нарушения крепи и оборудования в выработках и т.п. имеют общие черты.

Некоторые исследователи (10, 13, 14, 47, 52) считают, что несмотря на существенные различия физико-механических свойств угля, калийных солей, песчаников и порфиритов природа и механизм выбросов у них едины.

В этой связи исследования проводились исходя из положения об общности природы и механизма выбросов угля, пород и газа. При этом выброс рассматривался как спонтанный, быстро протекающий процесс хрупкого самоподдерживающегося разрушения призабойной части массива горных пород, сопровождающийся газовыделением из разрушенных угля и пород и перемещением их по выработкам в газовом потоке.

4.1.1 Геологические и горно-технические условия проявления выбросов угля и газа

Выбросы угля и газа происходят во многих угледобывающих странах [5].

Первый выброс угля и газа произошел на шахте «Исаак» во Франции в бассейне Лауры. Несколько позже выбросы угля и газа были зарегистрированы в Бельгии. В Украине первый выброс угля и газа отмечен в Донбассе в 1906 г. Выбросы угля и газа имеют место в Англии, Японии, Польше, Венгрии, Германии, Китае и других странах. Минимальная глубина, на которой происходили выбросы угля и газа составляет 120-150 м.

Выбросы угля и газа происходят в весьма разнообразных условиях: на угольных пластах различной степени метаморфизма (от антрацитов с $lg_p > 3,3$ до каменных углей с выходом летучих веществ $V^{daf} < 36\%$, $M = 27,7$ усл.ед.), на пластах различной мощности и при различных углах залегания, при вскрытии угольных пластов и при их разработке, в очистных и подготовительных выра-

ботках, при различных способах выемки угля (буровзрывном, механическом, гидравлическом и ручном).

Выбросы угля и газа происходят на угольных пластах различного петрографического состава [4, 61]. Выбросоопасные пласты сложены наиболее хрупкими углями – витреновыми, кsilовитреновыми. Выбросы угля и газа происходят в угольных пластах марок Г, Ж, К, ОС, Т и А.

Выбросоопасные зоны на выбросоопасных угольных пластах имеют локальный характер. Среднестатистическая площадь выбросоопасных зон составляет 5-10% от общей площади выбросоопасного шахтопласта. Вид, расположение полостей выбросов угля и газа приведены на рис. 4.1.

Внезапные выбросы угля и газа приурочены к зонам геологических нарушений. С усложнением тектонического строения шахтного поля, развитием мелких пликтивных и дизъюнктивных нарушений опасность по выбросам возрастает. Наиболее опасными зонами являются участки 10-20 метровой ширины по обе стороны от дизъюнктивного нарушения (рис. 4.2, а).

Л.Н. Быков отмечал, что обычно внезапные выделения приурочены либо к зонам геологических нарушений, либо к зонам, лежащим в непосредственной близости к таковым [24].

Е.С. Цейте указывал, что пласты в активных по выбросам зонах интенсивно препарированы и препарированность угля имеет тектоническое происхождение.

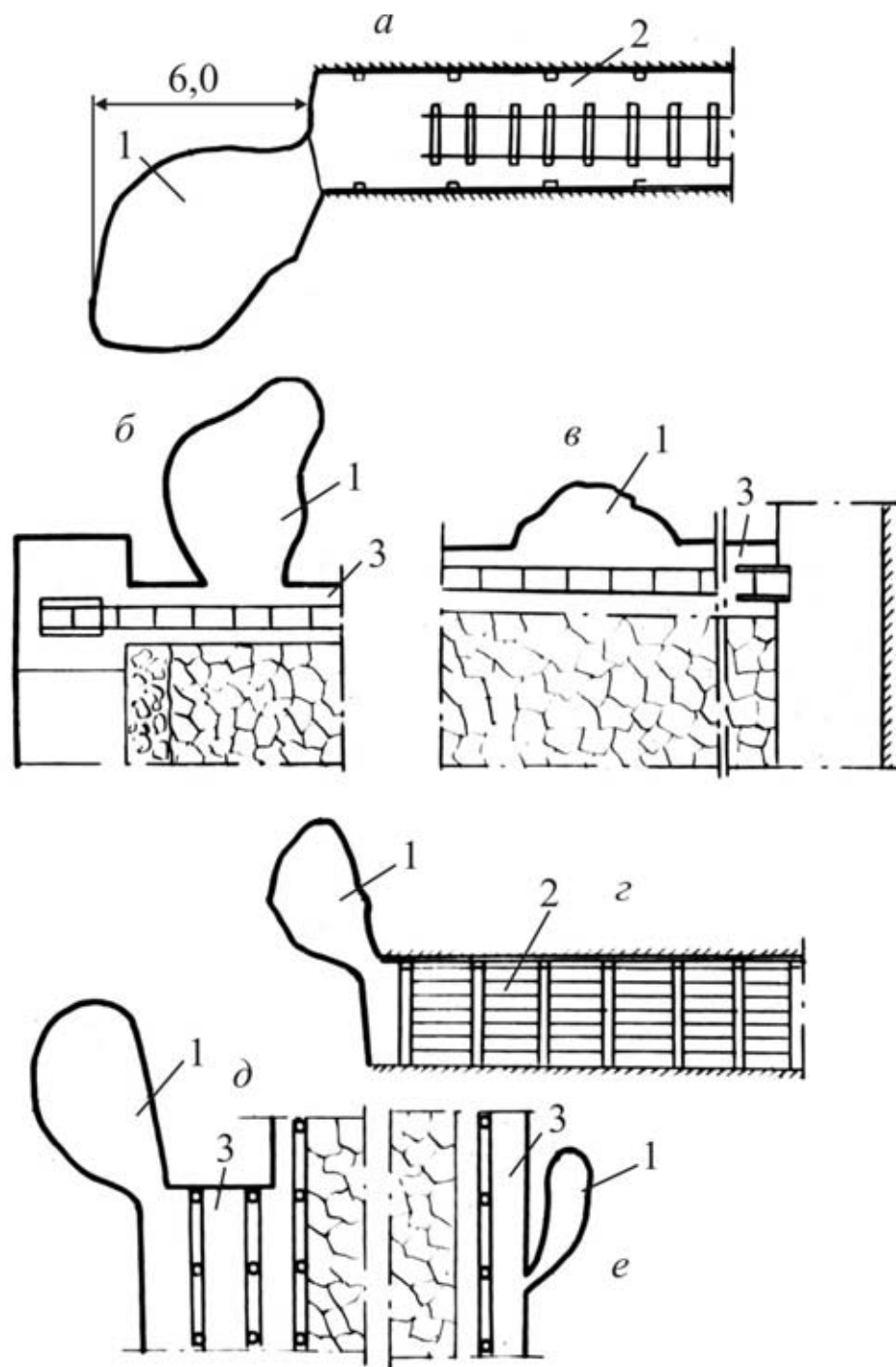


Рис. 4.1. Вид полостей выбросов

а – в подготовительной выработке на пологом пласте; б, в – в очистных выработках на пологих пластах; г – в подготовительной выработке на крутом пласте; д, е – в очистных выработках на крутых пластах; 1 – полость; 2 – подготовительная выработка; 3 – очистная выработка

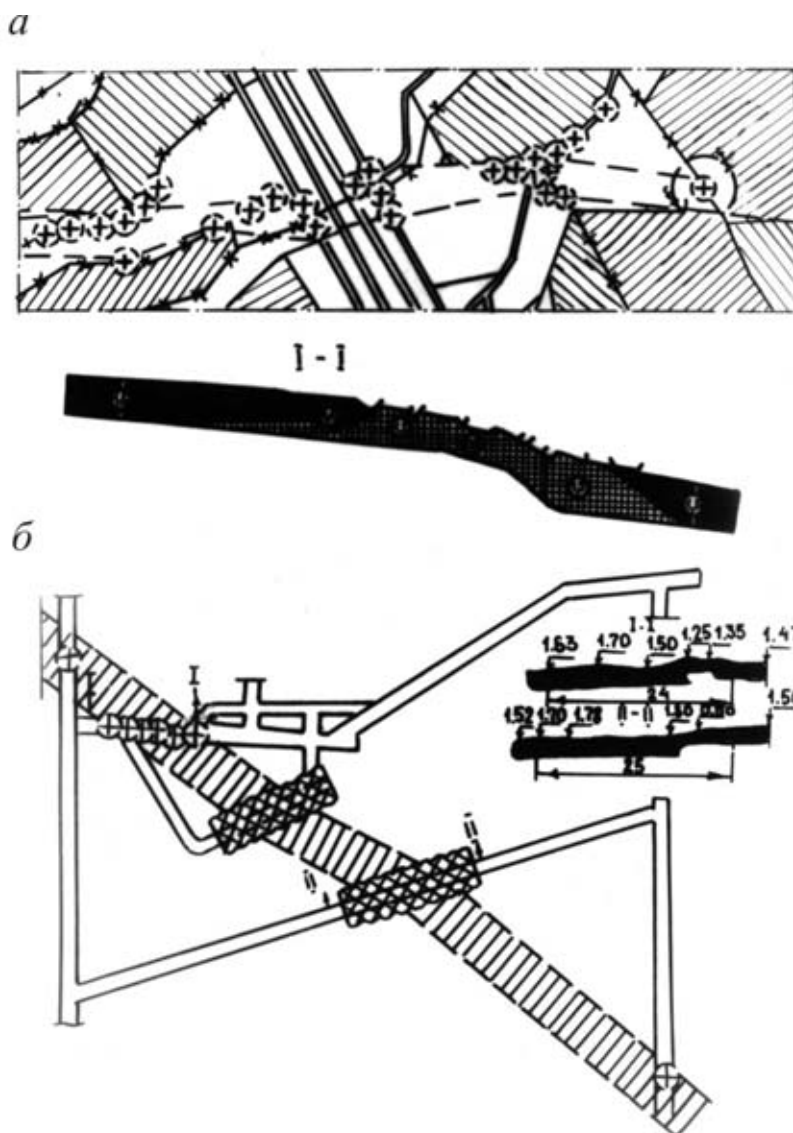


Рис 4.2. Характер изменения угольных пластов в выбросоопасных зонах и приуроченность выбросоопасных зон к геологическим нарушениям
 ⊕ - место выброса угля и газа; ##### – уголь с нарушенной структурой; = = = – геологическое нарушение; XXX – зона гидрообработки угольного пласта

Некоторые авторы [73] отмечают, что в местах внезапных выбросов имеет место уменьшение крепости угля, связанное с ростом степени нарушенности угольных пластов, а также наличие связи между зональным проявлением выбросов и тектоническими структурами – мелкими разрывами и вторичными складками, где развита интенсивная экзогенная трещиноватость. Выбросоопасные зоны на

угольных пластах характеризуются сложным строением и повышенной изменчивостью мощности (рис. 4.2, а, б).

Аналогичную картину дает анализ распределения выбросоопасных зон в угольных пластах за рубежом, а также исследований природы выбросоопасности угольных пластов зарубежными учеными [6].

Так южная часть бассейна Севан (Франция), которая значительно нарушена, более подвержена выбросам.

Французскими и бельгийскими исследователями большое значение в природе выбросоопасности угольных пластов придается структуре пласта, обуславливающей прочность, проницаемость и начальную скорость газоотдачи из угля.

В районе Северный Рейн-Вестфалия (Германия) выбросы происходили в тектонически нарушенных зонах с природной газоносностью свыше $8 \text{ м}^3/\text{т}$.

В Балканском угольном бассейне (Болгария) выбросы угля и газа происходили в зонах, в которых тектоническая нарушенность проявляется в виде сбросов, замещений угля породой, структурных складок, изменений мощности угольного пласта.

В Остраво-Карвинском бассейне (Чехия) области проявления выбросов отличаются степенью углефикации пластов, тектоническим строением и газовым режимом. В местах выбросов наблюдается изменение структуры пласта, являющейся результатом тектонических нарушений.

В Печском угольном бассейне (Венгрия) выбросы угля и газа приурочены к пликативным, дизъюнктивным и многочисленным структурным нарушениям.

4.1.2 Геологические и горно-технические условия проявления выбросов песчаников и газа

Первые выбросы песчаников и газа произошли в середине 50-х годов прошлого столетия в Донбассе. Выбросы песчаников и газа происходят при вскрытии, пересечении и проведении выработок по выбросоопасным песчаникам на различных глубинах, начиная с глубины 650-700 м. В основном, выбросы песчаника и газа происходили при разрушении его взрывным способом. Однако экспериментальные исследования и опыт проведения выработок по выбросоопасным песчаникам показали, что выбросы происходят и при механическом разрушении песчаника [11]. В Германии выбросы песчаника происходили при проходке ствола комбайном [12].

Выбросы песчаника и газа происходят в русловых песчаниках, песчаниках подводных выносов рек и прибрежноморских песчаниках, отличающихся от песчаника других фациальных условий осадконакопления минеральным составом и структурно-текстурными особенностями [28].

Песчаники этих генетических типов существенно отличаются от других песчаников и по характеру преобразования минерального состава и структуры.

Согласно [25] выбросы песчаников происходят в зонах изменения мощности выбросоопасных песчаников, т.е. в зонах тектонических нарушений.

Установленная связь выбросов песчаника и газа с антиклинальными и синклинальными мелкоамплитудными складками позволяет рассматривать площадь их развития как наиболее вероятные места проявления выбросов. Выбросоопасные зоны в песчаниках носят локальный характер. Вид и расположение полостей в выработках, проводимых по выбросоопасным песчаникам приведены на рис. 4.3, а, б. Стенки полости покрыты чешуеобразными пластинками. Выбросы происходят в песчаниках, залегающих в районе распространения углей марок Г, Ж, К, ниже расположения границ метановых газов. Выбросы песчаников и газа в региональном плане распределения неравномерно и с этих позиций в Донбассе можно выделить три области: западную, центральную и восточную [28]. Западная область, соответствующая зонам развития углей марок Д и переходных от Д к Г характеризуется отсутствием выбросов песчаников и газа. Центральная область (зона распространения переходных от газовых к жирным углям), является зоной повышенной выбросоопасности песчаников. В восточной области залегают высокометаморфизованные антрациты. Выбросы песчаника и газа в этой области отсутствуют.

В локальном плане выбросы песчаников и газа приурочены к зонам крупнозернистых песчаников, содержащих повышенное количество кварца.

4.1.3 Геологические и горно-технические условия проявления выбросов калийных солей и газа

Выбросы калийных солей и газа происходили при разработке карналитовых и сильвинитовых пластов Верхнекамского месторождения в России и Старобинского месторождения в Белоруссии, а также в Польше, Германии и Франции.

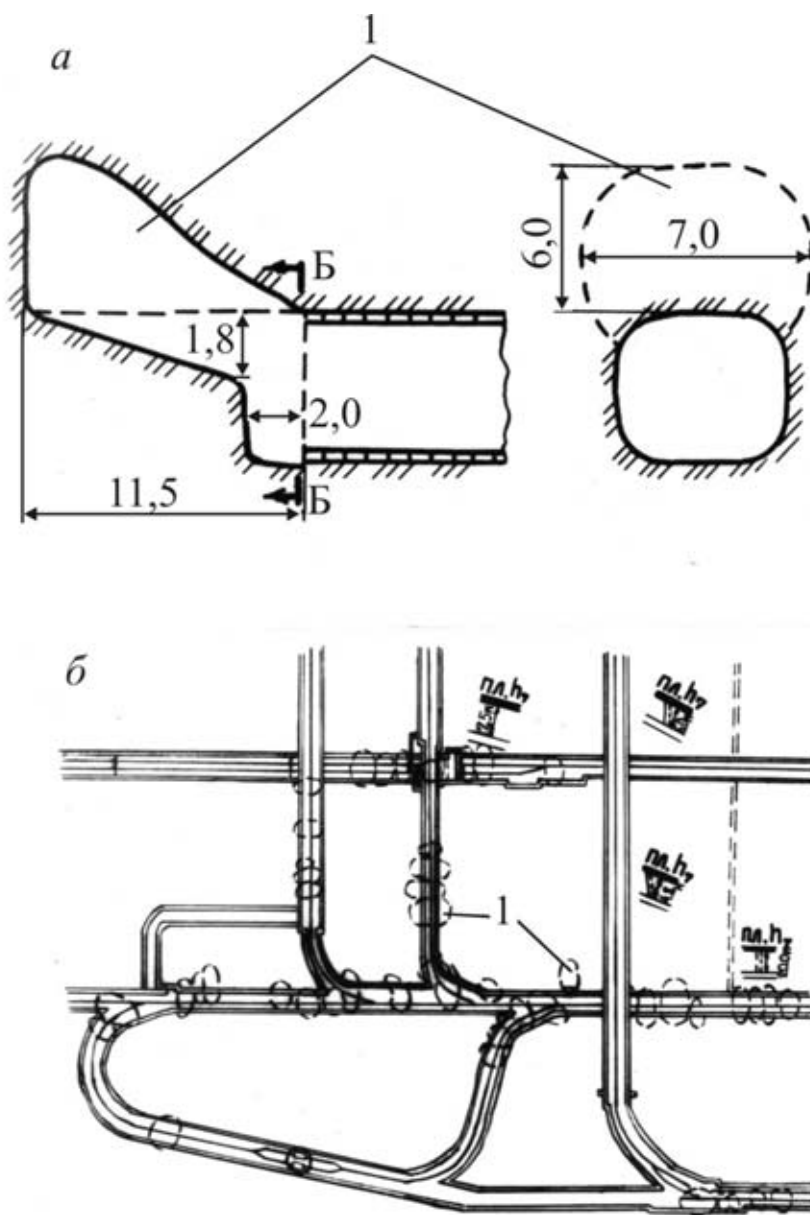


Рис. 4.3. Вид и расположение полостей выбросов печаника и газа
1 – полость выброса песчаника

Выбросы соли и газа происходят как при ведении очистных работ, так и при проведении подготовительных выработок.

Выбросы соли и газа происходят при различных способах их разрушения во время ведения горных работ (ручном, механизированном, буровзрывном).

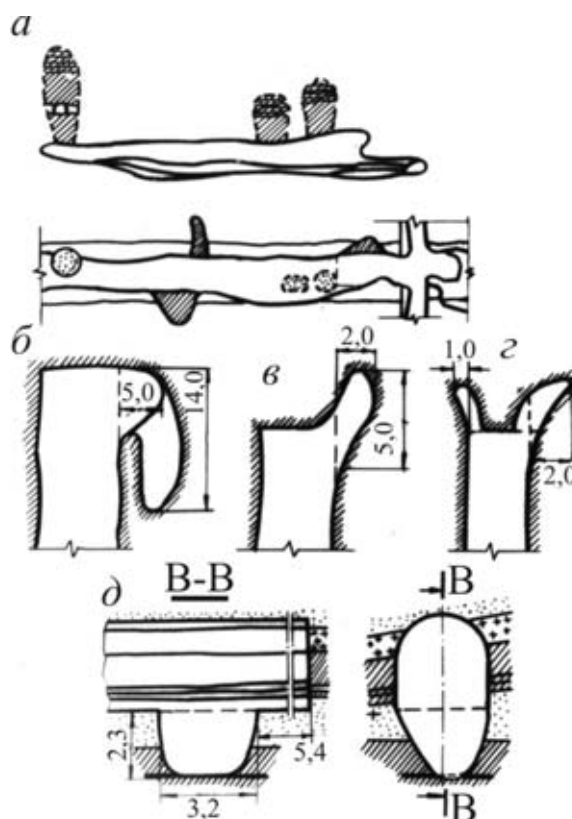


Рис 4.4. Характерные полости внезапных выбросов карналлитовых пород и газа при отработке выбросоопасного пласта В на Верхнекамских рудниках (б, в, г) и их расположение относительно очистных камер (а) [57]

Минимальная глубина выброса соли и газа составила 265 м. Выбросы соли и газа происходили из кровли, почвы, стенок и забоя выработок. Полости выбросов на калийных пластах различной формы: конусообразной, грушевидной и т.п. (рис. 4.4). Стенки полостей выбросов имеют характерную трещиноватость ориентиро-

ванную нормально к направлению развития выброса. Выбросоопасные зоны носят локальный характер и приурочены к геологическим нарушениям (рис. 4.5 и 4.6). Выбросы соли происходят с выделением метана, углекислого газа, азота и водорода. Выбросоопасные зоны на калийных пластах имеют пониженную прочность, повышенную пористость и газоносность. Соль при выбросах разрушается до мелких фракций, а часть до пылевидного состояния.

Геологические нарушения, к которым приурочены выбросы соли и газа, представлены, как правило, замещением или выклиниванием отдельных продуктивных слоев и пропластков, погружением или поднятием отдельных зон, микроскладчатостью, локальными мульдами погружения [57].

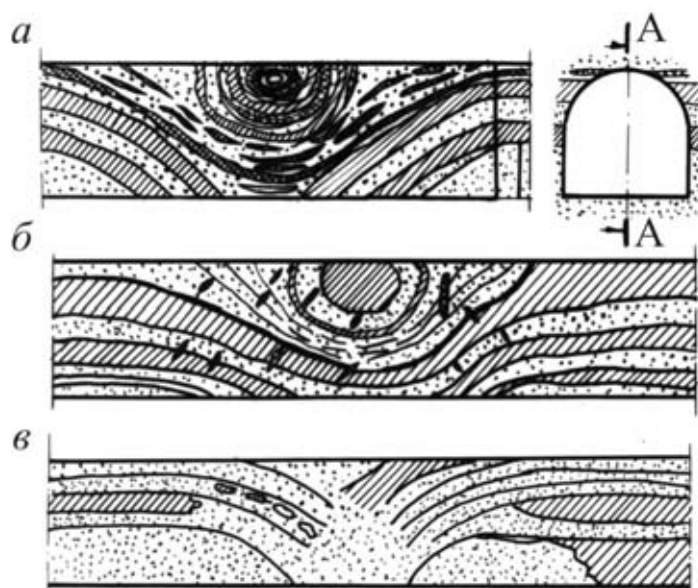


Рис. 4.5. Локальные геологические нарушения в виде мульд погружения на третьем калийном пласте Старобинского месторождения
а, б – вентиляционные штреки в пределах шахтного поля Первого Солигорского рудника; в – очистная камера на 5-й панели шахтного поля Второго Солигорского рудника [57]

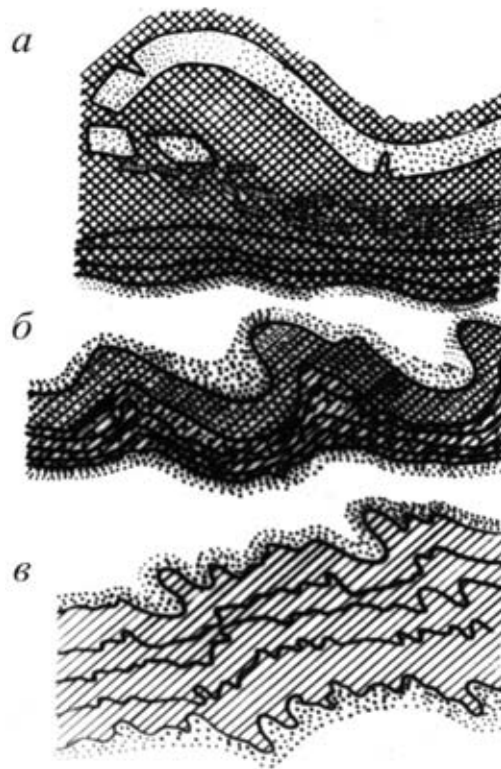


Рис. 4.6. Схемы форм складчатости выбросоопасных калийных пластов Верхнекамского месторождения

а – карналлитовый пласт; б – сильвинитовый пласт АБ; в – сильвинитовый пласт К_р [57]

Согласно [57] выбросы соли и газа происходят во время отбойки соли.

Таким образом, горно-геологические условия, в которых происходят выбросы угля, песчаника и калийных солей, практически, идентичны.

4.2 Петрографический состав и физико-механические свойства выбросоопасных угольных пластов и пород*

4.2.1 Петрографический состав и физико-механические свойства угольных пластов

* Соавтор – Формос В.Ф.

Угольные пласты весьма неоднородны по составу и состоят из полосочек и линзочек угольного вещества различной структуры, представленных в основном следующими ингредиентами: витреном, фюзеном, клареном и дюреном, которые существенно различаются по своим деформационным свойствам. К наиболее выбросоопасным относятся пласты, сложенные наиболее хрупкими углями – витреновыми и кsilовитреновыми [4].

При изучении физико-механических свойств угля с целью выявления их влияния на выбросоопасность исследовались свойства невыбросоопасных и выбросоопасных угольных пластов в невыбросоопасных и выбросоопасных зонах. Установлено, что физико-механические свойства угольных пластов зависят от некоторых горно-геологических факторов.

Существенное влияние на свойства угля оказывает степень метаморфизма угольных пластов. Зависимость свойств угля от степени метаморфизма приведена на рис. 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11.

Вследствие наличия связи между степенью метаморфизма угольных пластов и его свойствами при исследовании угля для получения сопоставимых и достоверных результатов сравнивались выбросоопасные и невыбросоопасные угольные пласты одной степени метаморфизма.

Исследованиями прочностных свойств угля в лабораторных условиях по сопротивлению дроблению и сопротивлению одноосному сжатию, выполненными в МакНИИ для Донецких угольных пластов [5] и по методу проф. М.М. Протоdjяконова, основанному на удельной работе затраченной на толчение угля, выполнен-

ными ВостНИИ для углей Кемеровского и Про-копьевского месторождения [68], различия по крепости угля для невыбро-соопасных и выбросоопасных (в невыбросоопасных зонах) угольных пластов не установлено. Не установлено различие прочностных свойств невыбросо-опасных и выбросоопасных в неопасных зонах угольных пластов, исследованиями выполненными в шахтных условиях прибором ПК-I (табл. 4.1).

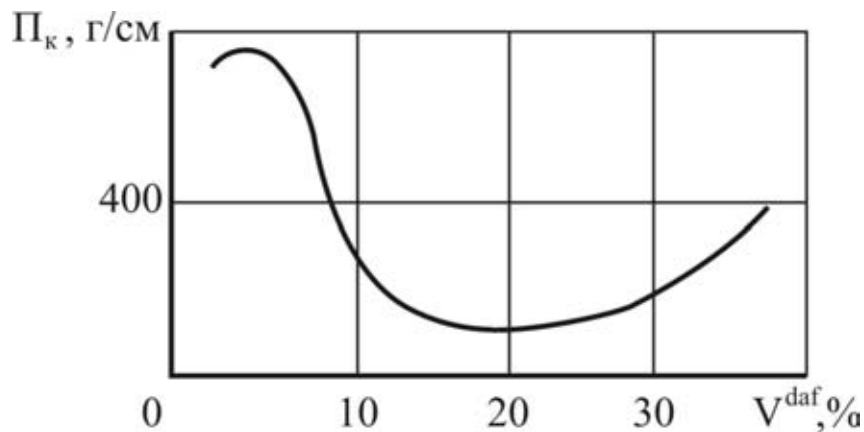


Рис. 4.7. Зависимость механической прочности по копру (P_k) от степени метаморфизма угля (V^{daf})

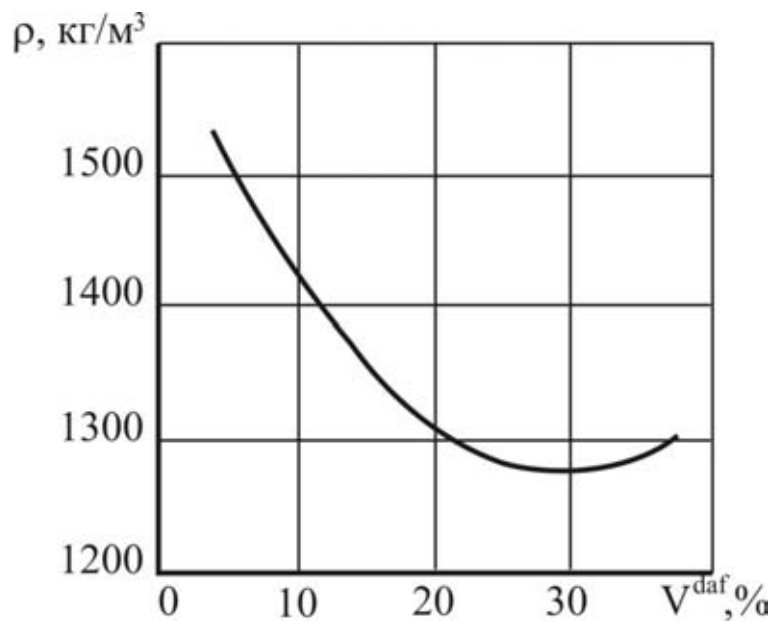


Рис. 4.8. Зависимость плотности угля (ρ) от степени метаморфизма (V^{daf})

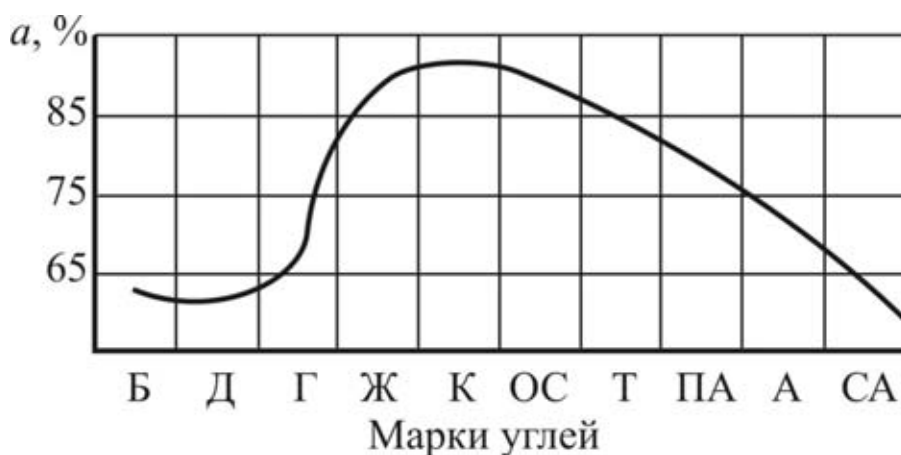


Рис. 4.9. Зависимость хрупкости угля (a) от степени метаморфизма (по Л.Н. Быкову)

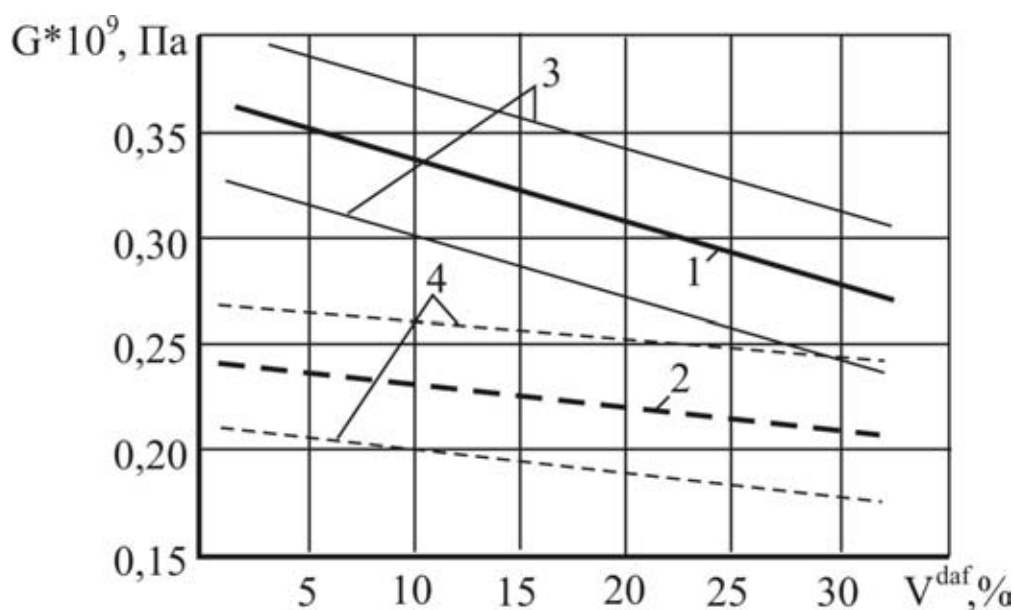


Рис. 4.10. Зависимость динамического модуля сдвига (G) от степени метаморфизма угля (V^{daf})

1 – выбросоопасный пласт (неопасная зона); 2 – невыбросоопасный пласт; 3 – доверительные границы выбросоопасного пласта; 4 – доверительные границы невыбросоопасного пласта

Показатели разрушаемости керна также не имеют существенных различий для невыбросоопасных и выбросоопасных в неопасных зонах угольных пластов (табл. 4.1). Не установлено различия для невыбросо-опасных и выбросоопасных в неопасных зонах

угольных пластов по пористости, удельному и объемному весам [53].

В [52] указывается «неопасные и выбросоопасные шахтопласты, расположенные за пределами выбросоопасных зон, не различаются ни по комплексу усредненных свойств, ни по комплексу соответствующих изменчивостей».

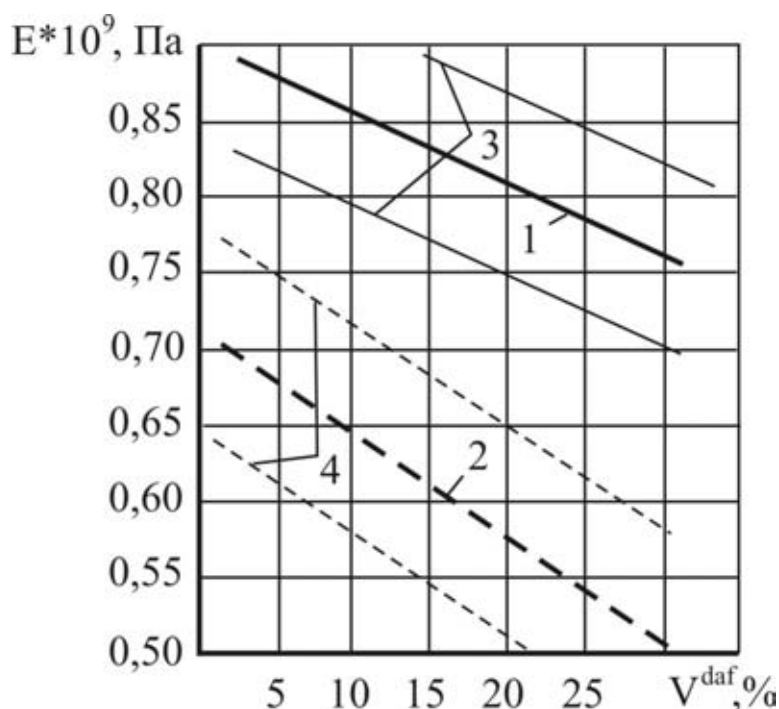


Рис. 4.11. Зависимость динамического модуля упругости (E) от степени метаморфизма угля (V^{daf})

1 – выбросоопасный угольный пласт (неопасная зона); 2 – невыбросоопасный угольный пласт; 3 – доверительные границы выбросоопасного пласта; 4 – доверительные границы невыбросоопасного пласта

Важными характеристиками угольных пластов являются деформационные свойства угля, т.к. от его деформационных свойств зависят склонность к накоплению потенциальной энергии упругого деформирования и характер разрушения угля. Основными показателями деформационных свойств угля являются модуль упругости

и модуль сдвига. Определение деформационных свойств угля статическими методами практически невозможно, т.к. очень трудно изготовить из угля необходимые для этого образцы правильной формы. При бурении керновых скважин по угольным пластам керн разрушается на мелкие кусочки.

Таблица 4.1. Средние значения физико-механических характеристик угольных пластов

Пласт, горизонт	Крепость угля, у.е.	Разрушаемость керна, мм ⁻¹	Газоносность, м ³ /т.с.б.м.
Невыбросоопасные пласты			
Песчаника 826 м	1,0	-	19,2
Соленый 826 м	1,3	14,7-17,4	18,5
Невыбросоопасные зоны на выбросоопасных пластах			
Каменка- восток 596 м	1,2	-	14,6
Толстый- восток 716 м	1,3	-	16,9
Девятка-запад 716 м	1,0	13,8-18,7	15,2
Выбросоопасные зоны на выбросоопасных пластах			
Каменка- восток 596 м	0,8	-	16,6
Толстый- восток 826 м	0,6	-	24,7
Девятка-запад 716 м	0,6	23,8-33,9	18,3

В этой связи при исследовании деформационных свойств угля модуль упругости и модуль сдвига определялись динамическим способом.

В связи с тем, что уголь и горные породы являются упруго-пластическими телами, динамические модули упругости и сдвига полнее характеризуют деформационные (упругие) свойства поскольку они определяются соотношением упругих и неупругих свойств.

Изучение деформационных свойств угля осуществлялось путем неразрушающего воздействия на уголь на установке для определения скорости распространения продольных и поперечных упругих волн в угле.

Исследования проводились на ультразвуковой установке УК-ЮП. В качестве датчиков излучения и приема ультразвуковых колебаний использовались идентичные пьезострикторы с коническими насадками, благодаря чему стало возможным измерение скорости прохождения упругих продольных и поперечных волн производить на образцах неправильной формы. Измерения проводились на каждом образце в 3-5 точках. По каждому шахтопласту производилось 25-30 измерений.

На основании результатов измерений скоростей продольных и поперечных волн в угольных образцах по известным формулам [59] рассчитывались деформационные характеристики (динамические модули упругости и сдвига).

По полученным данным определялись средние значения динамических модулей упругости и сдвига для каждой группы образцов, отобранных на неопасных и опасных пластах (в неопасных зонах). Группы формировались из образцов угля одинаковой степени метаморфизма.

Анализ полученных данных показал, что разброс значений деформационных характеристик, определенных в плоскости, нормальной к напластованию пласта, больше, чем в плоскости, параллельной напластованию.

Поскольку более стабильные и достоверные значения деформационных характеристик угля можно получить при определении их в плоскости, параллельной напластованию, именно эти характеристики были приняты при исследовании различия деформационных свойств выбросоопасных в неопасных зонах и невыбросоопасных угольных пластов.

Связь между деформационными характеристиками выбросоопасных и невыбросоопасных угольных пластов и степенью метаморфизма угля описывается следующими уравнениями:

для выбросоопасных пластов:

$$G = (0,365 - 0,003V^{daf}) \cdot 10^9, \text{ Па}, r = 0,609; \quad (4.1)$$

$$E = (0,942 - 0,006V^{daf}) \cdot 10^9, \text{ Па}, r = 0,624, \quad (4.2)$$

где V^{daf} – выход летучих веществ, %;

r – коэффициент корреляции;

для невыбросоопасных пластов:

$$G = (0,240 - 0,001V^{daf}) \cdot 10^9, \text{ Па}, r = 0,528; \quad (4.3)$$

$$E = (0,719 - 0,006V^{daf}) \cdot 10^9, \text{ Па}, r = 0,850.$$

Как показывают значения коэффициентов корреляции, между деформационными характеристиками угольных пластов и степенью метаморфизма существует достаточно устойчивая связь.

Графики указанных зависимостей приведены на рис. 4.10 и 4.11. На этих же рисунках показаны доверительные границы модуля упругости и модуля сдвига для выбросоопасных (в неопасных зонах) и невыбросоопасных пластов.

Как видно из рисунков, доверительные границы деформационных характеристик невыбросоопасных и выбросоопасных (в неопасных зонах) пластов не перекрываются. Для разграничения выбросоопасных и неопасных значений модуля сдвига и модуля упругости приняты верхние доверительные границы деформационных характеристик невыбросоопасных пластов. Выбросоопасные значения модулей упругости и сдвига располагаются выше верхних доверительных границ невыбросоопасных угольных пластов, а неопасные ниже (рис. 4.12 и 4.13).

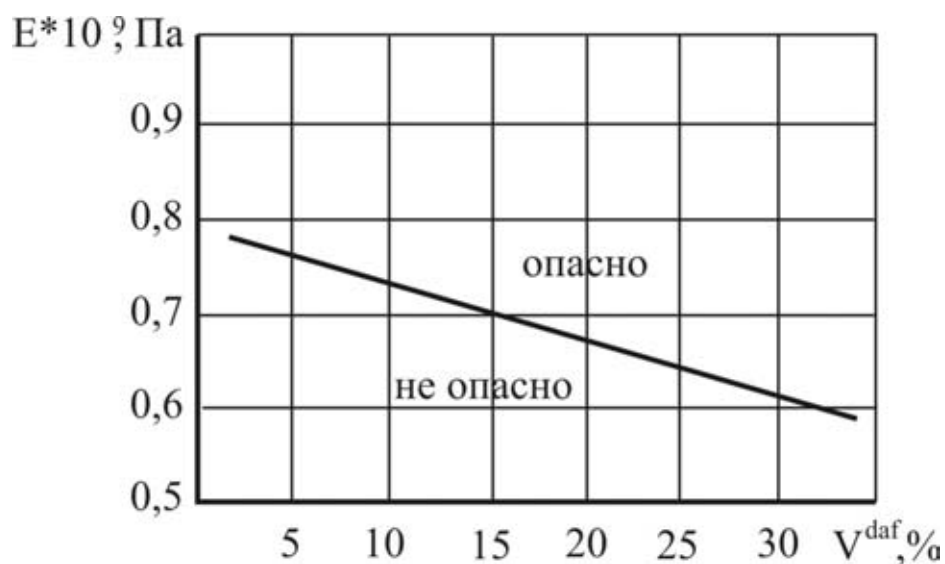


Рис. 4.12. График для оценки выбросоопасности угольного пласта по значениям динамического модуля упругости (E)

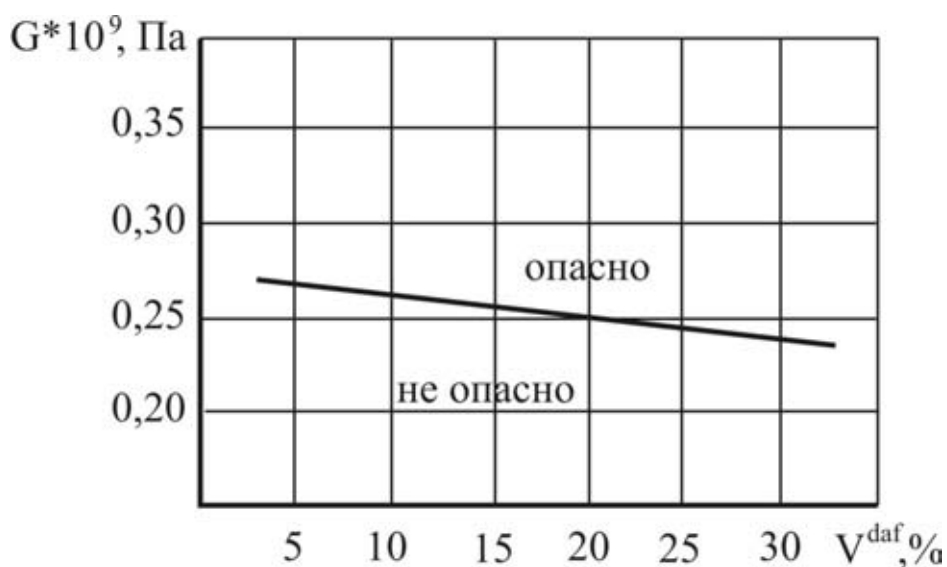


Рис. 4.13. График для оценки выбросоопасности угольного пласта по значениям модуля сдвига (G)

Таким образом, для разграничения выбросоопасных и невыбросоопасных значений деформационных характеристик при определении выбросоопасности угольных пластов могут быть использованы следующие уравнения, описывающие верхние доверительные границы для модуля упругости и модуля сдвига невыбросоопасных пластов:

$$\begin{aligned} G &= (0,270 - 0,001V^{daf}) \cdot 10^9, \text{ Па}; \\ E &= (0,790 - 0,006V^{daf}) \cdot 10^9, \text{ Па}. \end{aligned} \quad (4.4)$$

Существенное влияние на деформационные свойства угля оказывает влага содержащаяся в угольном пласте. Проведенными исследованиями установлено наличие связи между значениями деформационных характеристик угля и количеством влаги, содержащейся в угольном пласте. На рис. 4.14 и 4.15 приведены результаты исследований влияния влаги на деформационные характеристики выбросоопасного пласта (в неопасных зонах).

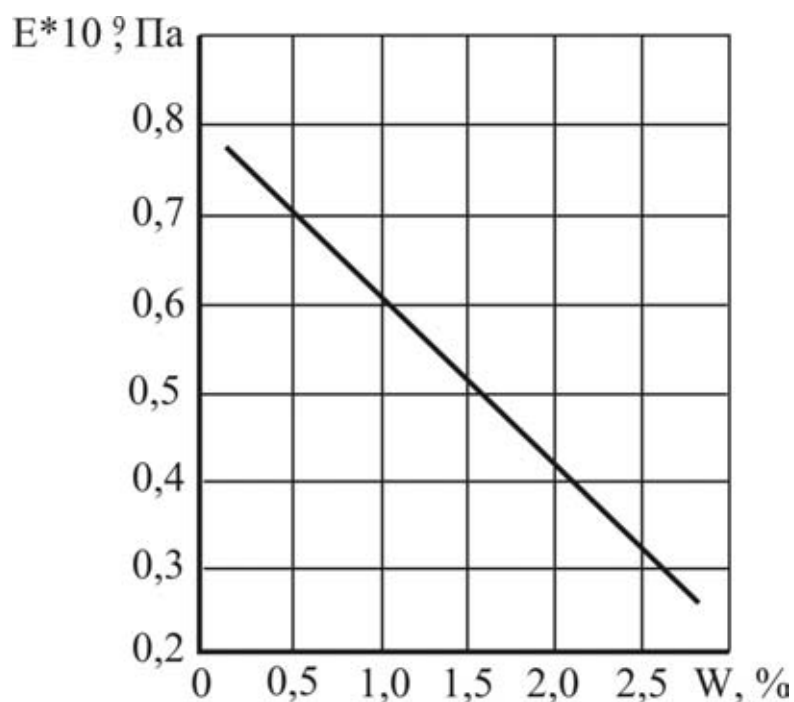


Рис. 4.14. Зависимость модуля упругости (E) от влажности (W)

Как видно из графиков, представленных на рис. 4.14 и 4.15 при увеличении влажности динамические модули упругости и сдвига уменьшаются, что свидетельствует об увеличении пластичности угля и снижении способности его к накоплению энергии упругого деформирования и к хрупкому разрушению.

Деформационные характеристики углей из невыбросоопасных зон выбросоопасных угольных пластов приобретают при увлажнении значения, приближающиеся к значениям невыбросоопасных пластов.

Таким образом, проведенные исследования физико-механических свойств угольных пластов позволили установить, что невыбросоопасные пласты и выбросоопасные пласты (в неопасных зонах) имеют существенные различия по деформационным свойствам.

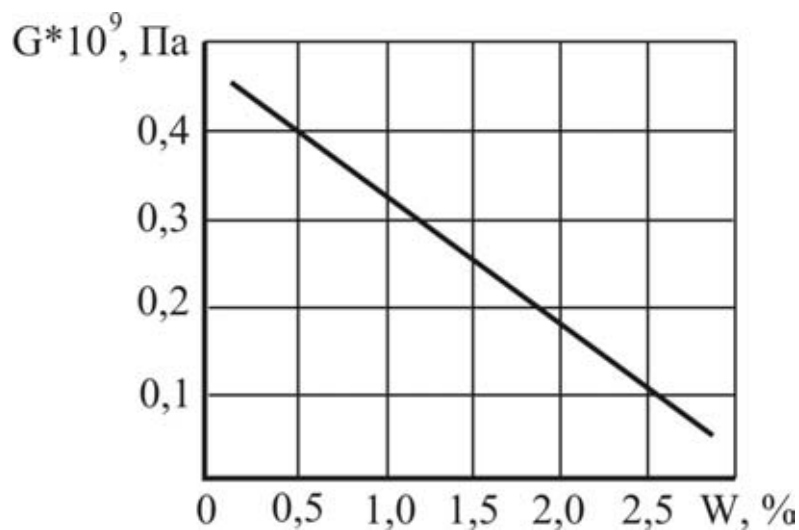


Рис. 4.14. Зависимость модуля сдвига (G) от влажности (W)

Результаты определения физико-механических свойств угля в выбросоопасных и невыбросоопасных зонах выбросоопасных угольных пластов приведены в табл. 4.1.

Оценка существенности различия физико-механических свойств угля из опасных и неопасных зон выбросоопасных угольных пластов производилась по показателю t [43].

$$t = \frac{\Delta X_i}{S} \cdot \sqrt{\frac{n_o \cdot n_H}{n_o + n_H}}, \quad (4.5)$$

где ΔX_i – разность средних показателей в опасных и неопасных зонах;

S – эмпирический стандарт;

n_o – число определений в опасных зонах;

n_H – число определений в неопасных зонах.

Результаты расчетов приведены в табл. 4.2.

Поскольку $t_p \gg t_{\text{табл.}}$, различие крепости угля (f) и разрушаемости керна (R) в выбросоопасных и неопасных зонах выбросоопасных угольных пластов является существенным.

Таким образом, физико-механические свойства угля в опасных и неопасных зонах выбросоопасных пластов имеют существенные различия.

Таблица 4.2. Результаты расчета показателя

Наименование показателей физико-механических свойств	ΔX_i	t_p	$t_{\text{табл}}$	$V = \frac{n_o - n_H}{2}$	Оценка существенности различия
Крепость (f)	0,33	14,32	2,9	50	существенное
Разрушаемость керна (R)	5,10	7,99	3,09	50	существенное

Уголь в выбросоопасных зонах, согласно данным, приведенным в табл. 4.1, характеризуется пониженной прочностью и повышенной разрушаемостью керна, по сравнению с углем из невыбросоопасных зон этого же пласта.

Скорость бурения в выбросоопасных зонах выбросоопасных угольных пластов значительно выше, чем скорость бурения в неопасных зонах этих же пластов.

Угольные пласты отличаются изменчивостью свойств как по простиранию, так и по падению пласта (рис. 4.16). Существенность изменчивости свойств угольных пластов в пределах неопасных и выбросоопасных зон определялась исходя из положения о том, что если выборка является относительно однородной, то ее довери-

тельный интервал будет весьма узким. Количественно это оценивается значением ε [43].

$$\varepsilon = \frac{\Delta \bar{X}}{\bar{X}}; \Delta \bar{X} = t_{\beta} \cdot \frac{\sigma}{\sqrt{n}}, \quad (4.6)$$

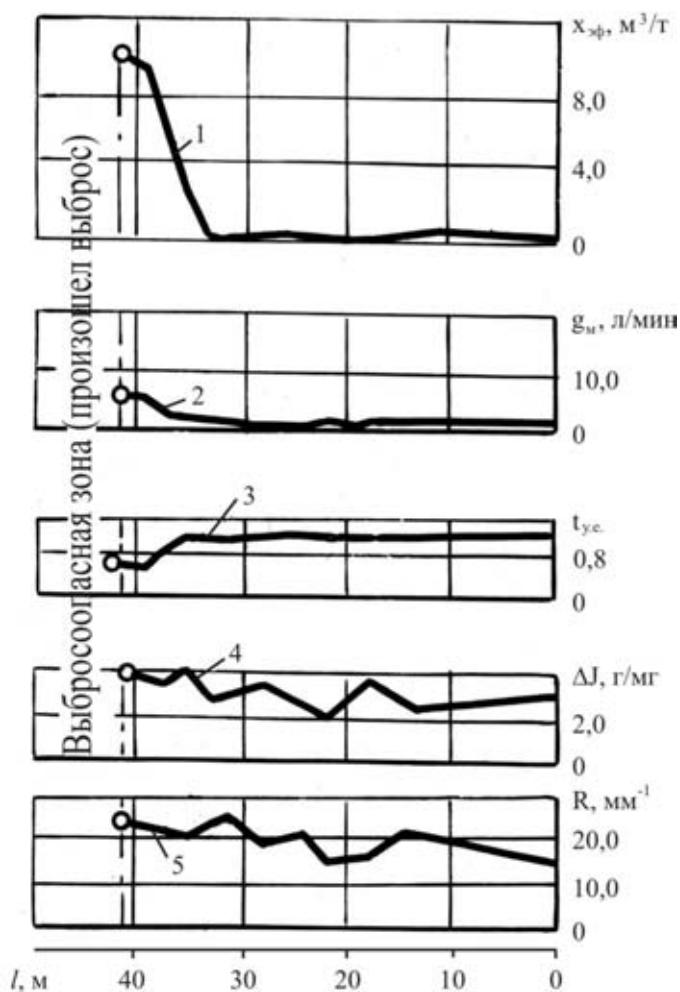


Рис. 4.16. Изменчивость физико-механических и газодинамических свойств по простиранью угольного пласта

1 – эффективная газоносность, м³/т; 2 – начальная скорость газовыделения, л/мин; 3 – крепость угля, у.е.; 4 – показатель скорости иодопоглощения, г/мг; 5 – разрушаемость керна, мм⁻¹; l – расстояние, м

где $\Delta \bar{X}$ – вероятная ошибка; $\bar{X}$ – среднее значение X;

t_{β} – нормирующий множитель (определяется по таблице распределения Стьюдента в зависимости от объема и доверительной вероятности β);

σ – оценка среднеквадратического отклонения величины X в выборке объемом n ;

n – число определений.

Согласно выполненным расчетам при средней крепости угля в неопасной зоне $f_{cp} = 1,03$ усл. ед.; $\varepsilon = 0,082$, в опасной зоне при $f_{cp} = 0,6$ усл. ед. $\varepsilon = 0,008$; при значении разрушаемости керна в неопасной зоне $R_{cp} = 17,2$, $\varepsilon = 0,100$, а в опасной зоне при $R_{cp} = 22,3$, $\varepsilon = 0,005$.

Как видно из приведенных данных, значения ε не превышают 10%, следовательно, выборки являются однородными, т.е. изменчивость свойств угольного пласта в пределах неопасных зон является несущественной. Изменчивость свойств пласта, в пределах выбросоопасных зон, также несущественна.

Свойства угольных пластов существенно изменяются при переходе от невыбросоопасной к выбросоопасной зоне (рис. 4.16 и 4.17).

В работе [35, 53] приведены данные, которые указывают на то, что на физико-механические свойства угля существенно влияет нарушенность структуры угольных пластов.

Данные о влиянии нарушенности структуры угля на его свойства приведены в табл. 4.3, 4.4 и на рис. 4.18.

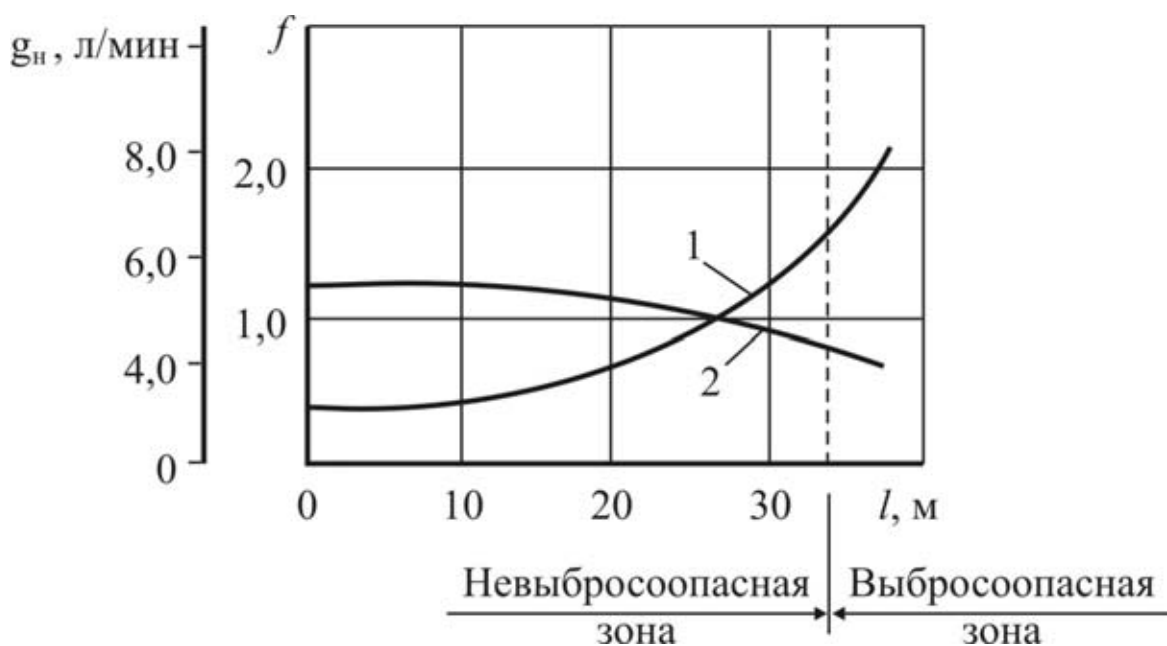


Рис. 4.17. Изменение начальной скорости газовыделения (g_n) и крепости угля (f) при входе выработки в выбросоопасную зону (усредненные значения)

1 – начальная скорость газовыделения (g_n); 2 – крепость угля (f), l – расстояние

Таблица 4.3. Прочностные свойства углей разной степени нарушенности [35]

Степени нарушенности угля	V-IV	III	II-I
Пределы прочности, МПа			
на разрыв	0,05-0,09	0,07-0,1	0,14-0,28
на сдвиг	0,13-0,3	0,28-0,4	0,46-1,52
на одноосное сжатие	0,90-1,56	1,80-3,90	4,00-7,60
Показатель прочности угля по прочностимеру, усл. ед.	35-54	50-77	73-84

Из сопоставления данных о влиянии на свойства угля степени метаморфизма и степени нарушенности структуры очевидно, что влияние степени нарушенности угля на его физико-механические свойства более существенно, чем влияние метаморфизма, вследствие чего нарушается закономерность изменения свойств угля от

степени метаморфизма в зонах, в которых нарушена структура угля.

Таблица 4.4. Данные о влиянии нарушенности структуры угля на физико-механические, коллекторские и газодинамические свойства угля [53]

Показатели	Ненарушенный уголь	Нарушенный уголь
1	2	3
Предел прочности, МПа:		
на одноосное сжатие	3,6...7,6	0,9...1,55
на сдвиг	0,46...1,52	0,13...0,28
на разрыв	0,13...0,28	0,015...0,09
Модуль упругости, МПа:		
в диапазоне напряжений 0-10 МПа	$(0,3 - 0,7) \cdot 10^3$	$0,3 \cdot 10^3$
в диапазоне напряжений 10-100 МПа	$(1,8 - 3,8) \cdot 10^3$	$(1,2 - 1,9) \cdot 10^3$
Скорость прохождения упругих волн, м/сек.:		
параллельно напластованию	1340	765
перпендикулярно напластованию	1159	645
Газопроницаемость, мдарси:		
в массиве (по методу Мак-НИИ)	$18 \cdot 10^{-4}$	$28 \cdot 10^{-5}$
образцов, разгруженных от горного давления	0,0001...0,10	0,1...1,0
показатель скорости газоотдачи, ΔP	3...15	13...46

Антрацит в зоне с нарушенной структурой имеет прочность меньшую, чем наименее прочные коксовые угли [59]. В зонах с нарушенной структурой прочность угля зависит не от степени метаморфизма, а от степени нарушенности его структуры и имеет прак-

тически равные значения для углей различных марок при одинаковой степени нарушенности структуры угля.

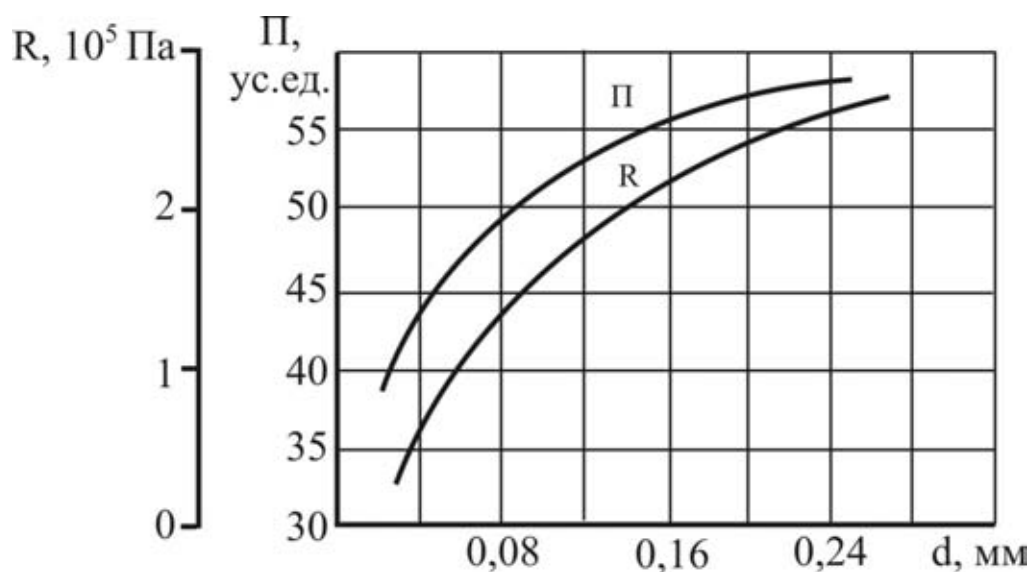


Рис. 4.18. Зависимость физико-механических свойств от степени нарушенности угля

П – приведенная крепость угольного пласта; R – предел прочности на одноосное сжатие; d – расстояние между трещинами

Выбросоопасные зоны в угольных пластах имеют высокую степень нарушенности структуры угля.

На идентичность выбросоопасных зон и зон с нарушенной структурой в угольных пластах указывают многие исследователи.

И.И. Аносов [4] указывает, что выбросоопасными являются зоны в угольных пластах с нарушенной структурой, вследствие тектонического воздействия на пласт.

И.Л. Эттингер [73] считает, что на небольшом отрезке угольного пласта его газонасыщенность и давление горных пород являются практически постоянными. При таких условиях важнейшим фактором в возникновении внезапного выброса может оказаться изменение строения пласта и структуры угля в пласте.

Исследованиями выполненными методами ИК- и ЭПР-спектроскопии установлено, что угли в выбросоопасных зонах характеризуются высокой дефектностью атомно-молекулярной структуры и высокой концентрацией парамагнитных центров (ПМЦ) вследствие воздействия в этих зонах на угольный пласт тектонических сил, для которых характерны деформации сдвига под давлением с присущим этому виду деформаций смещением атомов относительно друг друга, изменениями длины, углов, числа межатомных связей. Характер изменения концентрации ПМЦ на участке выбросоопасного угольного пласта приведен на рис. 4.19.

4.2.2 Петрографический состав и физико-механические свойства песчаников

Согласно данным [28, 29] выбросоопасные песчаники полевошпатовокварцевые реже существенно кварцевые. Они состоят из обломочного ($53,8 \pm 7,8\%$) и регенерационного ($8,7 \pm 2,3\%$) кварца, полевых шпатов ($7,5 \pm 4,3\%$), обломков пород ($6,7 \pm 4,1\%$), слюди-сто-глинистых минералов ($19,4 \pm 7,4\%$) с включением акцессорных минералов (апатита, циркона, турмалина, граната, рудного минерала), редких обуглившихся растительных остатков.

Цемент выбросоопасных песчаников поровой, контактово-поровой, состоящий из гидрослюды, каолинита, карбонатов. Контакты породообразующих минералов прямолинейные, выпукло-вогнутые и структурные. Протяженность контактов $0,45 \pm 0,15$, отношение конечного диаметра зерен кварца к начальному $1,3 \pm 0,7$.

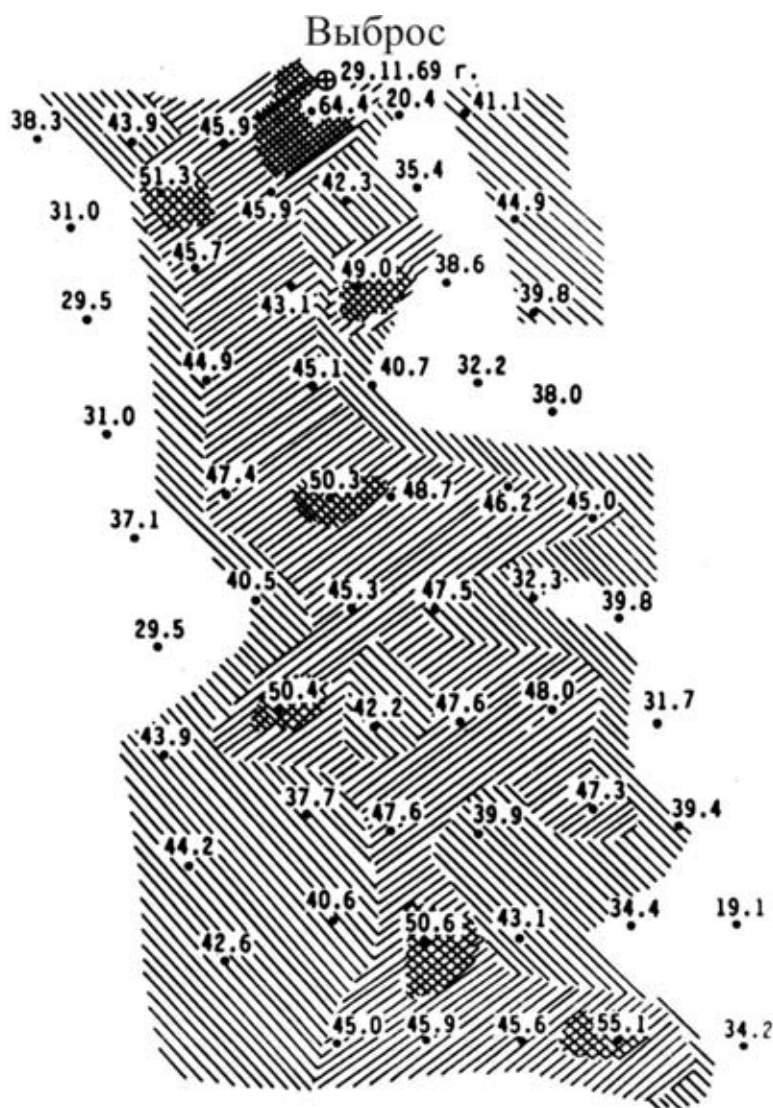


Рис. 4.19. Изменение концентрации парамагнитных центров (ПМЦ) на выбросоопасном угольном пласте
42.3, 64.4 – количество парамагнитных центров

Выбросоопасные песчаники содержат по сравнению со средними характеристиками минерального состава невыбросоопасных песчаников больше кварца обломочного и регенерационного, меньше глинисто-слюдистых минералов, они более крупнозернистые, в них отмечается большая протяженность контактов, развит регенерационный цемент (табл. 4.5). По этим показателям они существенно отличаются от невыбросоопасных [32].

При бурении кернов в выбросоопасных зонах песчаников керн делится на диски.

Таблица 4.5. Сравнительная характеристика выбросоопасных и невыбросоопасных песчаников по петрографическому составу

Минералого-структурные параметры	Выбросоопасные песчаники среднее значение	Невыбросоопасные песчаники среднее значение
Средний размер зерен, мм	0,19	0,14
Кварц обломочный, %	53,77	45,10
Кварц регенерационный, %	3,75	6,16
Слюдисто-глинистые минералы, %	19,26	25,72
Протяженность контактов	0,45	0,22

Петрографический состав выбросоопасных песчаников в опасных и неопасных зонах не имеет существенных различий. Средние значения пределов прочности на растяжение и сжатие выбросоопасных песчаников в выбросоопасных и неопасных зонах соответственно равны 5,2 и 5,9 МПа и 115,0, и 116,5 МПа, а неопасных песчаников по данным [28] соответственно 7,6 МПа, 117,3 МПа. Из приведенных данных следует, что предел прочности песчаников на растяжение в выбросоопасных зонах не существенно (около 10%) отличается от неопасных зон выбросоопасного песчаника и почти на 30% ниже, чем в неопасных песчаниках. Пределы прочности на сжатие выбросоопасных в опасных и неопасных зонах и невыбросоопасных песчаников, определенные в лабораторных условиях существенных различий не имеют.

При определении прочности выбросоопасных песчаников в выбросоопасных и неопасных зонах непосредственно в массиве

горных пород прочность определялась по скорости бурения скважин (по буримости) бурильной машиной при постоянном числе оборотов буровой коронки и постоянном усилии подачи. Буримость характеризует сопротивляемость пород разрушению и может быть показателем прочностных свойств пород в массиве [52]. Выбросоопасность зон устанавливалась по делению керна на диски и затем проверялась по фактическому проявлению выбросов на этом участке путем проведения выработки буровзрывным способом. Для оценки существенности различия скорости бурения, как показателя прочности песчаника в выбросоопасных и невыбросоопасных зонах, проводилось сравнение средних величин скоростей бурения. Средняя скорость бурения в выбросоопасных зонах составила 179,8 мм/мин., а в неопасных зонах выбросоопасных песчаников 135,1 мм/мин. Выполненное методами математической статистики исследование существенности различия средних величин скоростей бурения в опасных и неопасных зонах выбросоопасного песчаника подтвердило отсутствие случайности и значимость в расхождении средних величин скорости бурения в выбросоопасных и неопасных зонах. Результаты исследований, проведенные в [70] показали, что время бурения 1 м скважины в выбросоопасном песчанике изменяется от 3 до 15 мин. При этом максимальное время бурения соответствовало невыбросоопасным зонам, а минимальное – выбросоопасным. Среднее время бурения скважин в выбросоопасных зонах, согласно данным приведенным в [70] в 2,5 раза меньше, чем в неопасных зонах. Таким образом, прочность песчаника в выбросо-

опасных зонах, при определении ее непосредственно в массиве, существенно ниже, чем в неопасных зонах этого же песчаника.

Согласно [28] статический модуль упругости выбросоопасного песчаника составляет $2,15 \cdot 10^4$ МПа, а невыбросоопасного песчаника $2,0 \cdot 10^4$ МПа.

Согласно [25] статический модуль упругости выбросоопасного песчаника равен $E_{ст.} = 3,5 \cdot 10^4$ МПа, а невыбросоопасного $E_{ст.} = 2,2 \cdot 10^4$ МПа. Согласно [44] в выбросоопасном песчанике $E_{ст.} = (2,2 - 3,5) \cdot 10^4$ МПа, а невыбросоопасном $E_{ст.} = (1,6 - 2,3) \cdot 10^4$ МПа. В выбросоопасных песчаниках в опасных зонах статический модуль упругости составляет $(2,3 - 3,2) \cdot 10^4$ МПа, а в неопасных зонах $(2,6 - 3,5) \cdot 10^4$ МПа. Динамический модуль упругости выбросоопасного песчаника составляет $(1,1 - 2,9) \cdot 10^4$ МПа, а невыбросоопасного $(0,2 - 0,4) \cdot 10^4$ МПа, т.е. выбросоопасные песчаники существенно отличаются от неопасных также как и уголь по динамическим деформационным характеристикам.

На упругие свойства песчаников существенно влияет влажность. Зависимость модуля упругости от влажности приведена на рис. 4.20. Как видно из рис. 4.20 при влажности 2,5% и более динамический модуль упругости приобретает такие же значения как и у невыбросоопасного песчаника.

Средние значения коэффициентов затухания упругих колебаний в выбросоопасных и неопасных зонах выбросоопасного песчаника соответственно изменяются в пределах $0,76 - 0,81$ и $1,02 - 1,07 \text{ м}^{-1}$.

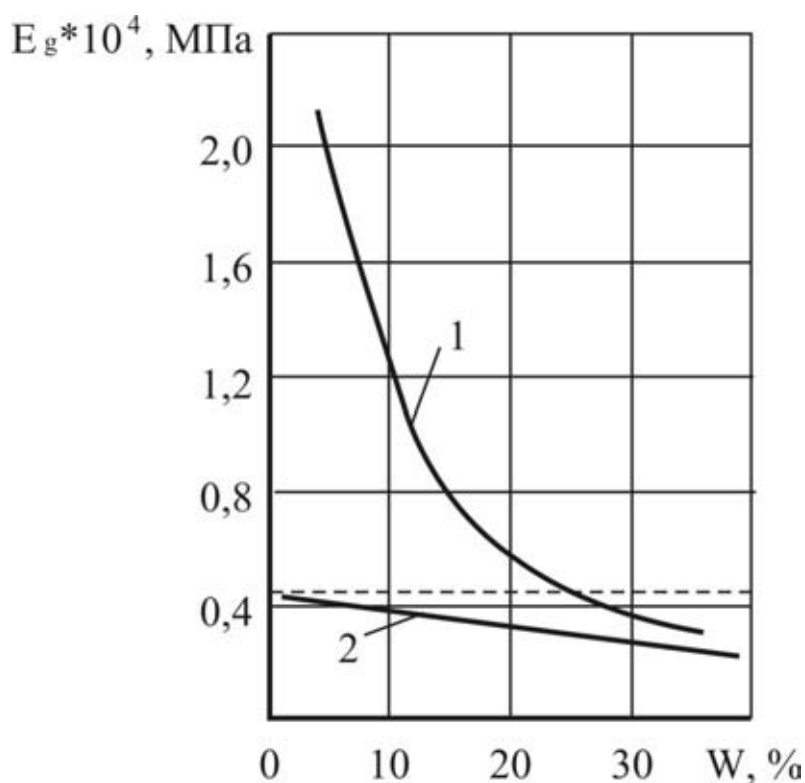


Рис. 4.20. зависимость динамических модулей упругости (E) от влажности (W) песчаников

1 – выбросоопасный песчаник; 2 – невыбросоопасный песчаник

Выбросоопасные песчаники в выбросоопасных зонах имеют большие значения коэффициентов хрупкости, чем в невыбросоопасных зонах.

Исследования физико-механических свойств песчаников позволили установить, что выбросоопасные песчаники в выбросоопасных и неопасных зонах отличаются по прочности в массиве, коэффициентам затухания упругих колебаний, коэффициентам хрупкости.

Свойства песчаников существенно зависят от горно-геологических условий. Физико-механические свойства песчаников коррелируют со степенью метаморфизма угольных пластов, залегающих в зоне расположения песчаников, и изменяются с увеличением глубины залегания (рис. 4.21 и 4.22) [29].

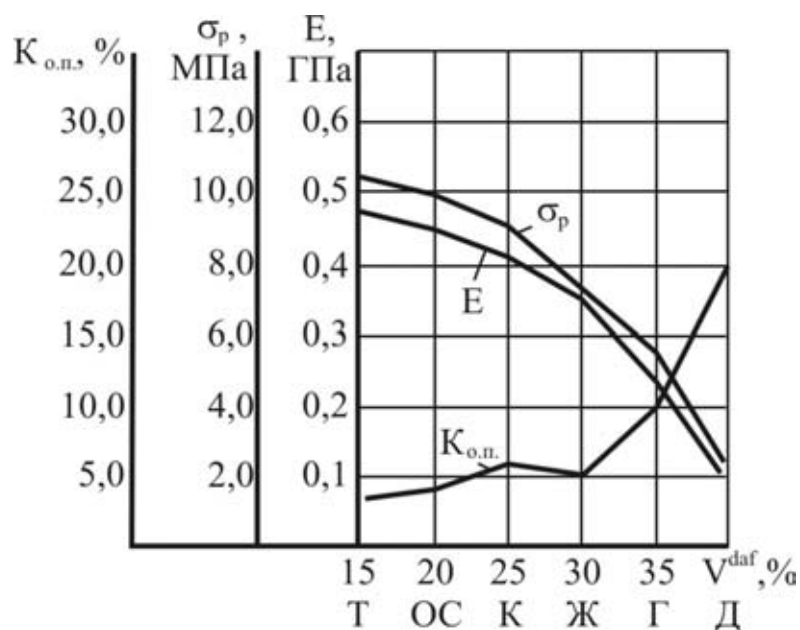


Рис. 4.21. Зависимость свойств песчаников от степени метаморфизма угля, залегающего в зоне его расположения [30]

$K_{о.п.}$ – коэффициент открытой пористости; σ_p – предел прочности на растяжение; E – модуль упругости; V^{daf} – выход летучих веществ, в %

В работе [30] указывается: «Установлено, что проявление выбросов породы и газа в определенных частях разреза песчаников одного и того же генетического типа связано с непосредственным изменением его мощности, минералогического состава и структуры».

В.А. Шатилов в [71] отмечал, что породы в почве выбросоопасного пласта песчаника, в районе происшедшего выброса, несут на себе следы действия тектонических сил (перематы, резко меняют углы падения и т.п.).

4.2.3 Петрографический состав и физико-механические свойства калийных солей

Выбросоопасные калийные пласты представлены смесью отдельных минералов, обладающих существенно различными проч-

ностными и деформационными свойствами. Существенное влияние на прочностные и деформационные свойства калийных солей оказывает их структурный состав: величина, форма, взаимосвязь и строение отдельных зерен, составляющих породу минералов.

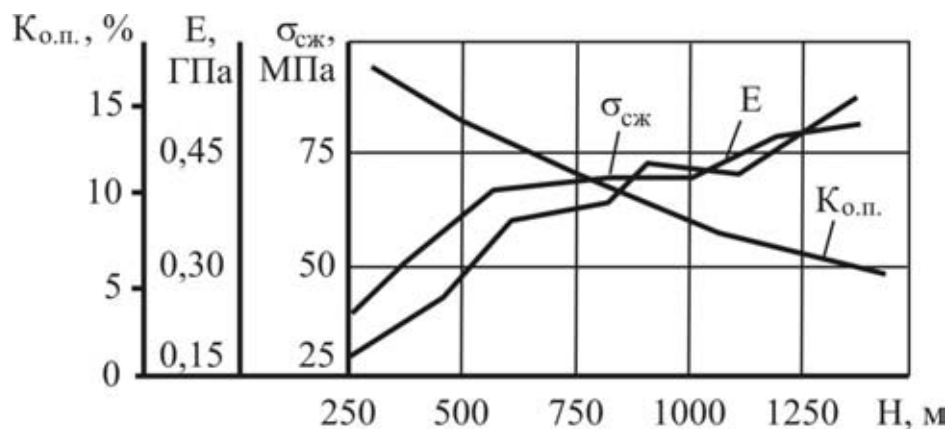


Рис. 4.22. Зависимость свойств песчаников от глубины залегания [30]
 $K_{o.п.}$ – коэффициент открытой пористости; E – модуль упругости; $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие

Структура выбросоопасных калийных пластов разномзернистая, блочная, а для карналлита подразделяется на несколько разновидностей [57].

Выбросоопасные соляные породы обладают повышенной трещиноватостью, образовавшейся в результате микродеформации кристаллов и скольжения слоев относительно друг друга. Наибольшей трещиноватостью обладают карналит и глинистые прослои. При бурении в выбросоопасных солях керновых скважин в выбросоопасных зонах керн делится на диски выпукло-вогнутой формы, а в отдельных случаях разрушается на мелкие кусочки.

Прочность калийных солей на сжатие и растяжение изменяется в широких пределах и составляет соответственно: для Старобин-

ского месторождения $\sigma_{сж} = 19,2 - 26,6$ МПа, $\sigma_p = 0,24 - 2,5$ МПа, а Верхнекамского $\sigma_{сж} = 6,2 - 23,7$ МПа, $\sigma_p = 0,15 - 2,34$ МПа [57].

Статические модули упругости калийных солей изменяются в пределах $E_{ст.} = 0,34 - 2,2 \cdot 10^4$ МПа. При изучении динамических свойств калийных солей установлено, что скорость распространения продольных упругих волн изменяется от 2960 до 5650 м/с, а динамические модули упругости составляют $E_{дин.} = 2,14 - 6,34 \cdot 10^4$ МПа. Работа разрушения калийных солей составляет $A_p = (0,60 - 1,04) \cdot 10^3$ МДж/м³.

Выбросоопасные соляные породы Старобинского месторождения имеют больший процент упругих деформаций по сравнению с невыбросоопасными породами. При обследовании свойств соляных пород в натурных условиях было установлено, что в выбросоопасных зонах они обладают пониженной прочностью, обусловленной нарушением структуры вследствие тектонического воздействия на них, и приурочены к геологическим нарушениям [57].

4.3 Газоносность и газодинамические свойства выбросоопасных угольных пластов и пород

4.3.1 Газоносность и газодинамические свойства угольных пластов

Угольные пласты содержат природные газы, представленные смесью метаморфогенных газов и газовых компонентов воздуха: метан (0-99%), этан (0-3%), азот (0-70%), углекислый газ (1-20%) и микропримеси, содержание которых менее 1% - пропан, бутан, пентан, водород, сероводород, аргон, криптон, ксенон, гелий, неон, кислород, окись углерода. Существенного различия в составе газов

выбросоопасных и неопасных угольных пластов не установлено [72].

В зоне метановых газов метан преобладает в газовой смеси и находится в сорбированном (до 95%) и свободном (около 5%) состояниях (рис. 4.23).

Газовый баланс угольного пласта зависит от сорбционной способности угля и его пустотности. Пустотность может быть от 0,002 до 0,1 м³/т. Метаноносность угольных пластов колеблется в широких пределах, достигается в антрацитах 30-40 м³/т, а максимальное содержание свободного газа может составлять до 1,2-1,6 м³/т.

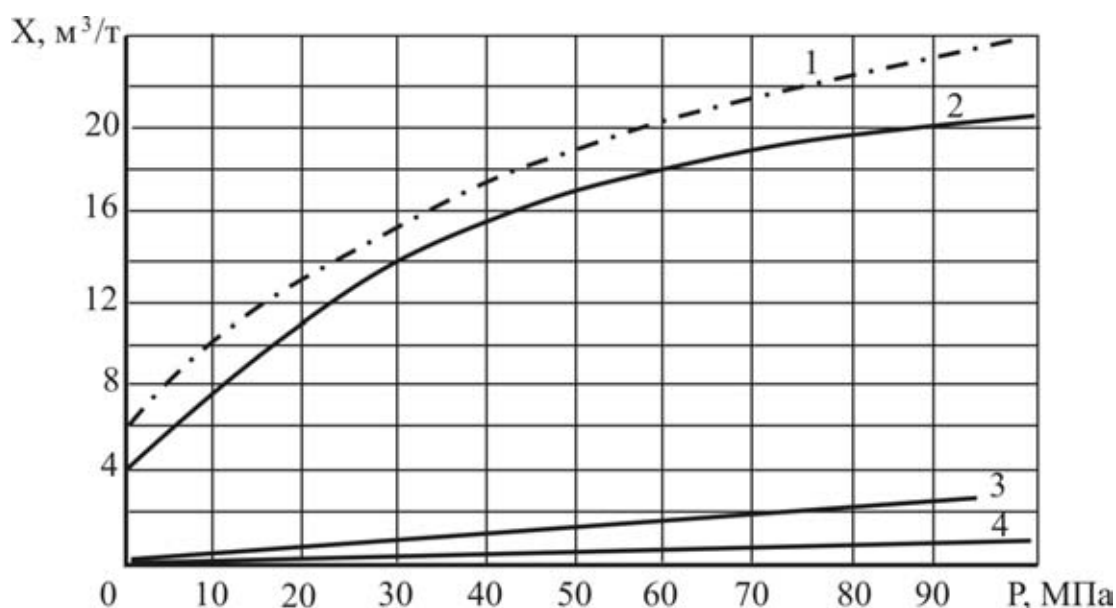


Рис. 4.23. Формы существования газа в угле

1 – общее газосодержание; 2 – сорбированный газ; 3 – сжатый газ; 4 – растворенный газ; P – давление газа

Распределение газов в угольных пластах по глубине носит закономерный характер. Газоносность до глубины порядка 500-800 м возрастает, ниже наблюдается стабилизация содержания метана в

угольных пластах. В некоторых публикациях указывается на то, что после достижения максимума газоносность угольных пластов снижается.

Метаноносность угольных пластов в ряду метаморфизма повышается от газовых углей к антрацитам (рис. 4.24). В высокометаморфизованных антрацитах метаноносность уменьшается практически до нулевых значений.

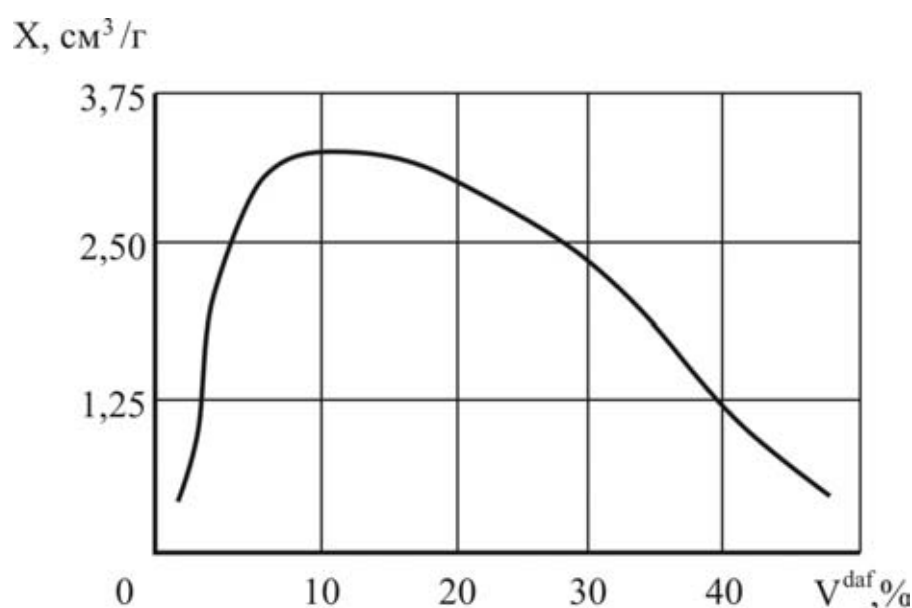


Рис. 4.24. Зависимость газоносности угольных пластов (X) от степени метаморфизма (V^{daf})

Не установлено существенных различий метаноносности угольных пластов опасных и неопасных по выбросам [53]. Не установлено существенных различий метаноносности в опасных и неопасных зонах на выбросоопасных угольных пластах (табл. 4.6 и рис. 4.25).

Однако из опыта ведения горных работ на выбросоопасных пластах известно, что при выбросах удельное газовыделение значи-

тельно превышает природную газоносность угольного пласта, определенную стандартными методами.

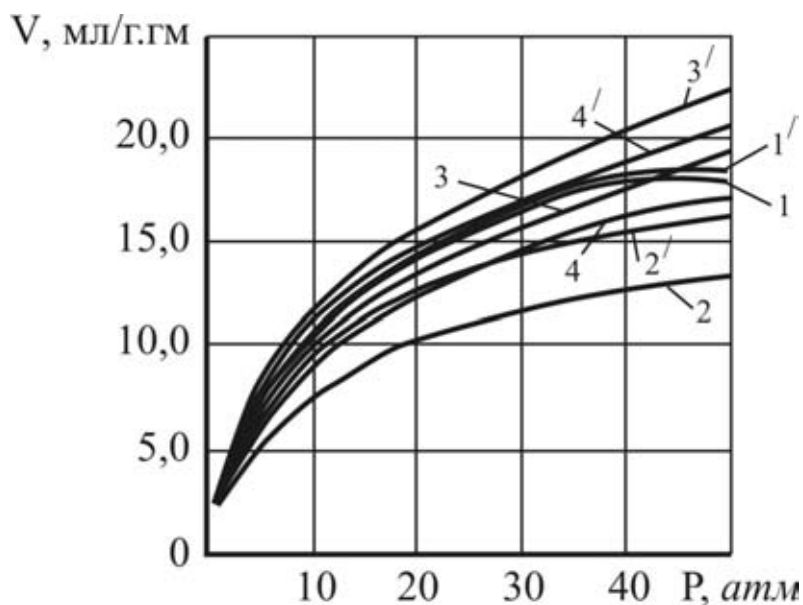


Рис. 4.25. Сорбционная метаноемкость угольных пластов

1', 2', 3', 4' — в выбросоопасных зонах; 1, 2, 3, 4 — в невыбросоопасных зонах

Динамика концентрации метана в выработках после взрываний шпуровых зарядов в угольном пласте, не сопровождавшихся выбросами и сопровождавшихся ими, представлена на рис. 4.26 и 4.27.

Количество газа, выделившегося из угля после взрывных работ и масса угля, из которого происходит газовыделение приведены в табл. 4.7.

При подсчете массы угля, из которого выделяется газ при выбросе учитывали: массу выброшенного угля, массу разрушенного угля, оставшегося в полости и массу нарушенного и дегазированного угля, прилегающего к полости.

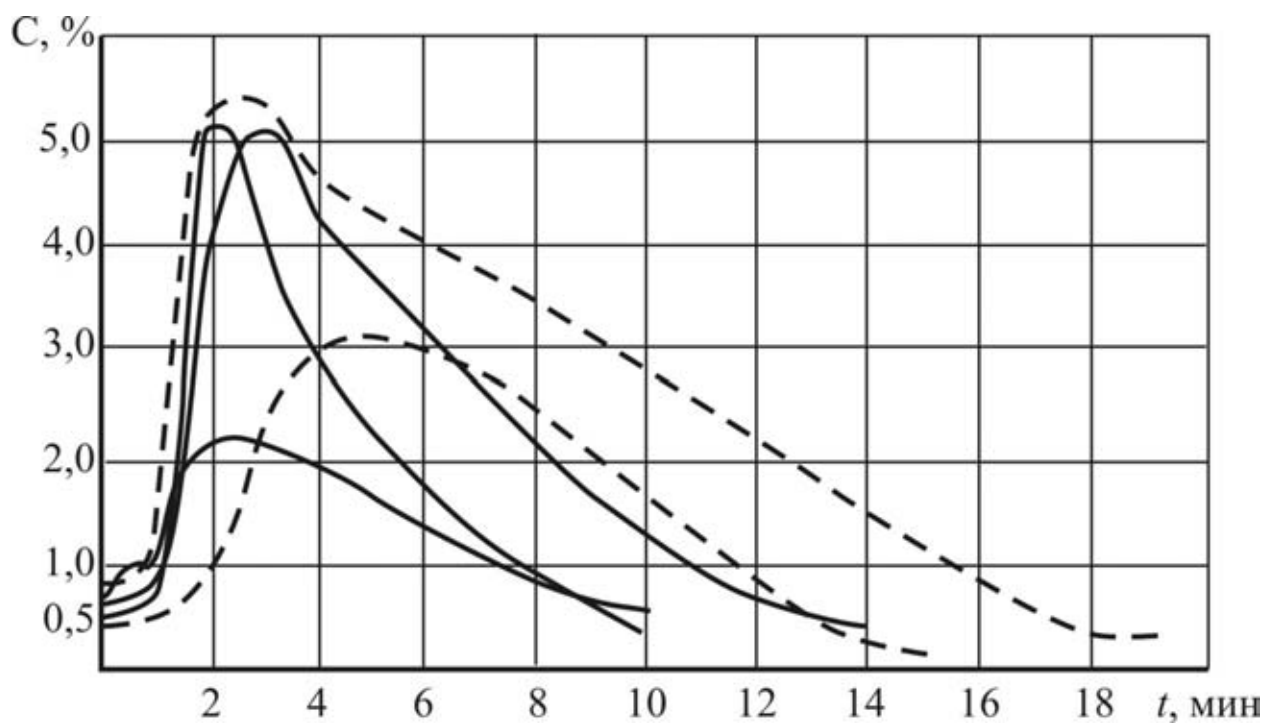


Рис. 4.26. Изменение концентрации метана в выработке после сотрясательных взрываний, не сопровождающихся выбросами

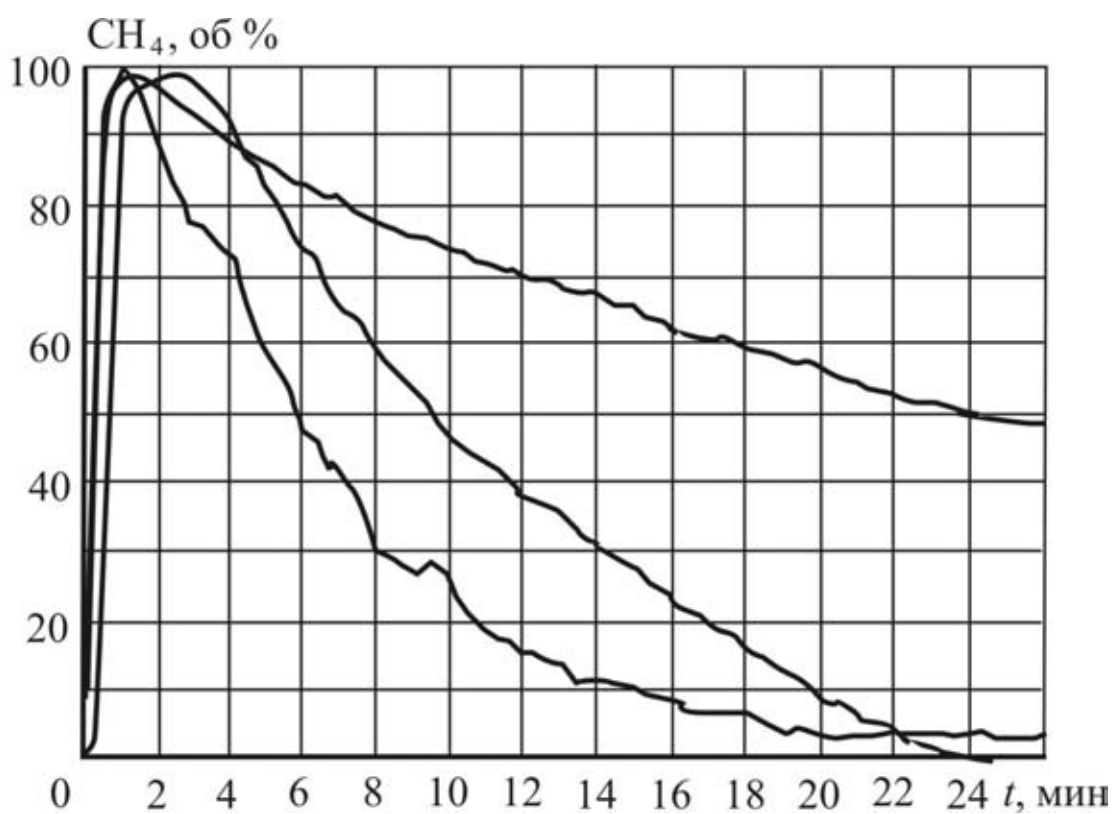


Рис. 4.27. Изменение концентрации метана в выработке после выбросов

Как видно из представленных в табл. 4.7 данных, газоносность угольного пласта подсчитанная по газовыделению [36] при выбросах имеет значения на много превышающие газоносность, рассчитанную по методике согласно [42] для этого же пласта в районе выброса.

С целью установления причины различного удельного газовыделения из угля одного и того же пласта в тех случаях, когда отбойка угля сопровождается и не сопровождается выбросами, т.е. из опасных и неопасных зон, было проведено изучение распределения эффективной газоносности* в выбросоопасных угольных пластах. Эффективная газоносность определялась по простиранию и падению пласта по методике [42] через каждые 3-4 м подвигания выработки. При этом установлено, что эффективная газоносность изменяется как по простиранию, так и по падению пласта (рис. 4.16). Изменение эффективной газоносности в пределах неопасной зоны не существенно. Существенно эффективная газоносность изменяется при переходе от невыбросоопасной к выбросоопасной зоне (рис. 4.16). При исследовании одновременно с определением эффективной газоносности ($X_{эф}$) измерялась разрушаемость керна (R), характеризующая степень нарушенности структуры угля. Изменение разрушаемости керна (R) в пределах неопасной зоны не существенно. Разрушаемость керна существенно изменяется при переходе от неопасной зоны к опасной (рис. 4.16).

В результате проведенного анализа экспериментальных данных, получено уравнение, описывающее связь между эффективной

газоносностью ($X_{эф}$)* и разрушаемостью керна (R):

$$X_{эф} = 2R - 21,2; r = 0,73 \quad (4.7)$$

где r – коэффициент корреляции.

Значение коэффициента корреляции, равное 0,73, свидетельствует о наличии тесной связи между эффективной газоносностью и разрушаемостью керна, характеризующей степень нарушенности структуры угля.

Полученные результаты указывают на то, что причиной изменчивости эффективной газоносности угольных пластов является зависимость скорости газоотдачи угля от степени нарушенности угольного пласта.

Исследованиями МакНИИ, выполненными в лабораторных условиях, установлено, что чем выше степень дробления угля, тем большее количество газа выделяется из него. При выполнении указанных лабораторных исследований в шаровой мельнице дробили уголь отобранный из выброса и из невыбросоопасной зоны этого же пласта в окрестности полости выброса. При измельчении в мельнице угля отобранного из невыбросоопасной зоны, чем выше была степень дробления угля, тем больше из него выделялось газа. При обработке в мельнице угля, отобранного из выброса, так называемой «бешенной муки», дальнейшее его измельчение не происходило и не наблюдалось газовыделение из него.

* Эффективная газоносность ($X_{эф}$) – это количество газа, которое выделяется во время бурения скважины по угольному пласту, отнесенное к единице объема разрушенного при бурении угля.

При выбросе происходит разрушение угольного пласта с уже предварительно нарушенной структурой, что приводит к высокой степени измельчения угля. Очевидно, высокая степень измельчения угля является основной причиной повышенного удельного газовыделения при выбросе.

Степень нарушенности угольного пласта оказывает значительное влияние на скорость газовыделения из угля, скорость десорбции газа и начальную скорость газовыделения (рис. 4.28). Однако, согласно [53] только из фракций размером до 25 мм выделяется практически весь метан в течение 1-2-х секунд после сброса давления газа (рис. 4.29). Это приводит к выводу, что непосредственной в процессе выброса, который длится, как правило, не более 1-2 сек., из угля успевает выделиться только свободный газ, содержащийся в поровом пространстве угольного пласта.

Затраты энергии на десорбцию метана из угля при его разрушении приводят к понижению его температуры на $5-10^0\text{C}$. Вследствие этого, согласно исследованиям МакНИИ и института теплотехники АН Украины, температура угля в выбросоопасных зонах при входе их в призабойную часть угольного пласта, т.е. в зону разгружающего влияния выработки, ниже, чем в соседних неопасных зонах.

При насыщении метаном уголь увеличивается в объеме – «набухает». Исследование «набухаемости» угля проводилось на установке показанной на рис. 4.30. Установка представляет собой камеру высокого давления (1), в которую устанавливается образец (4). Деформации образца при «набухании» измерялись с помощью ин-

дикаторов часового типа с ценой деления 0,001 мм (2). Показания индикаторов часового типа снимались через окно в камере (3). Давление газа в камере изменялось ступенями по 0,5 МПа и выдерживалось на каждой ступени до полной стабилизации деформаций образца.

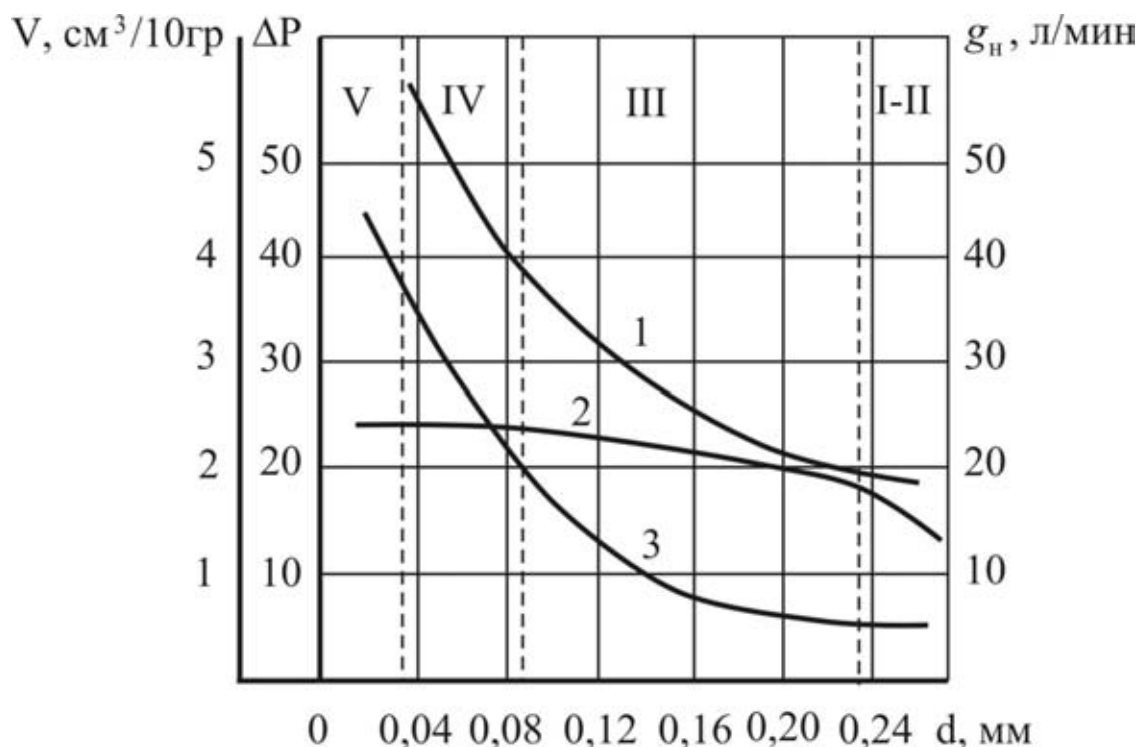


Рис. 4.28. Зависимость показателя скорости десорбции (V_{30-60}), показателя скорости газовыделения (ΔP) и начальной скорости газовыделения (g_n) от степени нарушенности угля

1 – показатель скорости десорбции (V_{30-60}); 2 – начальная скорость газовыделения; 3 – показатель скорости газовыделения (ΔP); I, II, III, IV, V – типы нарушенности угля

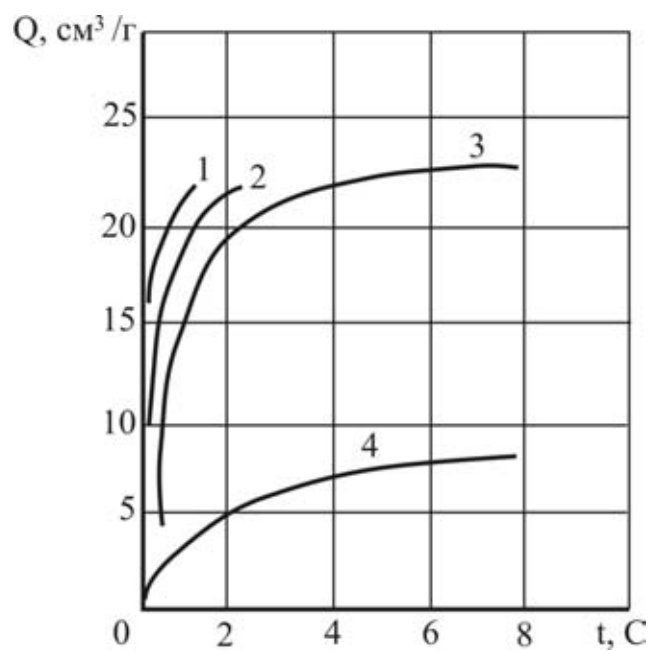


Рис. 4.29. Кинетика газовыделения метана из различных фракций (1-3) и средней пробы угля (4) [53]

1-3 – фракции, мкм: 1-25, 2-70, 3-100; Q – количество выделившегося газа, $\text{cm}^3/\text{г.}$; t – время, сек.

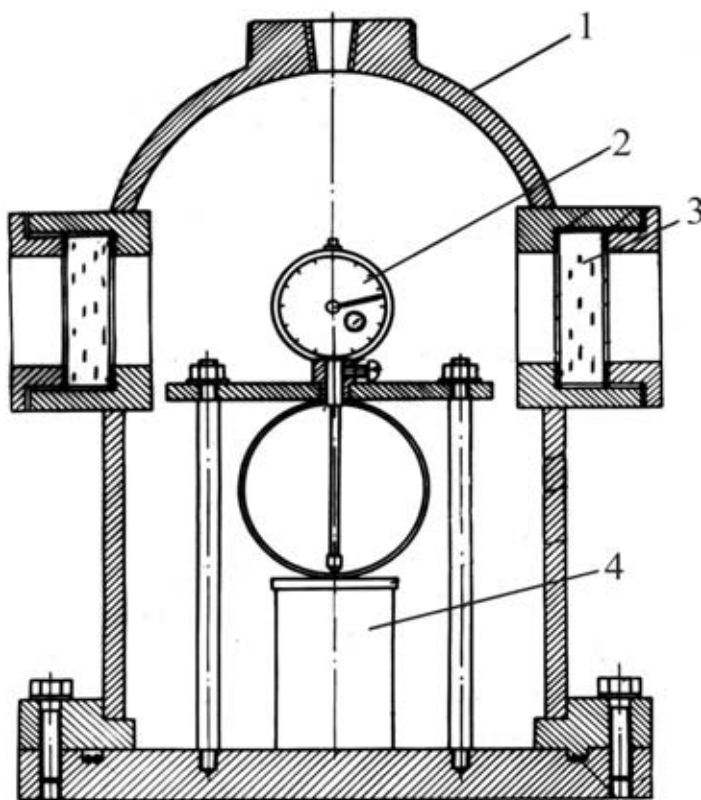


Рис. 4.30. Схема установки для изучения «набухания» горных пород
 1 – камера высокого давления; 2 – индикатор часового типа; 3 – смотровое окно; 4 – образец

Результаты изучения склонности угля к «набуханию» при газонасыщении приведены на рис. 4.31. Как видно из данных, представленных на рис. 4.31, в выбросоопасных зонах склонность угля к набуханию выше, чем в неопасных.

В зонах угольных пластов с высокой степенью нарушенности структуры угля увеличивается удельная длина трещин за счет развития экзогенных трещин малого раскрытия, зачастую заполненных угольной пылью, которые нарушают фильтрационную систему эндо трещин, что приводит к снижению газопроницаемости угля в этих зонах [53].

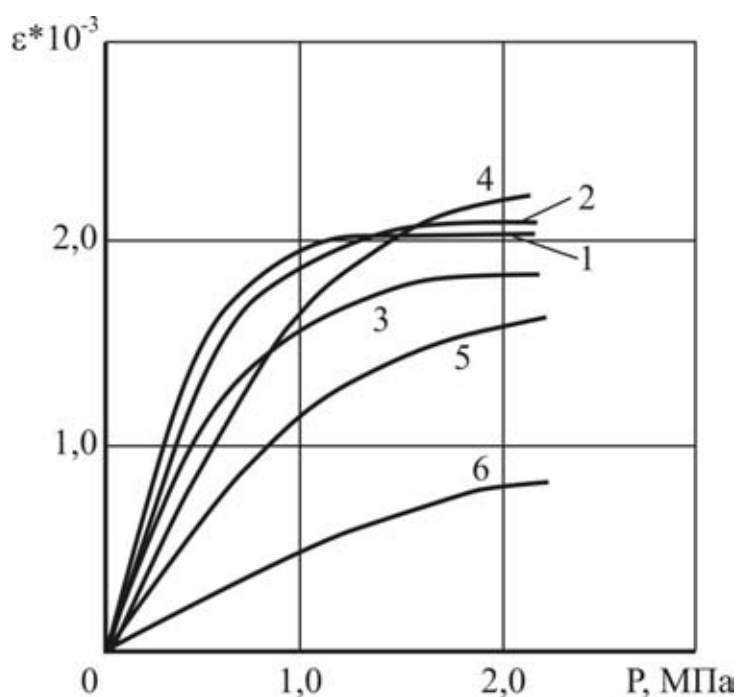


Рис. 4.31. График «набухания» угля при газонасыщении
1, 2, 3, 4 – уголь из выбросоопасной зоны; 5, 6 – уголь из невыбросоопасной зоны; ε - относительные деформации набухания; P – давление газа

При разгрузке проницаемость угля как в зонах с нарушенной, так и с ненарушенной структурой возрастает. В разгруженных зонах с нарушенной структурой проницаемость угля выше, чем в зо-

нах с нарушенной структурой (табл. 4.4). Результаты проведенных исследований позволили установить, что существенные отличия газодинамических свойств угля в выбросоопасных и неопасных зонах являются следствием высокой степени нарушенности структуры угля в выбросоопасных зонах.

В мировой практике известны выбросы угля и углекислого газа. Сорбционная емкость угля по углекислому газу в зависимости от давления и температуры может в 1,5-4,0 раза превышать сорбционную емкость по метану. Скорость газовыделения углекислого газа из угля также выше, чем метана, что, очевидно, является причиной большой интенсивности выбросов угля и углекислого газа, чем угля и метана.

4.3.2 Газоносность и газодинамические свойства песчаников

В песчаниках газ содержится как в свободном, так и в сорбированном состояниях. При этом около 80% от общей газоносности составляет газ, находящийся в свободном состоянии.

В газах выбросоопасных песчаников содержание (в %) метана 83,8-95,1; тяжелых углеводородов – 2,3-2,1; азота – 3,2-12,8; углекислого газа – 0,04-1,5; гелия – 0,08-0,12; аргона – 0,50-0,12.

В отдельных пробах имеется водород – 0,10-0,12%.

Газоносность песчаников определялась путем перерасчета по замеренному в скважине давлению газа [50] и на основании замеров концентрации метана в атмосфере выработки при выбросе [1].

При экспериментальном определении газоносности, выполненном на основании измерений давления газа и эффективной по-

ристости песчаников [32], газоносность выбросоопасных песчаников составила 0,53-3,27 м³/м³, а невыбросоопасных 0,0078-0,008 м³/м³. Природная газоносность выбросоопасных песчаников по данным ИГТМ АН Украины составляет 0,31-1,9 м³/т, по данным МакНИИ 2,6 м³/т, а неопасных – 0,005-0,7 м³/т.

Согласно [25] газоносность песчаника в выбросоопасной зоне, определенная по количеству газа выделившегося из разрушенной породы при выбросе составляет 1,15 м³/м³. Согласно [1] газоносность песчаника в выбросоопасной зоне, определенная по такой же методике, составляет 0,34-8,8 м³/м³, а газоносность в невыбросоопасной зоне, т.е. определенная по концентрации метана в выработке при разрушении породы буровзрывным способом не сопровождающимся выбросом 0,2-4,6 м³/м³.

Количество свободного газа в выбросоопасных песчаниках составляет - 0,28-2,64 м³/м³. При исследовании сорбционной метанемкости песчаников в лабораторных условиях не установлено существенного различия ее в выбросоопасных и неопасных песчаниках (рис. 4.32).

В выбросоопасных песчаниках более 50% порового пространства занято газом, остальная часть порового пространства заполнена влагой [33].

Средние значения абсолютной пористости выбросоопасных песчаников колеблются в пределах 6-10%, невыбросоопасных – 4-7%.

Повышенную газоносность выбросоопасных песчаников, очевидно, можно объяснить повышенной пористостью и пониженным,

по сравнению с неопасными песчаниками, заполнением пор влагой.

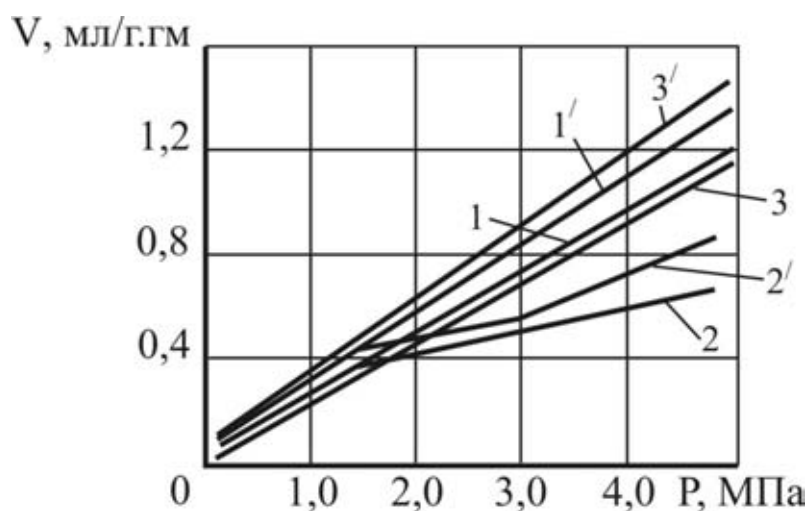


Рис. 4.32. Сорбционная метаноемкость песчаников

1, 2, 3 – невыбросоопасные песчаники; 1', 2', 3' – выбросоопасные песчаники

Газопроницаемость песчаников колеблется в широких пределах в зависимости от величины всестороннего сжатия. Проницаемость напряженного массива выбросоопасных песчаников на глубине 1000-12000 м составляет $10^{-6} - 10^{-11}$ мдарси.

Согласно данным [1], снижение прочности песчаника при насыщении его метаном достигает 30%.

Исследования влияния газа на деформационные характеристики песчаников проводились на ненасыщенных и насыщенных газом образцах отобранных из выбросоопасных зон, при различной степени насыщения их газом. Насыщение образцов производилось метаном. Исследования выполнялись на специально созданной установке, позволяющей измерять деформации образцов при изменении степени их газонасыщения (рис. 4.33). Деформации песчаника при этом определялись с помощью тензодатчиков, наклеенных на образцы в продольном и поперечном направлениях. Давление газа

изменялось в пределах от 0 до 7,5 МПа. Насыщение образцов песчаника метаном производилось до тех пор пока, в камере не стабилизировалось давление газа.

Влияние газонасыщения на деформируемость песчаника приведена в виде графиков на рис. 4.34. Как видно из данных, представленных на рис. 4.35, увеличение газонасыщения приводит к уменьшению статического модуля упругости песчаника.

Результаты определения влияния газа на величину статического модуля упругости песчаника приведены в виде графиков на рис. 4.35.

Выполненными в МакНИИ исследованиями влияния газонасыщения на песчаники установлена склонность их к увеличению объема («набуханию») при насыщении метаном.

Изучение склонности песчаника к «набуханию» производилось в специальной установке. Схема установки представлена на рис. 4.30. Результаты исследования склонности песчаника к «набуханию» при газонасыщении приведены на рис. 4.36. Как видно из данных, представленных на рис. 4.36, в выбросоопасных зонах склонность песчаника к «набуханию» выше, чем в неопасных.

Таким образом, газ находящийся в поровом пространстве, оказывает существенное влияние на деформационные свойства, прочность и «набухаемость» песчаников. В выбросоопасных зонах влияние газа более существенно, чем в неопасных.

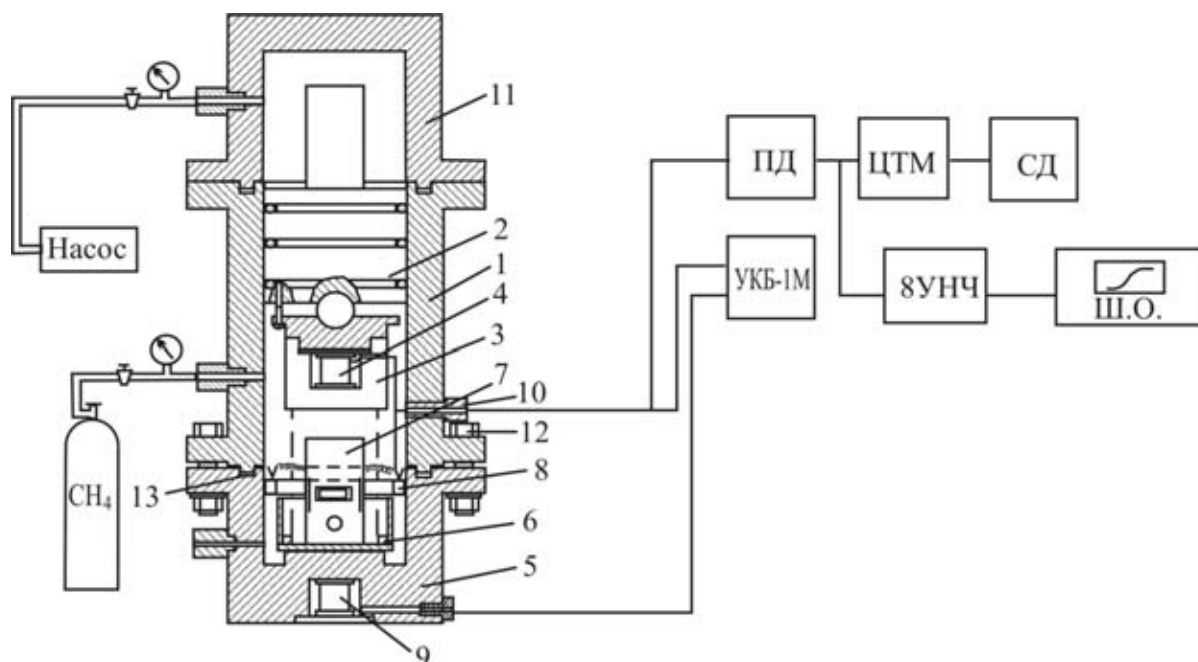


Рис. 4.33. Установка для определения физико-механических свойств газонасыщенных образцов

ПД – переключатель датчиков; ЦТМ – цифровой тензометрический мост; СД – цифровая печатная машина; УКБ-1М – прибор для определения динамических свойств горных пород; 8УНЧ усилитель низкой частоты; ШО шлейфовый осциллограф; 1 – корпус установки; 2 – поршень, создающий осевое нагружение; 3 – юстировочный подпятник; 4, 9 – ультразвуковые датчики; 5 – нижнее основание камеры; 6 – центрирующий стакан; 7 – образец; 8 – тензодатчики; 10 – многожильный электровод высокого давления; 11 – корпус гидравлической камеры; 12 – стягивающие болты; 13 – герметизирующая прокладка

4.3.3 Газоносность и газодинамические свойства калийных солей

В состав газа выбросоопасных калийных пластов входит: метан, азот, кислород, водород, углекислый газ и тяжелые углеводороды. Состав газа изменяется в широких пределах.

Газы в калийных пластах содержатся в двух формах: связанные или микровключенные в кристаллах соляных пород и между ними и свободные, содержащаяся в трещинах, пустотах и порах. Свободно содержащиеся газы подразделяются на внутрипластовые

и приконтактные. К внутрипластовым относятся гнездовые скопления и содержащиеся в порах и микротрещинах.

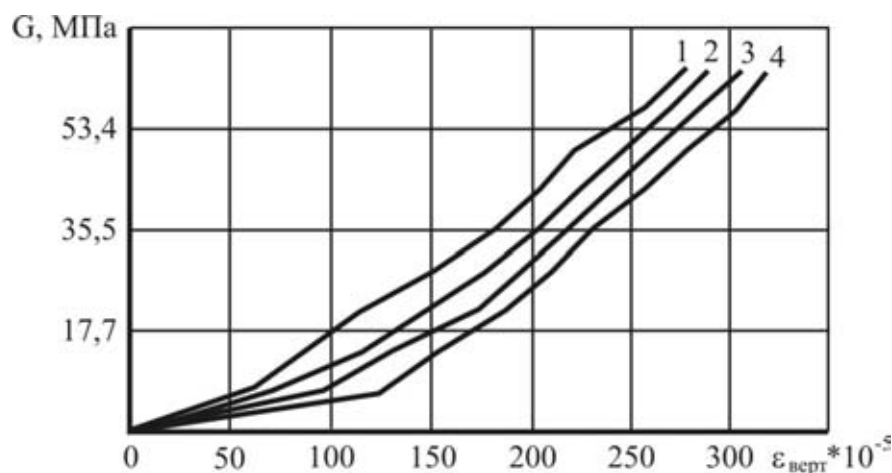


Рис. 4.34. Изменение деформационных свойств песчаников в зависимости от степени газонасыщения

1, 2, 3, 4 – при продолжительности газонасыщения соответственно 24, 48, 72, 115 часов

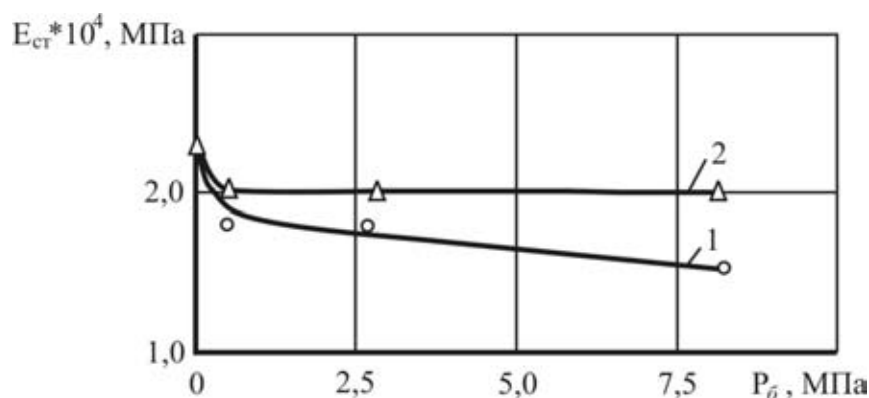


Рис. 4.35. Изменение статического модуля упругости песчаника в зависимости от степени газонасыщения

1 – газонасыщенный; 2 – не газонасыщенный; P – давление газа; $E_{\text{ст}}$ – модуль упругости

Давление свободного газа в соляных породах составляет 5,0-10,0 МПа.

Связанные или микровключенные газы, находятся в виде включений в самих кристаллах и в виде включений в пустотах и

порах между отдельными кристаллами. Суммарное содержание внутрикристаллических и межкристаллических газов представляет собой объем связанных газов.

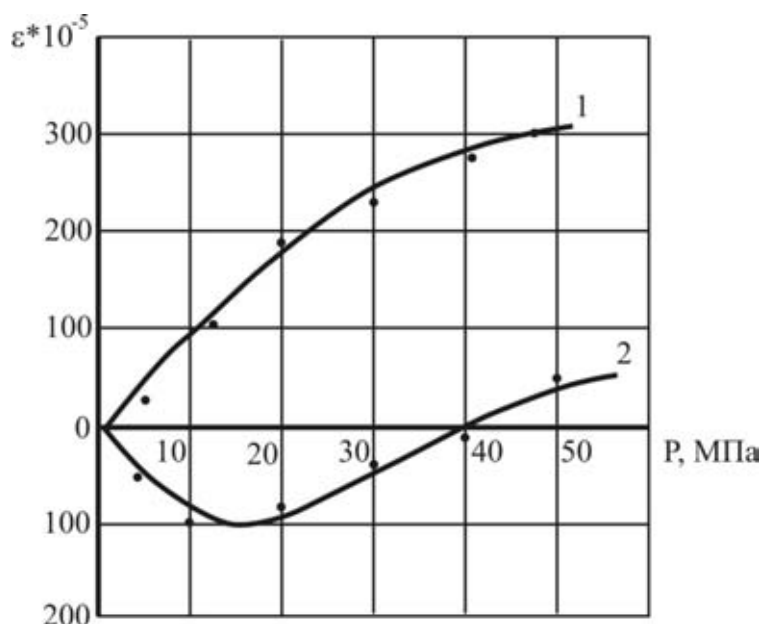


Рис. 4.36. Зависимость «набухаемости» песчаников от газонасыщения
1 – выбросоопасная зона; 2 – невыбросоопасная зона

Микровключенные газы находятся в пустотах в газообразном состоянии под большим давлением или совместно с рассолами. Давление газов в пустотах кристаллов составляет 5,0-20,0 МПа.

Количество межкристаллических газов во много раз больше, чем внутрикристаллических для пород глинисто-карналитовой зоны, а для сильвинита и галита – наоборот. Межкристаллические газы при механическом разрушении выделяются значительно легче, чем внутрикристаллические [57].

Усредненное количество микровключенного газа для различных пород Старобинского месторождения составляет для карналита

и сильвинита – $0,401 \text{ м}^3/\text{м}^3$, каменной соли с сильвинитом – $0,2 \text{ м}^3/\text{м}^3$, каменной соли – $0,18 \text{ м}^3/\text{м}^3$.

В выбросоопасных калийных пластах Верхнекамского месторождения количество микровключенных газов незначительно и составляет ($\text{м}^3/\text{м}^3$) в карналите – $0,007$, каменной соли – $0,007$, сильвините – $0,024$ в выбросоопасном сильвинитовом пласте АБ Второго Березниковского рудника ($\text{м}^3/\text{м}^3$): в карналите – $0,007$, сильвините – $0,098$, каменной соли – $0,138$.

Газоносность выбросоопасных калийных солей Старобинского месторождения изменяется от $0,154$ до $3,93 \text{ м}^3/\text{м}^3$, а удельное газовыделение при выбросах составляет на Солигорском руднике Старобинского месторождения $7,6 \text{ м}^3/\text{м}^3$ выброшенной породы. Газоносность выбросоопасных калийных пластов Верхнекамского месторождения составляет $0,005$ - $5,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$. Количество свободного газа в выбросоопасных калийных породах составляет $0,1$ - $2,1 \text{ м}^3/\text{т}$.

Выбросоопасные зоны в калийных пластах имеют повышенную микротрещиноватость и пористость.

Газопроницаемость соляных пород, определенная в лабораторных условиях, изменяется от 10^{-4} до 800 мД . Газопроницаемость солей зависит от напряженного состояния пород. При увеличении нагрузки от $1,0$ до $30,0 \text{ МПа}$ газопроницаемость соляных пород уменьшается в 10 раз.

Коэффициенты проницаемости выбросоопасных калийных пластов Старобинского и Верхнекамского месторождений, определенные по кривым нарастания давления газа в шпурах, изменяются от $0,4 \cdot 10^{-3}$ до $25,4 \cdot 10^{-3} \text{ мД}$.

Исследованием газоносности выбросоопасных угольных пластов и пород установлено, что количество свободного газа в выбросоопасных угольных пластах составляет $0,20-1,5 \text{ м}^3/\text{т}$, а в песчанике – $0,28 \div 2,64 \text{ м}^3/\text{т}$, в калийных солях $0,1 - 2,1 \text{ м}^3/\text{т}$, т.е. содержание свободного газа в выбросоопасных угольных пластах и породах одного порядка. В выбросоопасных песчаниках и солях основное количество газа (до 80%) находится в свободном состоянии. Таким образом, исследование кинетики газовыделения из угля, а так же те факты, что в выбросоопасных песчаниках и солях почти весь газ находится в свободном состоянии и количество свободного газа в выбросоопасных угольных пластах, песчаниках и соли одного порядка приводит к заключению, что непосредственно в процессе выбросов угля, песчаников и солей принимает участие только газ, находящийся в поровом пространстве угля, песчаников и солей в свободном состоянии. Аналогичные представления об участии газа в процессе выбросов изложены в работах [57, 67].

4.4 Напряженно-деформированное и газодинамическое состояние угольных пластов и пород

Существуют различные мнения о напряженно-деформированном состоянии массива горных пород [25, 26, 27, 49]. Многие исследователи считают, что напряженно-деформированное состояние определяется давлением вышележащих пород [26, 27, 49]. Наряду с этим существует мнение, что в массиве пород кроме напряжений создаваемых горным давлением существуют локальные зоны, в которых помимо гравитационных напряжений дейст-

вуют остаточные тектонические напряжения и напряжения обусловленные современными тектоническими движениями [25]. На основании специально проведенных исследований в работе [49], полностью отрицается наличие как остаточных, так и современных тектонических напряжений. В работе [32] указывается, что «прямых доказательств существования в Донецком бассейне остаточных тектонических напряжений в настоящее время не имеется».

Характер распределения напряжений в призабойной части массива горных пород, полученный при аналитических и экспериментальных исследованиях, приведен в работах [23, 51, 68, 69] и показан на рис. 4.37.

Как следует из [23, 51, 68, 69] закономерность связи горного давления с глубиной в призабойной части массива горных пород нарушается.

Поскольку выбросы происходят в призабойной части массива горных пород, то для понимания природы и механизма выбросов важное значение имеет изучение напряженно-деформированного и газодинамического состояния именно призабойной части массива.

При экспериментальных исследованиях в шахтных условиях напряженно-деформированного и газодинамического состояния призабойной части угольного пласта, инструментально после каждого цикла выемки угля в лаве измерялись деформации и начальная скорость газовыделения. Деформации измерялись тензодатчиками, установленными в скважинах, пробуренных по угольному пласту параллельно забою лавы. Начальная скорость газовыделения изме-

рялась в скважинах длиной 6 м, пробуренных параллельно забою по углю, газозатвором ПГШ-1 и скоростимером ПГ-2МА.

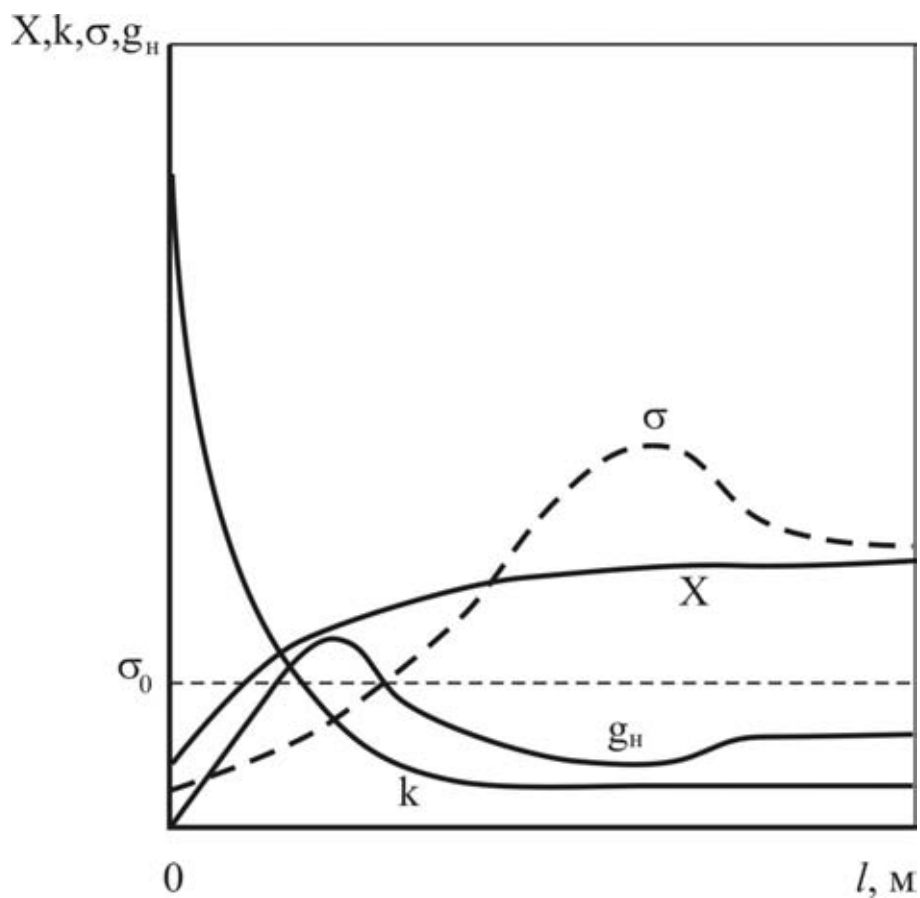


Рис. 4.37. Распределение газонасности (X), газопровицаемости (K), напряжений (σ) и начальной скорости газовыделения (g_n) в призабойной части угольного пласта
 L – расстояние от забоя

Датчики для измерения деформаций и приборы для измерения скорости газовыделения устанавливались в угольном пласте на расстоянии 3,8-5,5 м впереди забоя выработки. Распределение деформаций и динамика начальной скорости газовыделения в призабойной части выбросоопасного угольного пласта приведены на рис. 4.38 и 4.39.

Как видно из рис. 4.38 и 4.39 при расстоянии от забоя выработки до места установки датчиков, равном 3,8-5,5 м, на участке установки датчиков имеют место деформации сжатия. При расстоянии равном 3,2-4,5 м от забоя до места установки датчиков деформации сжатия достигают максимальных значений, что соответствует положению зоны максимума опорного давления.

Затем по мере приближения забоя к месту установки датчиков возникают деформации расширения, т.е. происходит снижение напряжений на этом участке угольного пласта.

При расстоянии от забоя до места установки датчиков, равном 1,3 - 3,0 м деформации расширения (упругого восстановления) достигают максимальных значений и при дальнейшем приближении забоя лавы к месту установки датчиков несколько снижаются.

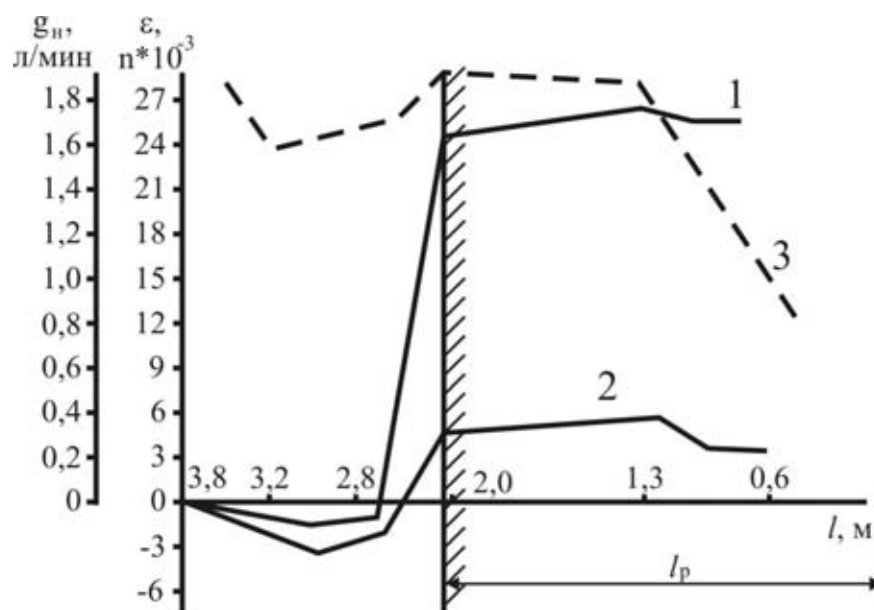


Рис. 4.38. Изменение деформаций и скорости газовыделения в угольном пласте (лава, отрабатываемая по сплошной системе)

1 – деформации в горизонтальной плоскости в направлении забоя лавы; 2 – деформации в вертикальной плоскости; 3 – скорость газовыделения; l_p – величина разгруженной (безопасной) зоны в призабойной части угольного пласта; l – расстояние до забоя лавы

Таким образом, по мере удаления от забоя выработки в глубь угольного пласта напряжения сжатия возрастают, достигают максимальных значений, а затем снижаются до величины напряженного состояния в нетронутом массиве горных пород.

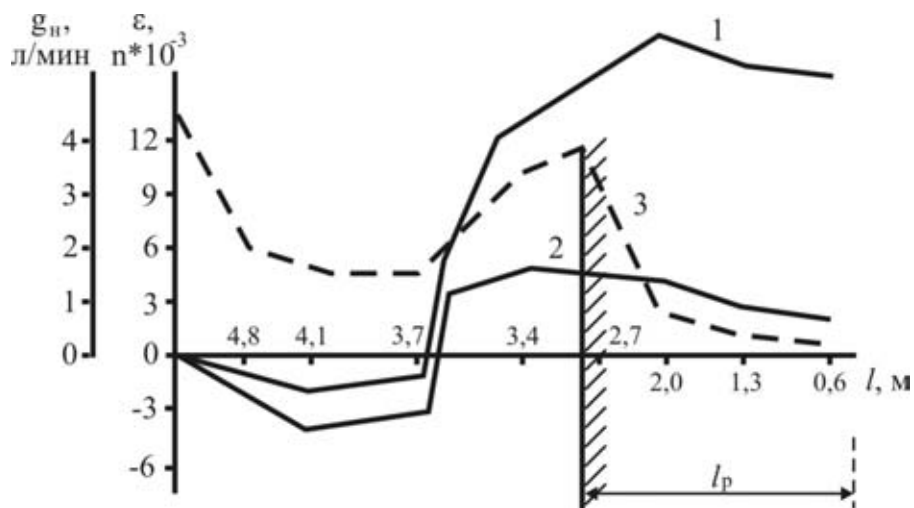


Рис. 4.39. Изменение деформаций и скорости газовыделения в угольном пласте (лава, отрабатываемая по столбовой системе)

1 — деформации в горизонтальной плоскости в направлении забоя лавы; 2 — деформации в вертикальной плоскости; 3 — скорость газовой выработки; l_p — величина разгруженной (безопасной) зоны в призабойной части угольного пласта; l — расстояние до забоя лавы

В зоне максимальных значений напряжений сжатия коэффициент концентрации напряжений, определенный по результатам экспериментальных работ, составляет 2,0-2,5.

Одновременно с изучением напряжений в призабойной части угольного пласта исследовались динамика газовой выработки из угольного массива путем измерения скорости газовой выработки. При этом установлено, что на участках, где напряжения возникают (увеличиваются деформации сжатия), скорость газовой выработки снижается. На участках, где происходит снижение напряжений сжатия в угольном пласте скорость газовой выработки возрастает, достигает

максимальных значений, а затем по мере дегазации призабойной части пласта снижается. В это же время наблюдается уменьшение деформаций расширения (рис. 4.38 и 4.39). Наличие связи между процессом дегазации и уменьшением деформаций расширения, свидетельствует о том, что деформации расширения представляют сумму деформаций упругого восстановления и деформаций, возникающих вследствие склонности газонасыщенного угольного пласта к «набуханию», которые по мере дегазации пласта исчезают.

При экспериментальных исследованиях в шахтных условиях изучалось распределение газоносности угля в призабойной части угольного пласта. Газоносность в призабойной части угольного пласта определялась в соответствии с «Методикой ...» [42]. Характер распределения газоносности в призабойной части угольного пласта приведен на рис. 4.37. Как видно из рис. 4.37, у забоя выработки газоносность практически равна нулю, по мере удаления от забоя газоносность возрастает и на определенной глубине стабилизируется.

Таким образом, установлено, что непосредственно впереди забоя угольного пласта имеется разгруженная и дегазированная зона. Проведенными исследованиями влияния горнотехнических факторов на величину разгруженной и дегазированной зоны, установлено, что величина этой зоны изменяется в широких пределах (табл. 4.8) и зависит от многих горнотехнических факторов (рис. 4.40, 4.41, 4.42).

Таблица 4.8. Результаты определения величины разгруженной зоны

№№ пп	Наименование объекта	Наимено- вание пла- ста	Мощность пласта, мм	Величина разгружен- ной зоны в призабой- ной части угольного пласта, м	
				минималь- ная	макси- мальная
1	ш. «Глубокая» ГП «Донецк- уголь», 2-я вос- точная лава	Праскови- евский	0,8	0,2	1,5
2	ш. им. 60-ле- тия Украины, разгрузочная лава	Праскови- евский	0,73	0,3	1,2
3	ш. «Глубокая» ГП «Донецк- уголь», 2-я за- падная лава	-//-	0,71	0,4	2,0

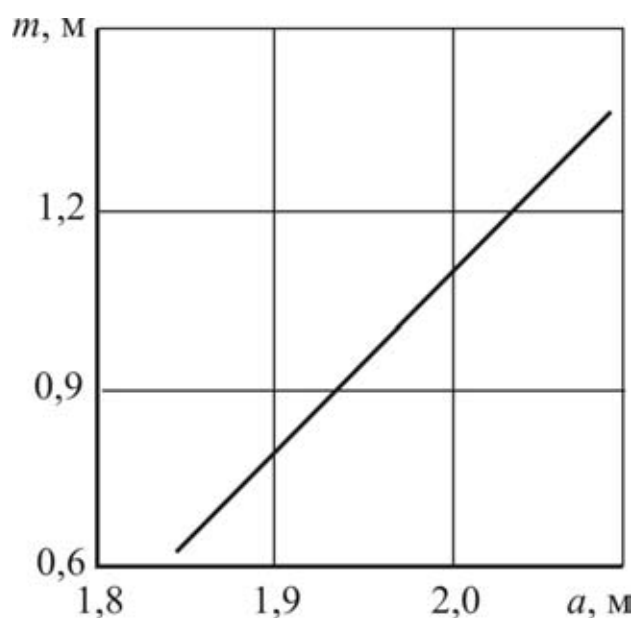


Рис. 4.40. Зависимость величины разгруженной зоны (a) от мощности угольного пласта (m)

Как видно из приведенного на рис. 4.40 графика величина разгруженной зоны в призабойной части угольного пласта возрастает с увеличением мощности пласта. Значительное влияние на величину разгрузочной зоны оказывает фактор времени (формирование ее в основном завершается в течение 3 ч.) (рис. 4.42), а также состояние пород кровли (рис. 4.41). Зависание их препятствует формированию разгруженной зоны.

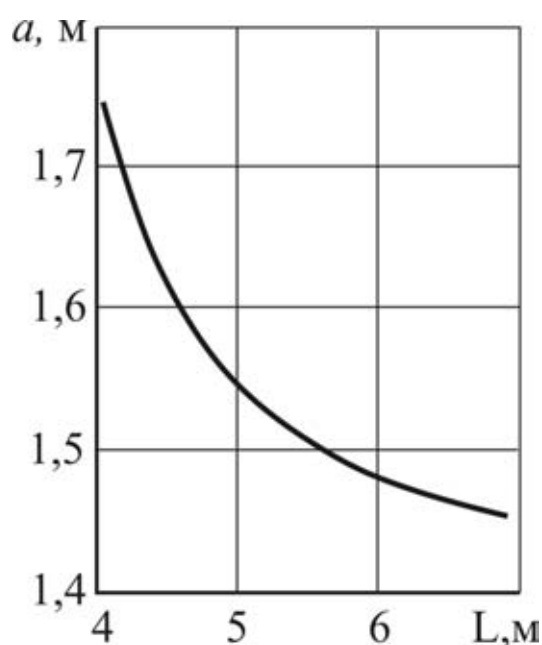


Рис. 4.41. Зависимость величины разгруженной зоны (a) от длины консоли пород кровли (L)

Исследования влияния глубины горных работ на величину разгруженной зоны в призабойной части угольного пласта выполнены исходя из следующих положений.

Непосредственно к забою угольного пласта примыкает пластическая зона, положение которой соответствует положению разгруженной зоны. Пластическое поведение угля хорошо описывается моделью среды с внутренним трением [38], т.е.

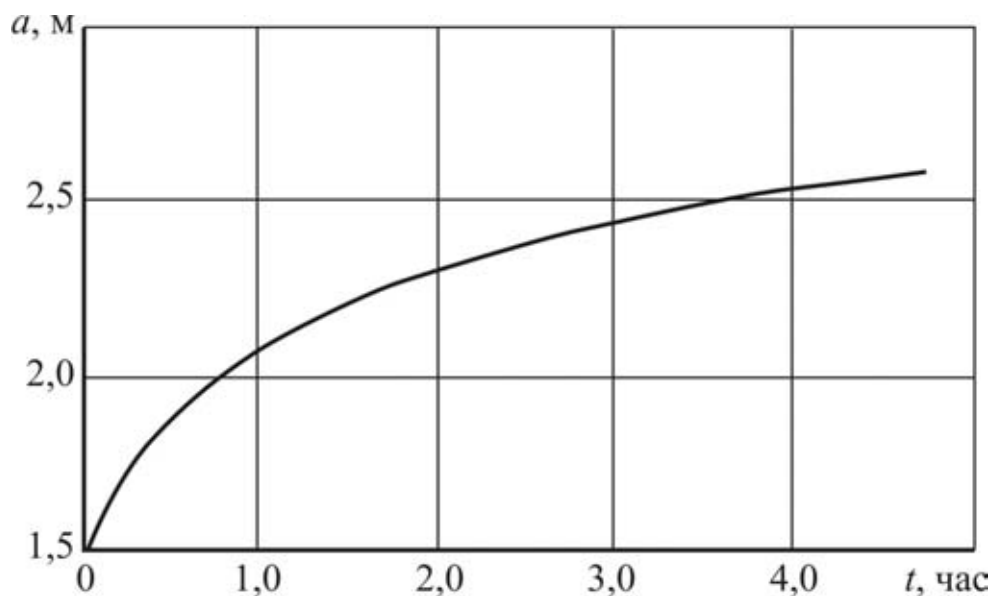


Рис. 4.42. Зависимость величины разгруженной зоны (a) от времени ее формирования (t)

$$\tau = K + \sigma_n t_{\partial} \rho, \quad (4.8)$$

где τ и σ_n - касательное и нормальное напряжение на площадке, находящейся в предельном состоянии;

ρ - коэффициент трения;

K - модуль сцепления материала.

Если принять, что предел текучести выражается уравнением,

$$\tau_s = K + \sigma_n t_{\partial} \rho, \quad (4.9)$$

то в соответствии с известной зависимостью величина пластической зоны может быть определена по формуле:

$$R_n = \frac{R_c \exp[-(\sigma + \tau_s)]}{(2\tau_s)}, \quad (4.10)$$

где σ - величина напряжений всестороннего сжатия;

R_c - размер выработки.

Из анализа формулы (4.10) следует, что величина пластической зоны с повышением напряжений σ , т.е. с увеличением глубины горных работ, уменьшается.

Величина разгруженной зоны при прочих равных условиях зависит от формы забоя. Наличие в горных выработках «кутков» препятствует формированию зоны разгрузки. В «кутках» зона разгрузки имеет минимальные размеры. Характер распределения напряжений в окрестности «кутков» приведен на рис. 4.43. В выработках выбросы в основном происходят в «кутках». Распределение выбросов в выработках приведено на рис. 4.44 и 4.45 и в табл. 4.9.

Из практики разработки выбросоопасных угольных пластов известно, что при пересечении выбросоопасных геологических нарушений лавами выбросы происходили, как правило, в нишах. В лаве на участке между нишами частота выбросов значительно ниже, чем в нишах вследствие того, что на этом участке более благоприятные условия для формирования безопасной зоны, за исключением тех мест, на которых происходит зависание кровли. Зависание кровли препятствует формированию разгруженной зоны. Поэтому в средней части лавы выбросы происходят, как правило, в местах зависания кровли. На мощных выбросоопасных угольных пластах в восточных районах России в очистных выработках, отрабатываемых по столбовой системе, вообще выбросы не наблюдались.

Следовательно, горные выработки оказывают разгружающее и дегазирующее влияние на призабойную часть угольного пласта, вследствие чего провоцирование выброса возможно лишь при вы-

емке угля в выбросоопасной зоне за пределами безопасной (разгруженной и дегазированной) призабойной части пласта.

Таблица 4.9. Распределение выбросов по элементам выработок на крутых пластах

Выработка	Количество выбросов в выработках, шт/%			
	всего	верхний куток	сред- няя часть	нижний куток
Потолкоуступная лава (уступ)	216/100	195/80,3	21/9,7	—
Просек	52/100	50/96,2	1/1,9	1/1,9
Откаточный штрек	61/100	54/88,5	3/4,9	4/6,6

Примечание. В числителе – количество выбросов, в знаменателе – их процент.

Непосредственные изменения напряжений в выбросоопасных и невыбросоопасных зонах выбросоопасных песчаников проводились многими исследователями [25, 26, 49]. Напряжения определялись методом разгрузки. При этом установлено, что горизонтальные напряжения превышают вертикальные и намного больше расчетных значений горизонтальной составляющей напряжений.

В работе [49] указывается, что в результате проведенных измерений не установлено различия напряжений в выбросоопасных и невыбросоопасных зонах выбросоопасного песчаника.

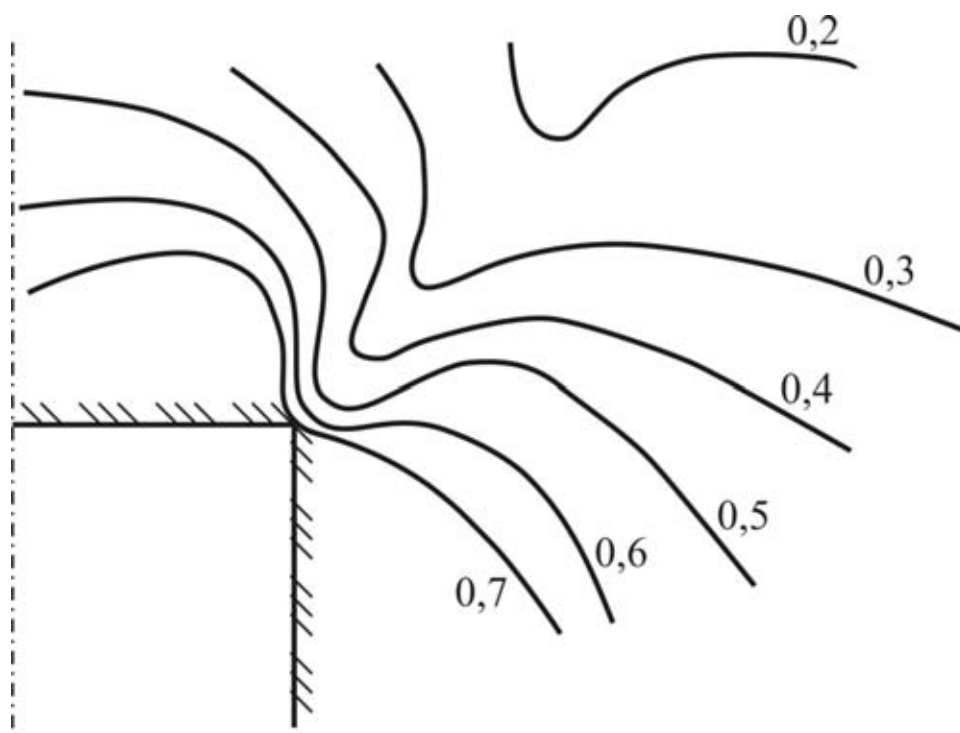


Рис. 4.43. Характер распределения напряжений в окрестности «кутков» в горных выработках

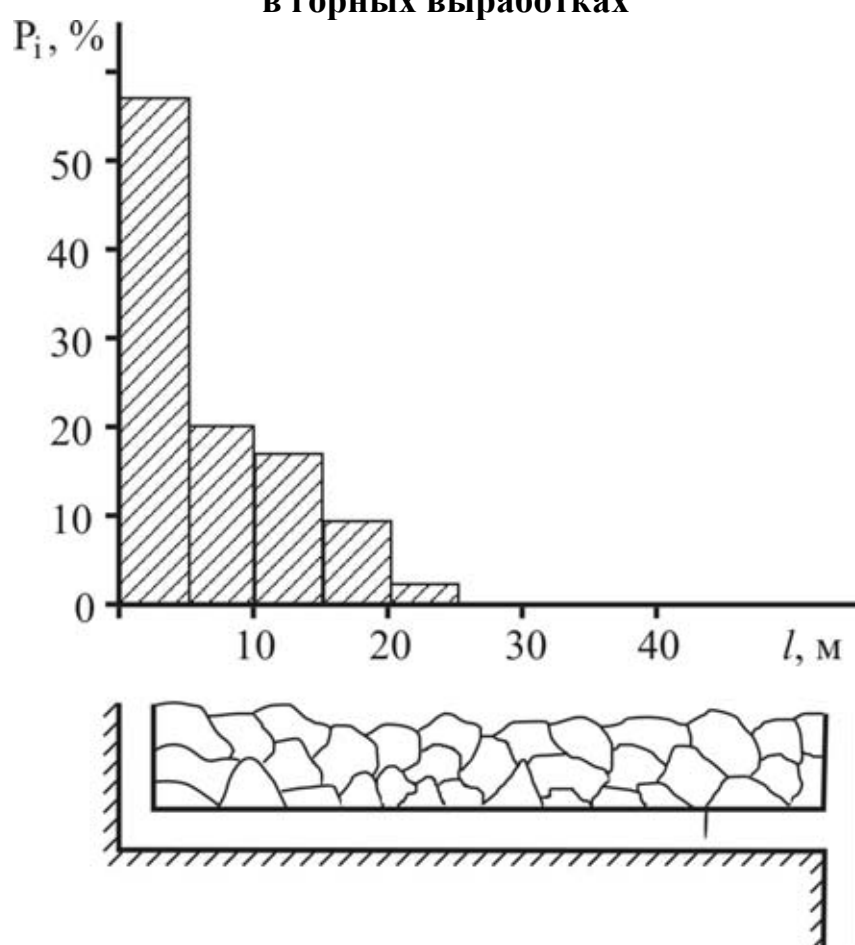


Рис. 4.44. Распределение частоты (P_i) выбросов по длине (l) щитовой лавы

Исследования напряженно-деформированного состояния выбросо-опасных и невыбросоопасных песчаников выполнялись путем измерения деформаций упругого восстановления породы с помощью глубинных реперов и индикаторов часового типа.

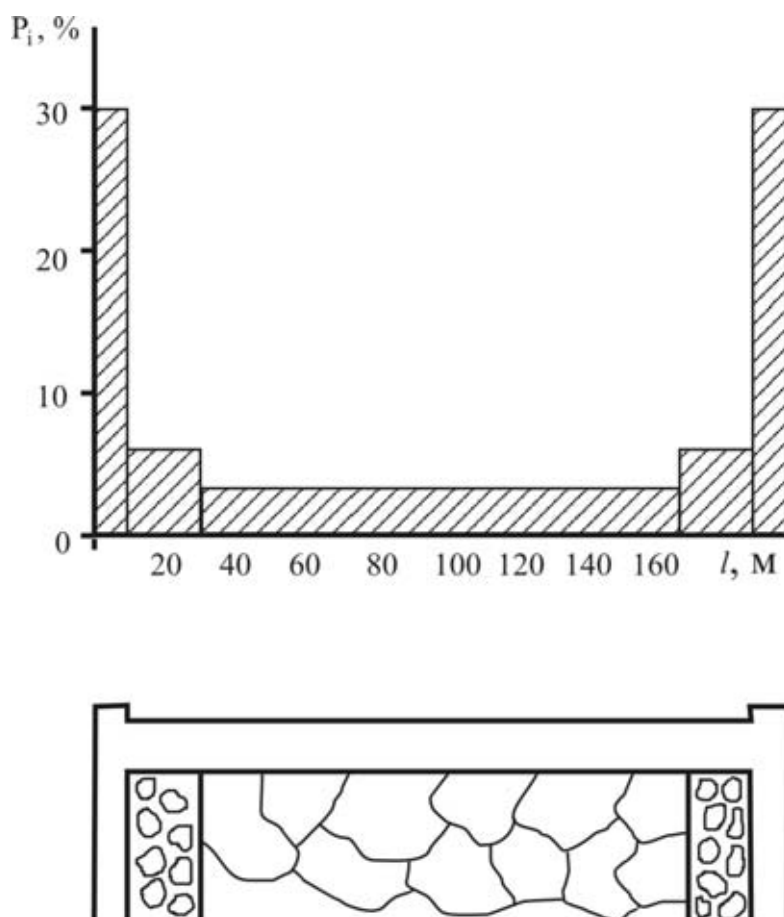


Рис. 4.45. Распределение частоты (P_i) выбросов по длине (l) лавы при сплошной системе разработки

Замерные станции состояли из 4-х реперов, установленных попарно в горизонтальной и вертикальной плоскостях. Между каждой парой реперов устанавливался индикатор часового типа для замера горизонтальной и вертикальной компонент деформаций упругого восстановления породного массива (рис. 4.46).

Разгрузка породного массива осуществлялась путем выбуривания разгрузочных щелей (4.46).

Репера крепились в скважинах диаметром 52 мм. Глубина скважины для установки реперов была на 0,5-0,7 м меньше глубины щели. Глубина щели составляла 2,5 м. Репера крепились в скважинах цементным раствором на участке от 0,7 м от забоя выработки до конца скважины. Схема установки реперов приведена на рис. 4.46. Средние значения относительных деформаций на станциях № 1, 2 в выбросоопасном песчанике в вертикальной плоскости составили $(17,7 - 18,3) \cdot 10^{-4}$, а в горизонтальной $(27,1 - 31,9) \cdot 10^{-4}$. На замерной станции № 3 в невыбросоопасном песчанике вертикальная компонента относительных деформаций составила $2,9 \cdot 10^{-4}$, а горизонтальная $9,6 \cdot 10^{-4}$.

Одновременно с исследованием напряженного состояния изучалось газодинамическое состояние призабойной зоны выбросоопасного песчаника. Газодинамическое состояние изучалось путем измерения начальной скорости газовыделения из скважин во время разгрузки призабойной зоны выбросоопасного песчаника. Динамика газовыделения из песчаника во время его разгрузки приведена на рис. 4.47. Как видно из рис. 4.47 по мере разгрузки песчаника деформации расширения возрастают, достигают максимальных значений, стабилизируются, а затем несколько снижаются. По мере увеличения деформаций расширения с некоторым запозданием возрастает скорость газовыделения. Моменту увеличения скорости газовыделения соответствует снижение деформаций расширения.

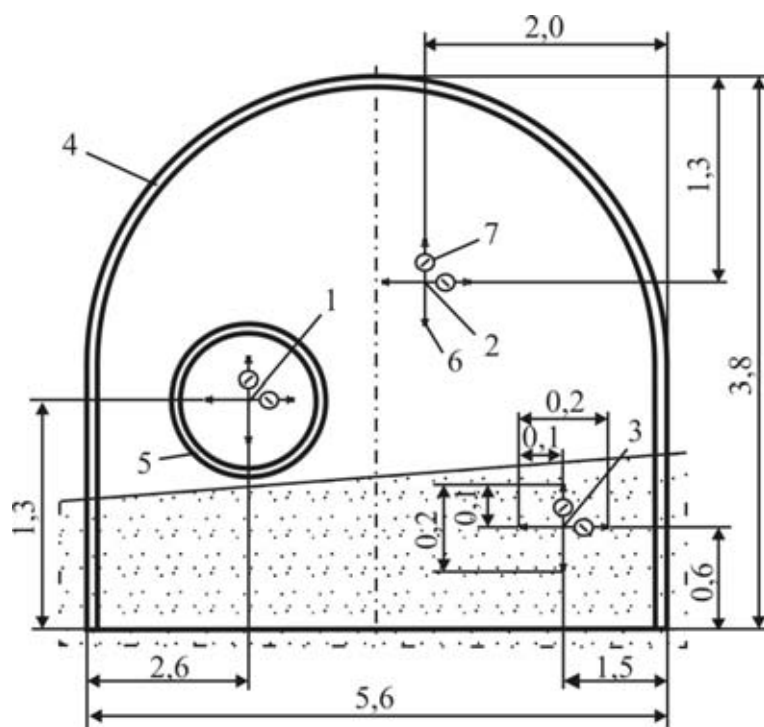


Рис. 4.46. Схема расположения разгрузочных щелей и измерительных станций

1, 2 – измерительные станции, установленные в выбросоопасном песчанике;
3 – измерительная станция, установленная в невыбросоопасном песчанике; 4 – щель, выбуренная по контуру выработки; 5 – круговая щель; 6 – репер; 7 – индикатор часового типа

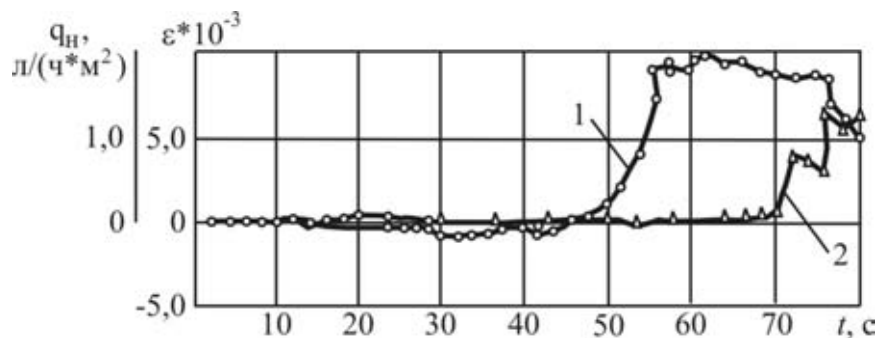


Рис. 4.47. Изменение относительных деформаций расширения (ϵ) и динамика начальной скорости газовыделения (q_n) при разгрузке выбросоопасного песчаника

1 – относительные деформации расширения песчаника; 2 – начальная скорость газовыделения; t – время

Это положение позволяет утверждать, что снижение деформаций расширения при дегазации песчаника, как и в угольном пласте, является следствием того, что максимальные деформации расши-

рения представляют собой сумму деформаций упругого восстановления и деформаций возникающих вследствие склонности газонасыщенных песчаников к «набуханию».

Исследования распределения напряжений в призабойной части горных пород проводились методом электрометрии.

Измерения осуществлялись аппаратурой ИКС-Іш методом зондирования шпуров специальными четырехэлектродными зондами. Метод основан на зависимости электропроводности песчаников от его напряженного состояния.

Согласно полученным данным, с удалением от забоя электропроводность, и соответственно, напряженное состояние в призабойной зоне массива горных пород возрастают, а затем снижаются до уровня напряжений в нетронутом массиве горных пород и стабилизируются. Место максимальной электропроводности соответствует зоне повышенных напряжений (рис. 4.48). Зона максимума напряжений впереди забоя выработки располагается на глубине около 1,0-1,5 м. Таким образом, характер распределения напряжений в призабойной зоне песчаников такой же как и в угольном пласте, т.е. впереди забоя выработки имеется разгруженная и дегазированная зона.

Определение величины разгруженной зоны впереди забоя осуществлялось путем бурения керновых скважин в направлении проведения выработки. В результате анализа полученного кернового материала установлено, что в выбросоопасных зонах (в зонах, где керн делится на диски), керн начинает делиться на расстоянии 35-75 см от забоя. Эти данные показывают, что величина разгру-

женной зоны впереди движущегося забоя выработки, проводимой по песчаникам составляет 35-75 см.

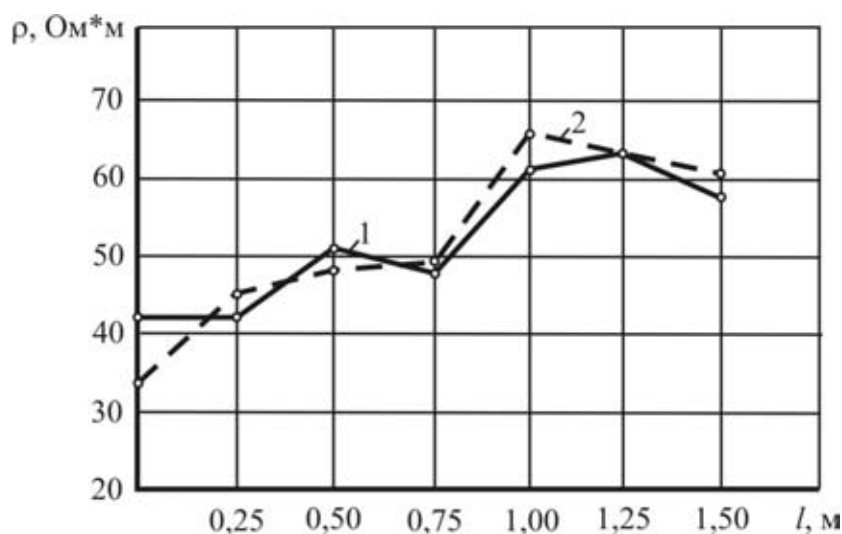


Рис. 4.48. Изменение электропроводности в призабойной части песчаника

1 – результаты замера при движении зонда в направлении от устья шпура к его забою; 2 – результаты замера при движении зонда в обратном направлении; l – расстояние до забоя

Величина разгруженной зоны может существенно изменяться во времени. Она стабилизируется примерно через 6 суток и может достигать величины 1,3-1,4 м.

Таким образом, исследования показали, что в призабойной зоне песчаника, так же как и в призабойной зоне угольного пласта, закономерности зависимости напряженного состояния от глубины залегания нарушаются.

На основании теоретических исследований напряженного состояния выбросоопасных калийных пластов, закономерностей распределения напряжений в зоне влияния горных выработок, приведенных в [52], установлено, что максимальная концентрация напряжений в выработках круглого поперечного сечения располага-

ется на расстоянии, равном 1,5-2,0 диаметра впереди забоя, достигая в этом интервале максимальных значений, равных $K = 2$.

На контуре выработок, имеющих прямоугольную форму, коэффициент концентрации напряжений возрастает с увеличением пролета выработки достигая $K = 2 - 6$, а в углах выработок еще выше.

При экспериментальных исследованиях в шахтных условиях установлено повышение напряжений на расстоянии 0,3 – 0,5 м от забоя выработки и дальнейшая их стабилизация. $\sigma_{\max}$ и $\sigma_{\min}$ отличаются не более, чем на 15% и соответствуют давлению вышележащих пород.

При исследовании распределения напряжений в окрестности горных выработок ультразвуковым методом установлено, что зоны максимумов напряжений в стенках выработок располагаются на расстоянии 0,5 – 0,7 м от обнажения.

Таким образом, характер распределения напряжений в призабойной зоне в калийных солях аналогичен характеру распределения напряжений в углях и песчаниках.

4.5 Источники накопления и условия реализации потенциальной энергии, высвобождающейся при отторжении призабойной части угольных пластов и пород

Поскольку выброс представляет собой процесс спонтанного самоподдерживающегося разрушения и перемещения разрушенного материала, провоцируемого отторжением угля и пород в их призабойной части, то работа разрушения и перемещения может быть

совершена только за счет потенциальной энергии, которая содержится в массиве горных пород.

Исследования напряженно-деформированного и газодинамического состояния выбросоопасных угольных пластов и пород, позволили установить, что источниками потенциальной энергии в угольных пластах и породах, являются горное давление, приводящее к накоплению потенциальной энергии упругого деформирования угольных пластов и пород, и энергия сжатого газа, содержащегося в их поровом пространстве.

4.5.1 Реализация потенциальной энергии упругого деформирования угольных пластов и пород

Высвобождающаяся при перераспределении напряжений в приза-бойной части горных пород, вследствие выемки (отторжения) угля и песчаника, потенциальная энергия упругого деформирования может быть реализована в упругих и неупругих деформациях [60].

Условия реализации энергии упругого деформирования в массиве описывается следующим уравнением:

$$U = \frac{(\gamma H)^2}{2E} A - \frac{(\gamma H)^2}{2E} \left\{ \frac{N}{\beta} \left[1 - \exp \left(-\frac{t^{1-\alpha}}{\tau^{1-\alpha}} \right) \right] + \right. \\ \left. + \frac{B}{\beta - K} \left[1 - \exp \left[-\frac{t^{1-\alpha}}{\tau^{1-\alpha}} \gamma (1 - \epsilon) \right] - \frac{M}{\beta - K} \left[1 - \exp \left[-\frac{t^{1-\alpha}}{\tau^{1-\alpha}} (1 - a) \right] - \right] \right] \right\} \quad (4.11)$$

где γ – объемный вес пород;

H – глубина горных работ;

A, B, N, M, a, v, κ – постоянные, выражающиеся через упругие и реологические параметры;

t – время;

τ – время релаксации;

E – модуль упругости.

Из анализа уравнения (4.11) следует, что при мгновенном ($t \rightarrow 0$) изменении напряженного состояния энергия, реализующаяся в упругих деформациях, будет иметь максимальное значение:

$$U = \frac{(\gamma H)^2}{2E} A \quad (4.12)$$

При медленном изменении напряженного состояния ($t \rightarrow \infty$) величина энергии, реализующейся в упругих деформациях будет уменьшаться и составит:

$$U = \frac{(\gamma H)^2}{2E} A - \left[\frac{N}{\beta} + \frac{B}{\beta - K} - \frac{M}{\beta - K} \right] \frac{(\gamma H)^2}{2E} \quad (4.13)$$

Следовательно, соотношение между энергией, реализуемой в упругих и неупругих деформациях, определяется скоростью разгружающего воздействия на призабойную часть массива горных пород. Чем ниже скорость разгружающего воздействия на призабойную часть угольного пласта и пород, тем большая часть высвобождаемой энергии упругого деформирования будет реализована в неупругих деформациях и рассеиваться в массиве. Рассеивание энергии может составить 25-93% [53].

Таким образом, при определении величины потенциальной энергии упругого деформирования угольных пластов и пород, которая трансформируется в работу разрушения при выбросах необ-

ходимо учитывать рассеивание энергии в массиве горных пород за счет неупругих деформаций. Рассеивание энергии может учитываться коэффициентом K_p , зависящим от скорости изменения напряженного состояния призабойной части массива горных пород и изменяющегося в пределах $K_p = 0,07 - 0,75$. Условия реализации потенциальной энергии упругого деформирования угольного пласта и пород (скорость изменения напряженного состояния призабойной части массива горных пород при его отторжении), имеют определяющие значения в проявлении выбросоопасности, т.к. хрупкое разрушение угля и пород, происходящее при выбросах, совершается за счет энергии, реализующейся в упругих деформациях [65].

4.5.2 Условия реализации энергии газа

В выбросоопасных угольных пластах 94-95% газа находится в сорбированном состоянии и 4-5% в свободном. В выбросоопасных песчаниках свободный газ составляет 80%, а в калийных солях 90-95% от общей газоносности. Работу может производить только свободный газ, находящийся под давлением. Следовательно, в процессе выброса принимает участие только газ, находящийся в свободном состоянии. В [57, 67] так же указывается, что в выбросе принимает участие только свободный газ.

Для уточнения изложенного положения о роли газа в механизме выбросов были выполнены аналитические исследования. При выполнении аналитических исследований физическая модель выбросоопасных угля и пород была принята в виде трещиновато-

160

пористого тела. В нетронутом массиве трещины полностью закрыты и весь газ находится в порах. При снижении напряженного состояния в угле и породах трещины открываются и в них начинает поступать свободный газ, содержащийся в порах.

Раскрытие и рост трещин при хрупком разрушении может осуществляться за счет упругих деформаций и внутритрещинного давления свободного газа.

Количество газа, которое успеет перейти из порового объема в трещины будет определяться градиентом давления свободного газа, проницаемостью угля и пород, размерами трещин и временем их существования до нарушения гидродинамической замкнутости системы, т.е. до выхода трещины на поверхность. Дифференцированные конечные размеры трещин могут быть определены на основании анализа гранулометрического состава угля и пород, разрушенных выбросом, исходя из положения: «отделение частиц угля или породы от массива происходит при выходе трещины на поверхность». Т.е. размеры трещин должны быть сопоставимы с размерами частиц угля и пород, разрушенных при выбросе. Гранулометрический состав угля, песчаника и соли, разрушенных при выбросе, представлен в табл. 4.10, 4.11, 4.12.

Таблица 4.10. Гранулометрический состав угля, разрушенного при выбросе

Размер частиц угля, мм	100	50	25	13	6	3	1	0,5 и менее
Содержание, %	0,7	6,3	7,3	10,7	20,5	11,2	26,4	16,9

Таблица 4.11. Гранулометрический состав песчаника, разрушенного при выбросе

Размер частиц песчаника, см	Более 70	70-6	6-2	Менее 2
Содержание, %	3	20	25	52

Таблица 4.12 – Гранулометрический состав соли, разрушенной при выбросе

Размер частиц, мм	200-500	10-50	7-10	5-7	3-5	2-3	1-2	0,5-1,0	0,25-0,5	Менее 0,25
Количество в %	30	9,4	4,1	4,8	9,0	7,3	7,3	9,6	9,5	9,0

Минимальный размер фракции – 0,0104 мм.

Время существования трещины (до нарушения гидродинамической замкнутости системы) определяется ее конечным размером и скоростью роста.

Исследованиями установлено [65], что скорость роста трещин различна в различных материалах и на различных этапах ее роста. Но скорость устойчивого (стабильного) роста трещин составляет 1/2-2/3 скорости упругих поперечных волн в материале.

Скорость поперечных упругих волн в угле и породах составляет 500-1000 м/сек. Следовательно, скорость роста трещин находится в пределах 250-500 м/сек.

Газ в трещину будет поступать из порового пространства участка горного массива, ограниченного параллельными трещинами с двух сторон. Ширина этого участка (2Z) равна расстоянию между трещинами. Для определения количества газа, перешедшего в тре-

щины за время до нарушения их гидродинамической замкнутости, рассмотрим условия фильтрации газа из порового пространства в трещины.

Уравнение одномерного течения газа имеет вид:

$$\frac{\partial^2 p^2}{\partial X^2} = \frac{m\mu}{Kp} \cdot \frac{\partial p^2}{\partial t}, \quad (4.14)$$

где p – давление газа;

X – расстояние от трещины;

t – время;

m – пористость угля (фильтрационный объем пор);

μ – вязкость газа;

K – проницаемость.

Начальные и граничные условия запишутся в виде:

$$P = P_o \text{ при } t = 0$$

$$P = P_{\text{атм}} \text{ при } X = 0 \quad (4.15)$$

$$\frac{\partial p}{\partial X} \text{ при } X = Z$$

Приближенное решение уравнения (4.14) при условиях (4.15) полученное Л.С. Лейбензоном [40] имеет вид:

$$P^2(t, x) = P_{\text{атм}}^2 + \frac{4}{\pi} (P_o^2 - P_{\text{атм}}^2) \sum^{\infty} t e^{-\omega i 2t} \sin \frac{i \pi x}{2}, \quad (4.16)$$

$$\text{где} \quad \omega = \frac{\pi^2 \cdot K \cdot P_o}{4m\mu Z^2} \quad (4.17)$$

Объемный дебит газа, приведенный к давлению $P_{\text{атм}}$, определяется, исходя из закона Дарси:

$$q = \frac{SK}{2\mu P_{\text{атм}}} \left(\frac{\partial P^2}{\partial X} \right)_{x=0}, \quad (4.18)$$

где S – площадь сечения фильтрационного потока.

Подставляя в (4.18) значение $(\frac{\partial P^2}{\partial X})_{x=0}$, найденное из (4.16) и используя преобразование Якоби Лейбензон получил следующее выражение для дебита газа:

$$q = \frac{SK}{\mu P_{атм}} \cdot \frac{P_o^2 - P_{атм}^2}{Z} \sqrt{\frac{\pi}{4\omega t}} [1 - 2\varphi + 2\varphi^4 - 2\varphi^9 + \dots], \quad (4.19)$$

$$\text{где} \quad \ln \varphi = \frac{\pi^2}{4\omega t} \quad (4.20)$$

Для очень малых значений времени t в формуле (4.19) достаточно ограничиться 1-м членом, тогда выражение для дебита газа с учетом (4.17) примет вид:

$$q = \frac{S(P_o^2 - P_{атм}^2)}{2P_{атм}} \sqrt{\frac{Km}{\pi\mu P_o t}} \quad (4.21)$$

Отсюда получим общее количество газа, вытекающее из рассматриваемого участка угольного пласта или породы в ограничивающее его две трещины сечением S за промежуток времени t :

$$Q = 2 \int_0^t q dt = \frac{S(P_o^2 - P_{атм}^2)}{P_{атм}} \sqrt{\frac{Km}{\pi\mu P_o}} \int_0^t \frac{dt}{\sqrt{t}} \quad (4.22)$$

Окончательно будем иметь:

$$Q = \frac{2S(P_o^2 - P_{атм}^2)}{P_{атм}} \sqrt{\frac{Kmt}{\pi\mu P_o}} \quad (4.23)$$

Зная дифференцированные конечные размеры трещин в угле и породах при выбросе, по формуле (4.23) рассчитали долю газа, перешедшего из порового пространства в трещины для каждой фракции в отдельности. Затем, исходя из процентного содержания каж-

дой фракции, определяли как часть свободного газа переходит из порового пространства в трещины во время разрушения массива.

Согласно результатам выполненных расчетов, объем свободного газа, который может реализовать свою энергию в работу разрушения угля и песчаника при выбросе (объем газа, перешедшего из порового пространства в трещины до нарушения гидродинамической замкнутости системы) составляет не более 8% от общего объема свободного газа. Остальная часть свободного газа выделяется из разрушенных выбросом угля и пород и может совершать только работу по перемещению разрушенного материала.

Подтверждением тому, что только свободный газ принимает участие в выбросе может служить тот факт, что для поддержания углегазового потока во время выбросов уровень энергии газа, выделяемый в единицу времени, должен быть не менее величины работы необходимой для перемещения угля или породы, разрушаемых в единицу времени. С такой скоростью может выделяться только свободный газ, т.к. для того, чтобы весь сорбированный газ перешел в свободное состояние, необходимо, чтобы давление свободного газа в угольном пласте или породе было снижено практически до атмосферного давления. Подтверждением того, что только свободный газ принимает участие в выбросах служит тот факт, что в выбросоопасных песчаниках и солях практически весь газ, содержащийся в поровом пространстве находится в свободном состоянии.

4.6 Энергетические условия выбросов

Согласно энергетической теории выбросов [67] энергетические условия, при которых возможно возникновение выбросов, записывается в виде энергетического баланса:

$$W_{упр} + W_{г} > A_p + A_{пер}, \quad (4.24)$$

где $W_{упр}$ – энергия упругого деформирования угольного пласта или пород, МДж;

$W_{г}$ – энергия свободного газа, содержащегося в угольном пласте или породе, МДж;

A_p – работа разрушения угля и породы, МДж;

$A_{пер}$ – работа перемещения разрушенных при выбросе угля или породы, МДж.

Количественные значения энергетических параметров, входящих в энергетический баланс выброса, могут быть определены экспериментально или рассчитаны по известным формулам.

Так как упругое восстановление призабойной части угольного пласта и пород происходит практически только в сторону обнаженной поверхности (забоя) энергия упругого деформирования угольных пластов и пород может быть определена по формуле:

$$W_{упр} = \frac{\sigma^2}{2E}, \quad (4.25)$$

где σ – компонента напряжений нормальная к обнаженной поверхности (к забою выработки), МПа;

E – модуль упругости угля или породы, МПа.

Согласно [53] энергия упругого деформирования угольного пласта составляет на глубинах 250-1200 м 0,68-2,6 МДж/м³, а рассчитанная по формуле (4.25) для минимальной глубины выбросов (120 м) – 0,35 МДж/м³.

Потенциальная энергия упругого деформирования калийных солей в Старобинском месторождении на глубине 350-400 м составляет 0,18-0,325 МДж/м³, а в Верхнекамском на глубине 260-380 м 0,27-0,8 МДж/м³ [57].

Потенциальная энергия упругого деформирования песчаника на минимальной глубине выбросов (650 м) составляет 0,45 МДж/м³.

Величина работы разрушения угля и пород может быть определена по следующей формуле [53]:

$$A_p = \frac{\sigma_{сж}}{(597 \cdot r_n)^{1,75}}, \quad (4.26)$$

где $\sigma_{сж}$ – предел прочности на сжатие угля, МПа;

r_n – размер частиц угля разрушенного при выбросе, см.

Работа разрушения угля при выбросе, рассчитанная по экспериментальным данным [53], составляет 0,24-0,55 МДж/м³, а рассчитанная по формуле (4.26) – 0,21 МДж/м³.

Работа разрушения калийных солей при сжатии составляет 0,6-1,04 МДж/м³, а непосредственно в выбросоопасной зоне в 2-3 раза меньше и составляет 0,2-0,3 МДж/м³ [57].

Работа разрушения песчаника в выбросоопасной зоне составляет – 0,41 МДж/м³.

Как видно из приведенных данных энергия упругого деформирования угольных пластов и выбросоопасных пород одного порядка с величиной работы разрушения угля и пород.

Энергия газа может быть определена по формуле:

$$W_2 = \frac{RT}{X-1} \cdot \frac{V}{22,4 \cdot 10^{-3}} \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{X-1}{X}} \right], \quad (4.27)$$

где R – газовая постоянная, равная 0,848 кгм/моль.град;

X – показатель адиабаты, для метана $X = 1,32$;

P_1 и P_2 – начальное и конечное давление газа, МПа;

V – объем газа, м³/т;

T – абсолютная температура системы уголь, порода, газ, град.

При подсчете энергии газа, содержащегося в угольном пласте и выбросоопасных породах и участвующего в процессе выброса следует принимать то количество газа, которое содержится в выбросоопасных угольных пластах и породах в свободном состоянии и фактическую величину давления свободного газа.

Результаты расчета энергии свободного газа приведены в табл. 4.13 и на рис. 4.49 [57].

Как видно из рис. 4.49 и табл. 4.13 величина энергии существенно зависит от количества свободного газа, а от давления газа лишь в диапазоне 0-1,0 МПа.

Работа перемещения угля и пород, разрушенных выбросом, может быть определена из следующего уравнения [67]:

$$A_{nep} = m_y q S \cdot (\sin \alpha \pm f \cos \alpha), \quad (4.28)$$

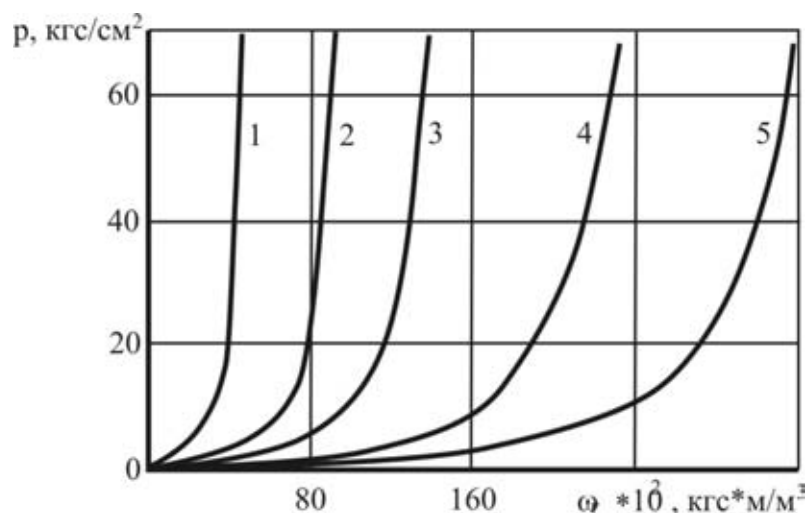


Рис. 4.49. Энергия выделяющегося при выбросах газа при разном пластическом давлении P и газоносности выбросоопасных пород q , $\text{м}^3/\text{м}^3$ [57]
 1 – $q=0,1$; 2 – $q=0,2$; 3 – $q=0,3$; 4 – $q=0,5$; 5 – $q=0,7$

где m_y – масса выброшенного угля или породы, кг;

q – ускорение силы тяжести, $\text{см}/\text{сек}^2$;

S – расстояние, на которое перемещается центр тяжести выброшенного угля или породы в процессе внезапного выброса, м;

f – коэффициент трения угля или породы при выбросе;

α – угол наклона выработки, «минус» при движении газ угольной смеси по выработке сверху вниз, град.

Величина работы по перемещению угля или пород зависит от объемного веса угля и пород и расстояния, на которое они перемещаются.

Согласно экспериментальным данным [53] работы перемещения составляет при интенсивности выбросов 60-14000 т $0,034\text{-}2,45 \text{ МДж}/\text{м}^3$, рассчитанная по формуле (4.28) $0,52 \text{ МДж}/\text{м}^3$.

Согласно приведенным данным, по величине энергия свободного газа (табл. 4.13) одного порядка, что и величина работы по перемещению разрушенного угля и породы.

Таблица 4.13. Энергия газа W_g (МДж/м³), выделяющегося при внезапных выбросах для различных пластовых давлений (Р) и количества свободного газа, содержащегося в угле и выбросоопасных породах (Q)

$Q, \text{ м}^3/\text{м}^3$	Р, МПа					
	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0
0,2	0,065	0,075	0,081	0,085	0,087	0,090
0,3	0,097	0,114	0,125	0,128	0,132	0,135
0,5	0,162	0,188	0,204	0,215	0,220	0,225
0,7	0,226	0,267	0,286	0,300	0,308	0,314
1,0	0,322	0,380	0,408	0,426	0,440	0,450
2,0	0,65	0,76	0,82	0,85	0,88	0,90
5,0	1,62	1,88	2,04	2,14	2,18	2,25
10,0	3,22	3,80	4,08	4,26	4,40	4,50
20,0	6,5	7,6	8,2	8,5	8,8	9,0
40,0	13,0	15,4	16,3	17,1	17,6	18,0

Из принятой формы записи энергетического баланса [24] можно сделать вывод, что на глубине, на которой величина энергии упругого деформирования угля или породы будет превышать в сумме величину работы разрушения и работы по перемещению их, выброс может произойти и при отсутствии газа. Но из практики ведения горных работ по выбросоопасным угольным пластам и породам известно, что выбросы при отсутствии газа не происходят, т.к. работа по перемещению разрушенного при выбросе угля и породы совершается за счет энергии свободного газа, содержащегося в них.

Таким образом, энергия упругого деформирования массива горных пород, высвобождаемая при нарушении равновесного со-

стояния (отторжении) призабойной части массива реализуется в работу разрушения. Энергия газа, содержащегося в массиве горных пород, реализуется при выбросах в работу перемещения по выработке разрушенного угля или породы.

Поэтому энергетические условия, при которых может произойти выброс угля, породы и газа, должны записываться в следующем виде:

$$W_{упр}K_p > A_p; W_g > A_{пер}, \quad (4.29)$$

где K_p – коэффициент, учитывающий рассеивание энергии упругого деформирования угольных пластов и пород в массиве и зависящий от скорости изменения напряженного состояния призабойной части массива горных пород при его отторжении.

При нарушении хотя бы одного из неравенств (4.29) выброс не произойдет.

4.7 Влияние горно-геологических условий, физико-механических свойств, газодинамического и напряженного состояния на выбросоопасность угольных пластов и пород

Проведенными исследованиями установлены горно-геологические и горно-технические условия проявления внезапных выбросов угля, пород и газа, петрографический состав, физико-механические и газодинамические свойства, газоносность, напряженно-деформированное и газодинамическое состояние угольных пластов и пород, источники накопления и условия реализации по-

тенциальной энергии массива горных пород и энергетические условия проявления выбросов.

Однако, для понимания природы выбросов необходимо установить механизм и степень влияния указанных факторов на выбросоопасность угольных пластов и пород.

Первые выбросы в различных горных породах произошли на различных глубинах. Минимальная глубина, на которой произошли выбросы, пропорциональна прочности этих пород. В углях ($\sigma_{сж} = 0,9 - 2,6$ МПа) минимальная глубина выбросов составляет около 120 м, в калийной соли ($\sigma_{сж} = 20 - 25$ МПа) – 265 м, в песчаниках ($\sigma_{сж} = 80 - 120$ МПа) – 650 м, т.е., чем больше прочность породы, тем на большей глубине (при большем горном давлении) начинаются выбросы. Зависимость минимальной глубины выбросов от крепости пород свидетельствует о связи выбросоопасности с горным давлением.

На угольных пластах минимальная глубина выбросов различна для углей различных марок. Анализом установлена зависимость минимальной глубины выбросов от степени метаморфизма угля. Эта зависимость описывается следующим уравнением:

$$H = 140 + 6,4V^{daf}; r = 0,73, \quad (4.30)$$

где H – минимальная глубина выбросов, м;

V^{daf} – выход летучих веществ, %;

r – коэффициент корреляции.

Для повышения надежности в качестве минимальной глубины выбросов принята верхняя доверительная граница минимальной глубины выбросов, которая описывается следующим уравнением:

$$H_{мин} = 100 + 6,4V^{daf}, \quad (4.31)$$

где $H_{мин}$ – минимальная глубина выбросов.

В связи с тем, что прочность углей различной степени метаморфизма в выбросоопасных зонах в основном зависит от степени нарушенности угольного пласта она в этих зонах углей различных марок практически одинакова. Если минимальная глубина выбросов определялась только горным давлением, то она должна была бы быть одинаковой для углей различных марок.

Фактически для углей различных марок минимальная глубина выбросов не одинакова. Этот факт указывает на то, что минимальная глубина выбросов определяется не только горным давлением.

Для выявления других факторов, влияющих на минимальную глубину выбросов, был выполнен анализ зависимости глубины расположения границы зоны газового выветривания от степени метаморфизма угля. В качестве границы зоны газового выветривания принята изогаса $2 \text{ м}^3/\text{т}$. Положение границы зоны газового выветривания для углей различных марок описывается следующим уравнением:

$$H_{мин.мет.газов} = 10 + 8,04V^{daf}; r = 0,68, \quad (4.32)$$

Глубина расположения границ зоны газового выветривания в углях различных марок хорошо коррелирует с положением минимальной глубины выбросов (рис. 4.50). Это позволяет сделать вывод, что положение минимальной глубины выбросов определяется так же и газоносностью угольных пластов.

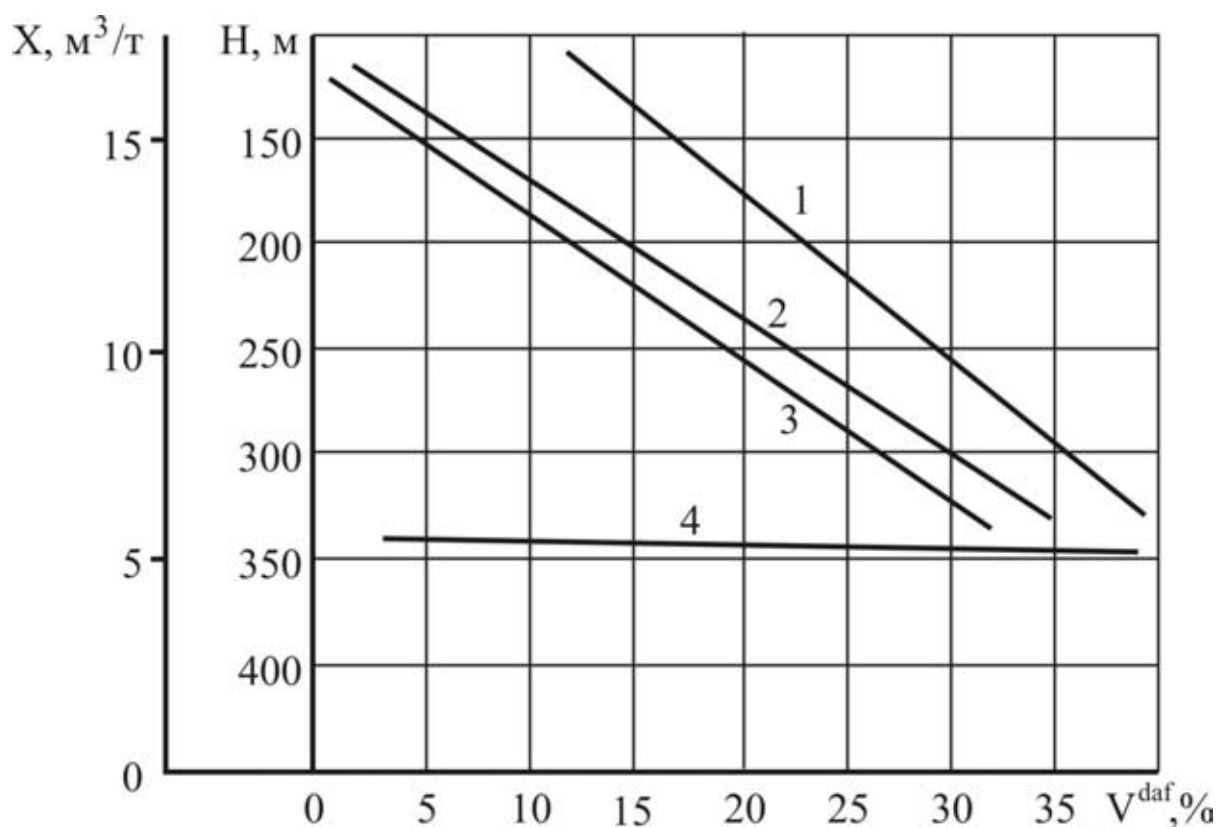


Рис. 4.50. Зависимость глубины расположения границы зоны газового выветривания (1), минимальной глубины выбросов (2), изогазы 6 м^3 метана на тонну угля (3) и газоносности угольных пластов на минимальной глубине выбросов (4) от степени метаморфизма угля (V^{daf})

H – глубина; X – газоносность

Для определения минимальной газоносности, при которой может произойти выброс угля различной степени метаморфизма выполнен анализ, которым установлены зависимости глубины положения различных изогаз от степени метаморфизма угля. Положение изогазы $6 \text{ м}^3/\text{т}$ описывается следующим уравнением:

$$H_{газ} = (6 \text{ м}^3 / \text{т}) = 118,7 + 7,4V^{daf} \quad (4.33)$$

и по глубине располагается несколько ниже положения минимальной глубины выбросов (рис. 4.50). Это указывает на то, что критическое значение газоносности, т.е. минимальное значение газоносности, при котором может произойти выброс, составляет около $6 \text{ м}^3/\text{т}$, независимо от степени метаморфизма угля.

Зависимость критической газоносности угольных пластов от степени метаморфизма угля описывается уравнением вида:

$$X_{кр} = 5,6 - 0,01V^{доф}, \quad (4.34)$$

и также свидетельствует о том, что критическая газоносность составляет $X_{кр} = 5,2 - 5,5 \text{ м}^3/\text{т}$.

Поскольку в угольном пласте в свободном состоянии содержится около 4-5% газа от общего количества, то минимальное количество свободного газа в угольном пласте, при котором может произойти выброс составляет $0,2 \text{ м}^3/\text{т}$. Минимальное количество свободного газа, при котором может произойти выброс песчаника составляет около $0,28 \text{ м}^3/\text{т}$, а калийных солей $0,27 \text{ м}^3/\text{т}$.

Исследование влияния горного давления и газоносности на выбросоопасность угольных пластов было выполнено в шахтных условиях исходя из положения о том, что по мере удаления от забоя выработки в глубь массива напряжения и газоносность возрастают практически от нуля на забое до величин соответствующих напряжению и газоносности в нетронутом массиве горных пород, т.е. что непосредственно к забою выработки примыкает зона угольного пласта, в которой напряжения и газоносность имеют значения ниже, чем на минимальной глубине выбросов и при отторжении углей на этом участке в выбросоопасной зоне выбросы не должны происходить.

Проверка этого положения осуществлена при проведении выработок буровзрывным способом в выбросоопасных зонах угольных пластов. При этом перед каждым циклом взрывных работ в призабойной части угольного пласта определялась величина раз-

груженной и дегазированной (безопасной) зоны и сравнивалась она с длиной шпура. В тех случаях, когда величина безопасной зоны превышала длину шпура, не были зафиксированы выбросы. Все выбросы, которые произошли во время проведения экспериментов при взрывных работах, имели место в тех случаях, когда длина шпуров была равна или превышала величину безопасной зоны.

Результаты проверки подтверждают влияние горного давления и газоносности на выбросоопасность угольных пластов.

В песчаниках, как и в угольных пластах, минимальная глубина выбросов в зонах залегания углей разной степени метаморфизма различна. Минимальная глубина выбросов имеет место в песчаниках в зонах залегания углей с выходом летучих веществ, равным 25-33% (марки углей Ж и К) и находится в пределах 650-750 м. С увеличением летучих веществ минимальная глубина выбросов в песчаниках возрастает и при выходе летучих, равном 38-42% составляет около 1000 м [30]. Связь минимальной глубины выбросов песчаников со степенью метаморфизма, залегающего в этом районе угля, аналогична зависимости глубины зоны газового выветривания от марки угля. Газопроницаемость песчаников так же изменяется в зависимости от степени метаморфизма угля, залегающего в зоне расположения песчаников. От зон залегания углей марок Г-Ж-К к зонам залегания углей марок ОС-Т-А газопроницаемость песчаников снижается. Идентичный характер зависимости глубины расположения зоны газового выветривания, проницаемости и минимальной глубины выбросов песчаников от степени метаморфизма угля

указывает на влияние газоносности на выбросоопасность песчаников так же, как и на выбросоопасность угля.

В песчаниках в шахтных условиях так же была выполнена проверка влияния горного давления и газоносности на его выбросоопасность путем отбойки породы буровзрывным способом на различную глубину, исходя из установленного характера распределения напряжений и газоносности в призабойной части массива горных пород.

При исследовании зависимости статистической вероятности выбросов от длины шпуров были получены следующие результаты: статистическая вероятность выбросов при длине шпуров до 0,7 м была равна нулю, а при дальнейшем увеличении длины шпуров (табл. 4.14) она возрастает и достигает максимума при длине шпуров 1,6-1,8 м, т.е. в зоне максимума концентрации напряжений впереди забоя выработки.

Распределение статистической вероятности выбросов породы и газа при различной длине шпуров (табл. 4.14) указывает на то, что при отбойке породы в выбросоопасном песчанике в пределах зоны естественной разгрузки и дегазации, образующейся вследствие разгружающего влияния выработки на призабойную часть массива горных пород, выбросы не происходят, что свидетельствует о наличии связи выбросоопасности с напряженным состоянием и газоносностью песчаника.

Очевидно, что минимальной глубине выбросов соответствуют минимальные значения горного давления и газоносности, при которых может произойти выброс.

Ниже минимальной глубины выбросов в нетронутом массиве горных пород горное давление и газоносность с увеличением глубины возрастают и, следовательно, постоянно имеют выбросоопасные значения. Тем не менее, ниже минимальной глубины выбросы происходят только в отдельных локальных зонах. Этот факт указывает на то, что горное давление и наличие газа в поровом пространстве угля и пород являются обязательными, но недостаточными факторами выбросоопасности.

Таблица 4.14. Статистическая вероятность возникновения выбросов при различной длине шпуров

Длина шпуров, м	Количество взрываний	Количество выбросов	Статистическая вероятность возникновения выбросов
до 0,7 м	132	-	0
0,7-1,2	229	5	0,02
1,2-1,6	232	32	0,14
1,6-1,8	68	21	0,33
2,0-2,2	310	77	0,25
более 2,2	14	3	0,21

Как следует из проведенных исследований, необходимыми условиями для возникновения и протекания процесса выброса являются высокая скорость газовыделения из угля и пород разрушенных при выбросе, а также чтобы величина работы их разрушения была меньше, чем та часть высвобождающейся энергии упругого деформирования угольных пластов и пород, которая трансформируется в работу разрушения в упругих деформациях, т.е. при прочих равных условиях выбросы произойдут в тех зонах, которые об-

ладают повышенной скоростью газоотдачи и пониженной величиной работы разрушения по сравнению с прилегающим угольным и породным массивом. Такими свойствами обладают зоны с нарушенной структурой в выбросоопасных угольных пластах и породах.

Таким образом, обязательными условиями определяющими выбросоопасность угольных пластов и пород являются так же газодинамические и физико-механические свойства угольных пластов и пород.

Угольные пласты и породы характеризуются изменчивостью газодинамических и физико-механических свойств как по простиранию, так и по падению и восстанию пластов. Изменчивость этих свойств определяется изменчивостью степени нарушенности структуры угольных пластов и пород, возникшей вследствие тектонического воздействия на них.

Зоны в угольных пластах и породах, имеющие высокую степень нарушенности структуры, локальны и приурочены к геологическим нарушениям. По этой причине выбросоопасные зоны в угольных пластах и породах имеют локальный характер и приурочены к геологическим нарушениям.

Газодинамическое состояние угольных пластов в зонах с высокой степенью нарушенности структуры зависит так же от характера геологического нарушения. В дизъюнктивных геологических нарушениях, где нарушена газодинамическая замкнутость системы, происходит частичная разгрузка и дегазация угольных пластов. В этой связи выбросы угля происходят, как правило, в пликтивных

нарушениях, представленных перегибами, порошками, изменением мощности и замещениями угольного пласта на апофизах дизъюнктивных геологических нарушений. Согласно данным МакНИИ, ближайший от дизъюнктивного нарушения со смещением пласта, превышающим его мощность, выброс произошел на расстоянии 5 м.

4.8 Общность природы выбросов угля и пород

Результаты изучения горно-геологических условий возникновения выбросов угля, пород и газа, петрографического состава, физико-механических, коллекторских и газодинамических свойств, газоносности, напряженно-деформированного и газодинамического состояния выбросо-опасных угольных пластов и пород, их сопоставления и анализа, указывают на наличие общности основных факторов, определяющих природу этих газодинамических явлений.

Все газодинамические явления происходят на газоносных угольных пластах и породах в зонах с нарушенной структурой угля или пород во время разрушения призабойной части выбросоопасного массива горных пород ручным, буровзрывным или механизированным способами как в очистных, так и подготовительных выработках и приурочены к геологическим нарушениям. Выбросоопасные зоны в угольных пластах, так и в породах, имеют локальный характер.

Выбросы угля, пород и газа происходят ниже границы зоны газового выветривания.

Минимальная глубина выбросов угля и пород (минимальная величина горного давления, при котором происходят выбросы угольных пластов и пород) пропорциональна их прочности.

Выбросы угля и пород имеют одинаковые признаки: высокая степень измельчения угля и пород, расположение разрушенных угля и пород в выработке под углом меньшим угла естественного откоса, повышенное, по сравнению с природной газоносностью, газовыделение из разрушенных при выбросе угля и пород, наличие полостей в угольном пласте и массиве горных пород.

Прочность угля и пород в выбросоопасных зонах уменьшается, а газодинамические свойства (скорость газовыделения) возрастают.

Выбросоопасные угольные пласты и породы склонны к хрупкому разрушению, обладают более высокими, по сравнению с невыбросоопасными, упругими свойствами и, следовательно, большей способностью к накоплению потенциальной энергии упругого деформирования.

Угольные пласты и породы неоднородны по составу и представлены различными ингредиентами (уголь) или минералами (породы) существенно различающимися между собой по деформационным характеристикам.

В выбросоопасных зонах как угольных пластов, так и пород происходит разрушение керна во время бурения керновых скважин.

Характер распределения напряжений за контуром выработок, пройденных как по угольному пласту, так и по породам аналогичен.

Выбросоопасные угольные пласты и породы существенно различаются по прочности. Однако это различие компенсируется горным давлением, вследствие чего в выбросоопасных угольных пластах и породах различная минимальная глубина выбросов.

Существенно различаются выбросоопасные угольные пласты и породы по газоносности и по фазовому состоянию газа, содержащегося в них. Однако, количество свободного газа в выбросоопасных угольных пластах и породах, участвующего в процессе выброса, одного порядка.

В угольных пластах и породах одни и те же источники энергии (энергия упругого деформирования и энергия свободного газа, содержащегося в поровом пространстве угля и пород), реализующиеся в работу разрушения и перемещения разрушенного при выбросах материала.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что выбросы как в угольных пластах, так и в выбросоопасных породах имеют общую природу.

4.9 Механизм разрушения угольных пластов и пород при выбросах

4.9.1 Общие положения

В настоящее время существуют различные гипотезы механизма разрушения угольных пластов, песчаников и соляных пород при выбросах.

В.В. Ходотом [67] предложен следующий механизм выброса угля и газа. При внезапном обнажении угольного пласта высвобождается потенциальная энергия упругого деформирования (сжатия) угля. В результате происходит дробление угля и сдвиг его в сторону выработки. При этом увеличивается трещиноватость и газ выходит из системы пор в систему каналов между кусками разрушающегося угля. Возрастает скорость газовыделения из угольного пласта. Уголь, потерявший связь с массивом, отбрасывается газом в горную выработку, причем в этой фазе действует в основном газ, находящийся вне сорбционного объема.

Механизм разрушения песчаников при выбросах В.И. Николиным [49] представляется следующим образом. При отторжении породного массива и перераспределения напряженной, породы «новой груди забоя» оказываются в условиях, когда становятся возможными деформации упругого восстановления в направлении пройденной выработки – деформации растяжения. При достижении последними предельных значений произойдет разрушение в ограниченной области породного массива, которое вызовет новое перераспределение напряжений, и т.д. Таким образом, выброс представляется в виде цепной реакции разрушения песчаников вследствие их упругого восстановления.

Н.М. Проскуряков [57] представляет следующим образом механизм разрушения соляных пород при выбросах. При отбойке соляных пород вследствие уменьшения бокового отпора происходят деформации упругого восстановления в сторону выработки под действием накопленной в породах потенциальной энергии, вслед-

ствие чего возникает волна деформаций растяжения, представляющая собой быстро протекающий процесс образования трещин и быстрого заполнения их газом. Волна растяжения вызывает деформации откола и отрыва отдельных слоев от массива калийных пластов, как только энергия пород и перепад давления газа окажутся для этого достаточными, т.е. при выбросе соляных пород и газа происходит последовательный отрыв пород за счет потенциальной энергии упругого деформирования соляного пласта и внутренней энергии газа, заключенного в выбросоопасных пластах соли. Выделяющийся при разрушении пород газ, производит их вынос в горную выработку.

При внезапных выбросах соляных пород 90-95% от общего объема газа, содержащегося в калийных пластах, выделяется мгновенно. Сорбированный и внутрикристаллический газ в процессе выброса практически участия не принимает.

В изложенных гипотезах механизма выбросов угля, песчаника и калийных солей имеется много общего. Однако в них есть и существенно различные положения. Особенно отличаются взгляды на роль газа в механизме угля и пород при выбросах.

Общность природы и идентичность отдельных этапов процесса выбросов угля и пород позволили предположить и единство механизма разрушения выбросоопасных углей и пород. В этой связи исследование механизма разрушения угля и песчаников были выполнены с общих позиций. При этом исследовались деформирование призабойной части угольных пластов и пород и условия спонтанного разрушения при их отторжении.

4.9.2 Деформирование призабойной части угольных пластов и пород при их отторжении

Исследование характера деформирования угля и песчаников в призабойной части массива горных пород проводились в лабораторных условиях на специальной установке, позволяющей создавать объемное напряженное состояние (рис. 4.33). При этом отторжение угля и песчаника в призабойной части угольного пласта и пород имитировалось устранением одной компоненты напряжений.

Эксперимент выполнялся в следующей последовательности. Первоначально образцы угля и песчаника насыщались метаном. Затем в них создавалось объемное напряженное состояние. После этого нагрузка на образец по одному направлению снижалась. При этом осуществлялась регистрация деформаций шлейфовым осциллографом.

Совмещенный график зависимости деформаций от нагрузки $/\varepsilon - \sigma/$ газонасыщенного угольного образца и изменения деформаций во времени $/\varepsilon - t/$ при снятии нагрузки по одному направлению представлен на рис. 4.51. При экспериментах изменялись напряженное состояние, степень газонасыщения и скорость разгрузки образца.

Как видно из графика, представленного на рис. 4.51, при разгрузке образца угля по одному направлению происходит его упругое восстановление в этом направлении. Деформации упругого восстановления по абсолютной величине зависят от исходного напряженного состояния, газоносности и скорости разгрузки. Величина

деформаций при разгрузке газонасыщенного угольного образца прямо пропорциональна величине напряжений, степени газонасыщения и скорости разгрузки.

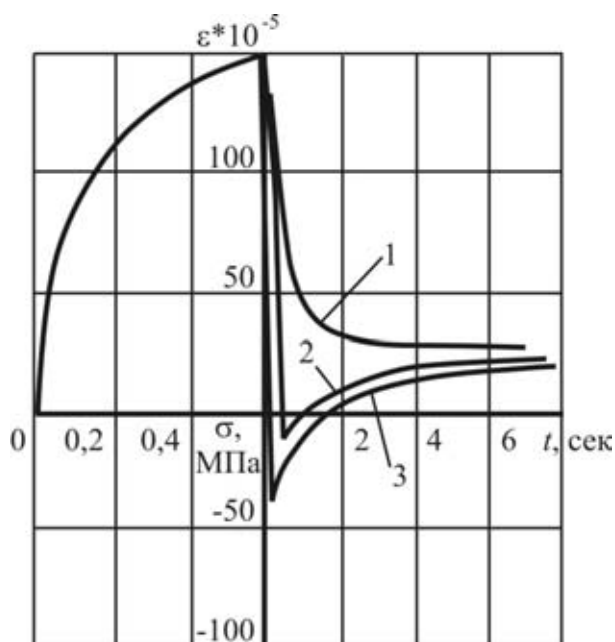


Рис. 4.51. Совмещенный график деформирования образца угля при нагружении и разгрузке

1 – деформации при разгрузке дегазированного угля со скоростью 0,3 МПа/сек; 2 – деформации при разгрузке газонасыщенного угля со скоростью 3,0 МПа/сек; 3 – деформации при разгрузке газонасыщенного угля со скоростью 0,6 МПа/сек; ε – относительная деформация; σ – напряжение; t – время

При разгрузке ненасыщенного газом образца со скоростью менее 3,0 МПа/сек. деформации упругого восстановления по величине меньше, чем деформации сжатия при нагружении их (рис. 4.51.1).

При скорости разгрузки газонасыщенного образца угля превышающей 3,0 МПа/сек. деформации упругого восстановления в направлении устраненной компоненты по абсолютной величине превышают деформации сжатия полученные при нагружении об-

разца (рис. 4.51.2 и 4.51.3). Таким образом, при разгрузке по одному направлению газонасыщенного образца угля, находившегося в объемном напряженном состоянии, возникают растягивающие деформации в направлении устраненной компоненты.

На рис. 4.52 показан совмещенный график нагружения ($\sigma - \varepsilon$) газонасыщенного песчаника и зависимости ($\sigma - t$) для случая, когда образец сначала нагружался до величины, равной 60,0 МПа, и затем нагрузка снижалась до 0, при этом осуществлялась регистрация деформаций с помощью прибора ЦТМ-3 и осциллографа. Из данных, представленных на рис. 4.52.3 видно, что мгновенная разгрузка газонасыщенного песчаника приводит к появлению деформаций, обратных по знаку деформации нагружения, а по величине превышающих деформации упругого восстановления, т.е. к растягивающим деформациям.

В дальнейшем изучалось влияние на величину растягивающих деформаций при разгрузке газонасыщенного песчаника напряжений, газа и скорости разгрузки. Разгрузка образца по одному направлению осуществлялась путем сброса осевой нагрузки.

Исследования показали, что величина растягивающих деформаций зависит от величины напряжений в песчанике. Увеличение напряжений ведет к росту растягивающих деформаций при мгновенной разгрузке. Наличие газа в песчаниках также способствует увеличению растягивающих деформаций.

При плавном сбросе нагрузки с ненасыщенного газом образца со скоростью порядка 3,0 МПа/сек. по абсолютной величине деформации упругого восстановления меньше деформаций сжатия,

т.е. в этом случае растягивающие деформации не возникают (рис. 4.52.1).

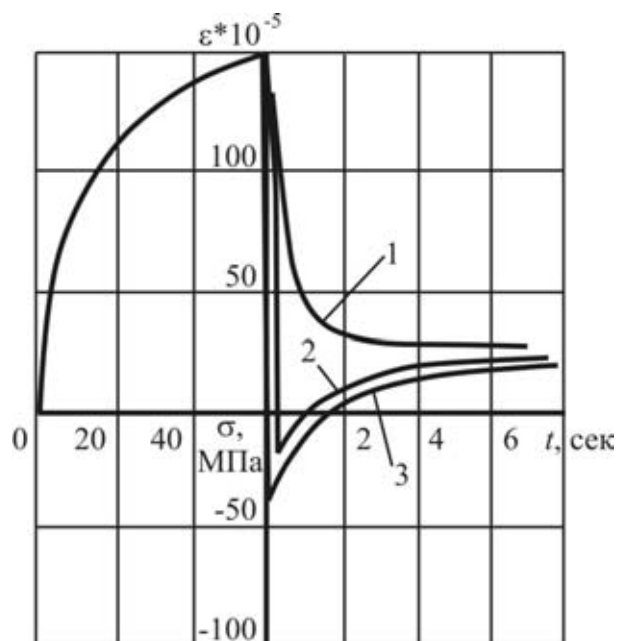


Рис. 4.52. Совмещенный график деформирования песчаника при нагружении и разгрузке его

ε – относительная деформация; σ – осевая нагрузка; t – время; 1 – деформации при разгрузке деформированного песчаника со скоростью 15 МПа/сек; 2 – деформации при разгрузке газонасыщенного песчаника со скоростью 300 МПа/сек; 3 – деформации при мгновенной разгрузке газонасыщенного песчаника

Таким образом, проведенными исследованиями установлено, что при отторжении угля и песчаников, с определенной скоростью, в призабойной части выбросоопасных угольных пластов и пород возникают растягивающие деформации в плоскости устраненной компоненты напряжений. Характер деформирования призабойной части выбросоопасных угольных пластов и песчаников при их отторжении идентичен.

4.9.3 Условия спонтанного разрушения призабойной части угольных пластов и пород

Исследования механизма разрушения угля и породы проводились исходя из известного положения о том, что выбросы угля и пород происходят при отторжении (разрушении) призабойной части горных пород, т.е. при разгрузке призабойной части угольных пластов или пород в направлении вновь образованной обнаженной поверхности (забоя).

Возможность разрушения твердых тел при разгрузке аналитически была установлена Л.А. Галиным и Г.П. Черепановым. При выполнении экспериментальных работ по изучению условий, при которых возникает разрушение угля или породы при разгрузке, первоначально производилось нагружение образцов угля и песчаников по схеме $\sigma_2 = \sigma_3 = K\sigma_1$, соответствующей напряженному состоянию нетронутого массива горных пород, где – K – коэффициент бокового отпора, $K = \frac{\mu}{1-\mu}$; μ - коэффициент Пуассона.

При этом σ_1 не менее, чем в 2 раза превышала предел прочности образца на одноосное сжатие. В таком напряженном состоянии образец не разрушался. Устранение одной из компонент напряжений (разгрузка по одному из направлений) сопровождалось разрушением образцов. Разрушение образцов носило послойный характер и распространялось от обнаженной поверхности в глубь образца.

Таким образом, экспериментальными исследованиями было установлено, что разрушение угольного пласта и песчаника в при-

забойной части происходит под действием растягивающих напряжений, возникающих в плоскости нормальной к вновь обнаженной поверхности (к забою) при переходе их из объемного в одно- или двухосное напряженное состояние, вследствие уменьшения компоненты напряжения нормальной к забою выработки, вызванного отторжением угля и песчаника.

Но, в реальных (шахтных) условиях, не каждое отторжение угольного пласта или песчаника, приводящее призабойную часть массива горных пород к переходу от объемного к одно- или двухосному напряженному состоянию, сопровождается спонтанным разрушением угольного пласта или пород, т.е. выбросом.

С целью раскрытия механизма разрушения при выбросе была разработана математическая модель разрушения угля и пород при их разгрузке. При этом исходили из следующих положений.

Как уголь, так калийные соли и песчаники состоят из различных элементов, обладающих существенно различными упругими свойствами.

При разгрузке и упругом восстановлении угля, солей, песчаников в составляющих их элементах возникают различные по величине деформации упругого восстановления. При этом в элементах, обладающих низкими упругими свойствами будут возникать растягивающие напряжения.

Для упрощения решения задачи по определению условий, при которых при упругом восстановлении может наступить разрушение элементов, обладающих низкими упругими свойствами, вследствие возникновения в них растягивающих напряжений, рассмотрим эту

задачу на примере материала состоящего из двух элементов с различными упругими свойствами.

Растягивающие напряжения, которые возникают при упругом восстановлении материала в элементах, обладающих низкими упругими свойствами, могут быть определены из следующего выражения:

$$\sigma_H = \frac{(\varepsilon_{\text{в}} - \varepsilon_H) \cdot E_{\text{в}} \cdot S_{\text{в}}}{S_H}, \quad (4.35)$$

где σ_H – растягивающие напряжения в элементах, обладающих низкими упругими свойствами, МПа;

$\varepsilon_{\text{в}}$ – относительные деформации упругого восстановления в элементах, обладающих высокими упругими свойствами;

ε_H – относительные деформации упругого восстановления в элементах, обладающих низкими упругими свойствами;

$E_{\text{в}}$ – модуль упругости элемента, обладающего высокими упругими свойствами, МПа;

$S_{\text{в}}$ – средняя площадь поперечного сечения элемента, обладающего высокими упругими свойствами, см²;

S_H – средняя площадь поперечного сечения элемента, обладающего низкими упругими свойствами, см².

$$S_{\text{в}} = \pi \cdot R_{\text{в}}^2 \quad (4.36)$$

$$S_H = \pi \cdot R_H^2 \quad (4.37)$$

где R_H – средний радиус элемента, обладающего низкими упругими свойствами, см;

$R_{\text{в}}$ – средний радиус элемента, обладающего высокими упругими свойствами, см.

Относительные деформации упругого восстановления элементов могут быть определены из следующих формул:

$$\varepsilon_{\sigma} = \frac{\sigma}{E_{\sigma}}, \quad (4.38)$$

$$\varepsilon_H = \frac{\sigma}{E_H}, \quad (4.39)$$

где σ – компонента напряжений нормальная к обнаженной поверхности до начала упругого восстановления материала; E_H – модуль упругости элемента, обладающего низкими упругими свойствами.

Подставляя выражения (4.36, 4.37, 4.38 и 4.39) в (4.35) получим:

$$\sigma_H = \frac{\sigma \cdot R_{\sigma}^2 \left(1 - \frac{E_{\sigma}}{E_H}\right)}{R_H^2} \quad (4.40)$$

Из формулы (4.40) видно, что величина растягивающих напряжений в элементе с низкими упругими свойствами зависит от величины исходного напряженного состояния (σ), деформационных (упругих) характеристик элементов (E_{σ} , E_H), а также от петрографических характеристик (R_{σ} и R_H) угля и пород.

В связи с тем, что растягивающие напряжения возникают в элементах, обладающих низкими упругими свойствами, разрушение будет происходить именно по этим элементам. Условие разрушения (зарождение трещин) на микроуровне может быть записано в следующем виде:

$$[\sigma_{P.H.}] < \frac{\sigma \cdot R_{\sigma}^2 \cdot (1 - \frac{E}{E_H})}{R_H^2}, \quad (4.41)$$

где $[\sigma_{P.H.}]$ – предел прочности на растяжение элемента, обладающего низкими упругими свойствами.

Такая физическая модель разрушения на микроуровне позволяет установить роль некоторых физико-механических и петрографических характеристик угольных пластов и пород в механизме разрушения. Если трещины на микроуровне разрушения достигнут определенного размера (a_0), то дальнейший их рост будет происходить под действием растягивающих напряжений, возникающих на микроуровне при переходе напряженного состояния в призабойной части угольных пластов и пород из объемного в одно- или двухосное напряженное состояние, создаваемое горным давлением, при условии, что растягивающие напряжения в плоскости нормальной к обнаженной поверхности (σ_p) будут удовлетворять условию:

$$\sigma_p > \frac{K}{\sqrt{2a_0}}, \quad (4.42)$$

где K – модуль сцепления материала;

a_0 – начальный радиус трещины.

Массовый рост трещин будет распространяться в направлении от обнаженной поверхности (забоя) в глубь угольного пласта или массива пород и вызывать послойное их разрушение.

Обобщением результатов исследований горно-геологических условий, физико-механических свойств, петрографического состава, газоносности, напряженно-деформированного и газо-

динамического состояния, экспериментальных и аналитических исследований механизма разрушения призабойной части угольных пластов и пород установлено, что спонтанное разрушение призабойной части массива горных пород при их отторжении может произойти только в угольных пластах и породах, обладающих определенными физико-механическими свойствами и петрографическим составом и в соответствующих энергетических условиях. Из физико-механических свойств и петрографического состава основными факторами определяющими условия, при которых может возникнуть спонтанное разрушение призабойной части угольного пласта или пород, являются деформационные (упругие) свойства, определяющие их склонность к накоплению потенциальной энергии упругого деформирования; существенность различия упругих свойств и размеров ингредиентов угля и минералов, составляющих породы и их прочность.

Разрушение угольных пластов и пород при выбросах происходит в результате трансформирования в работу разрушения высвобождающейся при отторжении призабойной части угольных пластов и пород потенциальной энергии упругого деформирования массива горных пород. При этом в работу разрушения при выбросах трансформируется только та часть высвобождающейся потенциальной энергии упругого деформирования массива горных пород, которая реализуется в упругих деформациях. Соотношение между величиной высвобождающейся потенциальной энергией упругого деформирования массива горных пород, реализующейся в упругих и неупругих деформациях, зависит от скорости изменения

напряженного состояния призабойной части угольных пластов и пород при их отторжении. Следовательно, при прочих соответствующих условиях спонтанное разрушение (выброс) может произойти только при такой скорости отторжения призабойной части угольных пластов и пород, при которой та часть высвобождающейся потенциальной энергией упругого деформирования массива горных пород $W_{упр}$, которая трансформируется в упругих деформациях, будет превышать величину работы разрушения угольных пластов и пород A_p , т.е. энергетические условия будут соответствовать следующему неравенству: $W_{упр} \cdot K_p > A_p$.

Для экспериментальной проверки изложенных представлений о механизме разрушения угля и пород при выбросах была разработана установка для моделирования выбросов, позволяющая создавать разнокомпонентное напряженное состояние в газонасыщенных образцах угля и пород и регулировать скорость разгрузки образцов по одному направлению.

Установка представлена на рис. 4.53. Она состоит из двух камер 2 и 5. Образец 3 помещается в камеру 5 и крепится таким образом, что он изолирует камеру 2 от камеры 5. Камера 2 изолируется от окружающей среды диафрагмой 1. Толщина диафрагмы подбирается в зависимости от необходимой величины давления в камере 2.

Насыщение образцов метаном производится путем подачи в камеру 5 газа под давлением до стабилизации его давления в камере.

Затем создается давление на образец в камерах 2 и 5. Давление на образец варьировалось в широких пределах. В камере 5 осевое давление на образец создается поршнем 4, боковое давление жидкостью или газом, подаваемым в камеру. Давление на образец со стороны камеры 2 также создавалось жидкостью или газом, подаваемым в камеру 2.

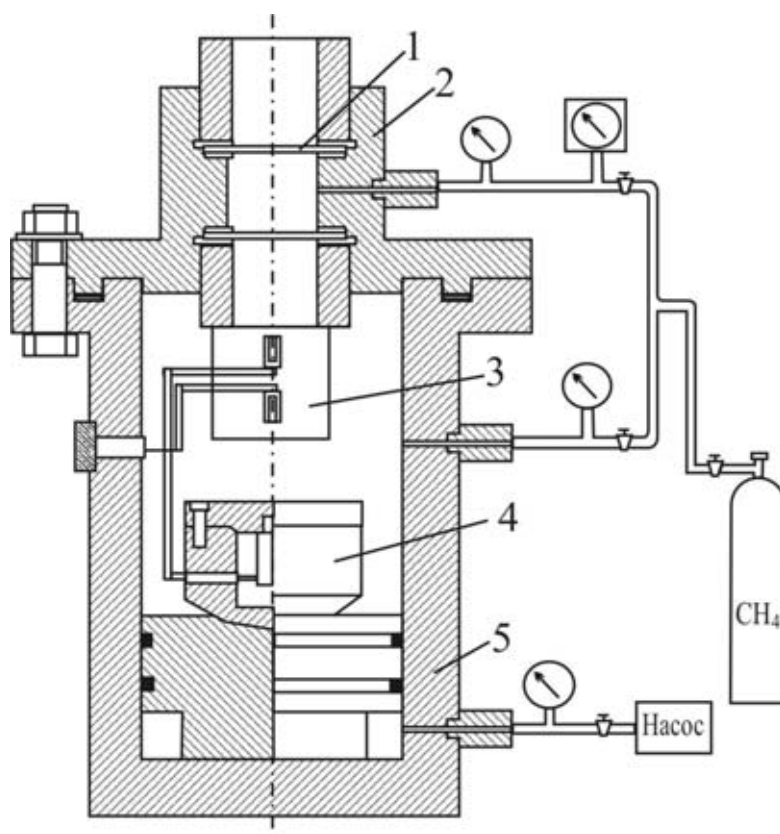


Рис. 4.53. Схема установки для моделирования выбросов угля и газа
1 – диафрагма; 2 – верхняя камера; 3 – образец; 4 – поршень; 5 – нижняя камера

Разгрузка образца осуществлялась путем снятия давления с него со стороны камеры 2 при разрушении диафрагмы 1.

На этой установке были смоделированы выбросы угля и песчаника. Результаты аналогичных исследований разрушения газонасыщенного угля, находящегося в объемном напряженном состоя-

нии, при разгрузке приведены в [3]. При моделировании выбросов зона разрушения образцов по форме была похожа на полость выброса (рис. 4.54). Разрушенные и отброшенные при моделировании уголь и песчаник были сильно измельчены.



Рис. 4.54. Характер разрушения угля при моделировании выбросов

Изучение характера разрушения угля и песчаника в окрестности полости производилось на распиленных на части образцах (рис. 4.54). Как видно на рис. 4.54 разрушение угля и песчаника при изменении их напряженного состояния за счет разгрузки по одному из направлений происходит путем прорастания трещин, параллельных плоскости обнажения, что подтверждает изложенную математическую модель разрушения. Конечные размеры трещин и расстояние между ними изменяются в широких пределах, и это определяет гранулометрический состав угля и пород при выбросах.

Характер роста микротрещин изучался на шлифах и аншлифах, изготовленных из образцов, подвергавшихся разрушению. На

шлифах и аншлифах, полученных из угольных образцов, явно видно преимущественное развитие микротрещин, расположенных параллельно обнаженной поверхности. Отдельные микротрещины, прорастая, соединяются между собой в одну магистральную трещину. Выход магистральных трещин на поверхность сопровождается отделением частицы угля от массива. Такое разрушение носит послойный характер.

Механизм разрушения песчаника такой же, как и угля. Разрушение его происходит путем роста трещин, расположенных параллельно или под небольшими углами к обнаженной поверхности. Расстояние между ними изменяется в широких пределах, что и определяет гранулометрический состав песчаника при выбросе. Гранулометрический состав песчаника и калийной соли, разрушенных при выбросе, приведен в табл. 4.11 и 4.12. Рост трещин происходит, в основном, за счет разрушения цемента, - наиболее слабого компонента песчаника (рис. 4.55).

4.10 Перемещение разрушенных при выбросах угля и породы по горным выработкам

Разрушенные при выбросах уголь и породы перемещаются по выработкам выделяющимся из них газом. Такой поток газоугольной или газопородной смеси может рассматриваться как флюидный поток. Согласно [53], флюидный поток характеризуется неравномерным распределением твердой фазы по поперечному сечению. В верхней части сечения частицы движутся в режиме газо-

взвеси, в нижней – в режиме жидкости (флюида), в переходной – в режиме сольтации.

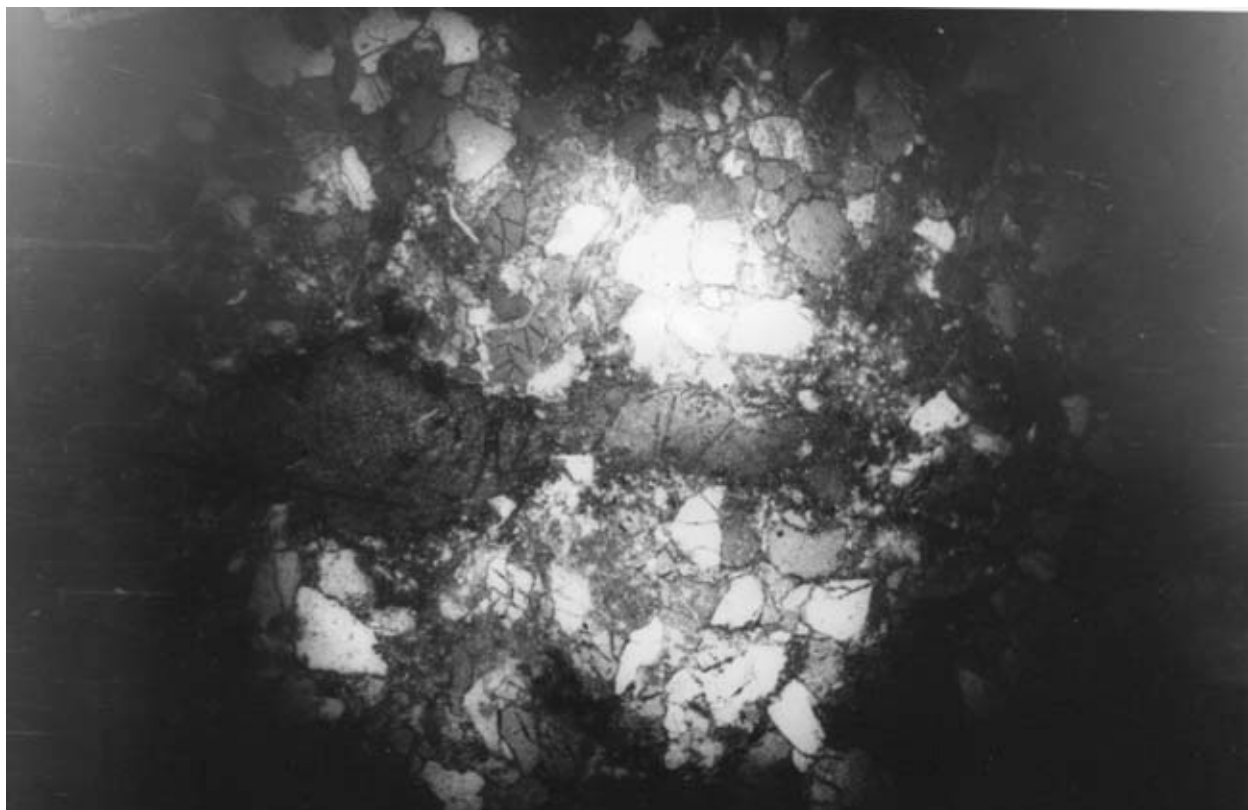


Рис. 4.55. Характер разрушения песчаника при разгрузке (при моделировании выброса)

При флюидном потоке, разрушенного при выбросе угля или породы, он способен переносить на значительные расстояния крупные куски угля и породы. Мелкие частицы уносятся еще дальше, образуя при осаждении слой мелко диспергированного материала. Интенсивное осаждение частиц наступает при скорости газа 10-15 м/с. Разрушенные уголь и породы при выбросах средней и большой интенсивности располагается у забоя подготовительной выработки почти на полное сечение, а затем в виде откоса под углом значительно меньшем, чем угол естественного откоса. В верх-

ней части выработки остается свободное пространство около 0,5 м от поверхности разрушенных угля и породы до кровли выработки. Очевидно этот канал служит для входа десорбирующегося газа из разрушенного угля или породы.

Давление на фронте потока на расстоянии 15-20 м от забоя выработки составляет 0,02-0,03 МПа.

При движении газугольного или газопородного потока по выработке может разрушаться крепь и оборудование расположенное в выработке. Газовый поток может опрокидывать свежую струю воздуха и распространяться на большие расстояния.

4.11 Прогнозирование выбросоопасности угольных пластов и пород

4.11.1 Общие положения

В результате исследования физико-механических и газодинамических свойств и петрографического состава угольных пластов и пород установлены некоторые отличительные признаки выбросоопасных и невыбросоопасных угольных пластов и выбросоопасных и невыбросоопасных пород, а также выбросоопасных и невыбросоопасных зон на выбросоопасных угольных пластах и породах.

Как выбросоопасные угольные пласты, так и выбросоопасные породы существенно отличаются от невыбросоопасных по деформационным характеристикам.

Существует связь между выбросоопасностью угольных пластов и песчаников и степенью метаморфизма угля.

Выбросоопасные угольные пласты и породы отличаются от невыбросоопасных по петрографическому составу.

На выбросоопасные свойства как угля, так и пород существенное влияние оказывает влага, содержащаяся в поровом пространстве в физически связанном состоянии.

Выбросоопасные и невыбросоопасные зоны как в угольных пластах, так и в породах существенно различаются по прочностным и газодинамическим свойствам.

Исходя из общности природы выбросоопасности угольных пластов и пород, а также наличия некоторых общих прогностических признаков, принципы прогнозирования выбросоопасности угля и породы должны быть едиными. Однако, вследствие количественного различия физико-механических свойств, газодинамических характеристик и качественного различия петрографического состава угля и пород их аналогичные прогностические признаки выбросоопасности имеют существенное качественное и количественное различие, а также различную информативность.

Следовательно, для обеспечения высокой надежности способов прогноза, они должны базироваться на тех прогностических признаках выбросоопасности, которые наиболее информативны для угольных пластов и пород.

В связи с локальностью выбросоопасных зон как в угольных пластах, так и породах прогнозирование выбросоопасности должно производиться в два этапа:

- на первом этапе должна определяться потенциальная выбросоопасность угольного пласта и пород;

- на втором этапе должно осуществляться прогнозирование выбросоопасных зон на потенциально выбросоопасных угольных пластах и породах.

4.11.2 Прогнозирование выбросоопасности угольных пластов

Обобщением результатов исследований горно-геологических условий проявления выбросов угля и газа, физико-механических свойств угля, напряженно-деформированного и газодинамического состояния угольных пластов установлены следующие положения, на которых должно базироваться прогнозирование выбросоопасности угольных пластов. Выбросоопасные (в неопасных зонах) и невыбросоопасные угольные пласты существенно различаются по деформационным свойствам.

Угольные пласты, имеющие выход летучих веществ $V^{daf} > 36 - 37\%$ или комплексный показатель степени метаморфизма $M > 27,7$, а так же $\ell_{qr} < 3,3$ являются невыбросоопасными.

Угольные пласты, расположенные выше минимальной глубины выбросов, так же являются невыбросоопасными.

Угольные пласты, расположенные ниже минимальной глубины выбросов, могут быть выбросоопасными и невыбросоопасными.

Ниже минимальной глубины выбросов горное давление и газоносность имеют постоянно выбросоопасные значения в угольных пластах за пределами влияния горных выработок.

Таким образом, прогноз выбросоопасности угольных пластов должен базироваться на всем комплексе показателей определяю-

щих выбросоопасность, а именно: степени метоморфизма, горном давлении, газоносности и физико-механических свойствах. Учитывая, что изменчивость указанных показателей невыбросоопасных зон невелика, при этом способе прогноза вполне допустимо дискретное определение факторов, характеризующих выбросоопасность.

Определение выбросоопасности угольных пластов должно осуществляться в следующей последовательности.

В первую очередь определяется степень метаморфизма угля. Угольные пласты с выходом летучих веществ более 36% или $M > 27,7$ относятся к невыбросоопасным.

Угольные пласты, имеющие значения логарифма удельного электросопротивления угля $\ell q\rho$ менее 3,3 относятся также к невыбросоопасным.

Затем устанавливают глубину, на которой будут вестись горные работы. Участки угольных пластов, расположенные выше минимальной глубины выбросов, являются невыбросоопасными.

Определение выбросоопасности угольных пластов, расположенных ниже минимальной глубины выбросов, а по степени метоморфизма находящихся в диапазоне $\ell q\rho > 3,3$; $V^{daf} < 36\%$ производится путем сопоставления деформационных характеристик угольных пластов с их критическими значениями [7]. Для разделения выбросоопасных и невыбросоопасных значений деформационных характеристик используются верхние доверительные границы для значений динамического модуля сдвига или динамического мо-

для упругости выбросоопасных пластов, описываемые следующими уравнениями:

$$G = (0,270 - 0,001V^{daf}) \cdot 10^9, \quad (4.43)$$

$$E = (0,790 - 0,006V^{daf}) \cdot 10^9 \quad (4.44)$$

Угольные пласты, расположенные ниже минимальной глубины выбросов, имеющие значения выхода летучих веществ менее 36%, ($M < 27,7$), а логарифм удельного электросопротивления более 3,3 и выбросоопасные деформационные характеристики, должны относиться к потенциально выбросоопасным. Разработана программа для определения выбросоопасности угольных пластов с применением ЭВМ.

4.11.3 Прогнозирование выбросоопасных зон в угольных пластах

При разработке выбросоопасных угольных пластов задача прогноза заключается в выявлении выбросоопасных зон.

На выбросоопасных угольных пластах уголь в выбросоопасных и неопасных зонах существенно отличается по физико-механическим и газодинамическим свойствам (по крепости (f), разрушаемости керна (R), скорости десорбции (V_{30-60}), скорости газоотдачи (ΔP), начальной скорости газовыделения (q_H) и пр.

Существенное изменение свойств угля в выбросоопасных зонах по сравнению с неопасными зонами является следствием нарушения структуры угля в этих зонах, происшедшей в результате тектонического воздействия на угольный пласт. Следовательно, различие физико-механических и газодинамических свойств в вы-

бросоопасных и небросоопасных зонах определяется степенью нарушенности угля.

В связи с тем, что ниже минимальной глубины выбросов горное давление и газоносность имеют постоянно, за пределами зоны влияния выработок, выбросоопасные значения, для прогноза выбросоопасных зон можно ограничиться определением лишь одного наиболее информативного показателя, характеризующего степень нарушенности угольного пласта, например: начальной скорости газовыделения q_H , показателей скорости десорбции V_{30-60} или показателя скорости газоотдачи ΔP .

Применяемые в настоящее время способы текущего прогноза выбросоопасных зон основаны, как правило, на определении одного показателя, характеризующего степень нарушенности структуры угольного пласта.

Наиболее распространенным способом прогноза выбросоопасных зон на угольных пластах в Донецком бассейне является способ, основанный на измерении начальной скорости газовыделения из угольного пласта в шпур q_H [36].

В зарубежной практике оценку выбросоопасности зон в угольных пластах производят по показателю V_{30-60} , характеризующему скорость десорбции газа из измельченного угля (штыба) по количеству газа, выделившегося из угольного штыба за определенный промежуток времени [45].

И.Л. Эттингером [73] предложен для прогноза выбросоопасных зон в угольных пластах показатель ΔP , характеризующий

скорость газоотдачи из измельченного угля (штыба) по нарастанию давления газа в замкнутом объеме.

Определение наиболее информативного показателя выбросоопасности выполнено на основании результатов исследования влияния степени нарушенности структуры угля на начальную скорость газовыделения (q_H), скорость десорбции (V_{30-60}) и скорость газоотдачи (ΔP). Зависимость начальной скорости газовыделения (q_H), скорости десорбции (V_{30-60}) и скорость газоотдачи (ΔP) от степени нарушенности структуры угля приведена на рис. 4.28.

Как видно из рис. 4.28 зависимость между нарушенностью структуры угля и величиной начальной скорости газовыделения имеет место лишь в углях I-II степени нарушенности. В углях IV-V степени нарушенности структуры угля, характерных для выбросоопасных зон, связь начальной скорости газовыделения со степенью нарушенности структуры угля практически отсутствует. Отсутствие существенной зависимости (в угле IV и V степени нарушенности структуры) начальной скорости газовыделения от степени нарушенности структуры угля свидетельствует о том, что начальная скорость газовыделения недостаточно информативный показатель для прогнозирования выбросоопасных зон в угольных пластах.

Скорость газоотдачи (ΔP) и скорость десорбции (V_{30-60}) существенно зависят от степени нарушенности структуры угля, особенно в углях III, IV и V степени нарушенности структуры, т.е. в углях характерных для переходных и выбросоопасных зон. Следовательно, скорость газоотдачи (ΔP) и скорость десорбции (V_{30-60})

могут служить надежными показателями для прогнозирования выбросоопасных зон в угольных пластах.

Отсутствие существенной связи между начальной скоростью газовыделения (q_H) и степенью нарушенности структуры угля является следствием того, что начальная скорость газовыделения характеризует динамику газовыделения из угольного пласта и на нее оказывает влияние не только степень нарушенности структуры, но и величина горного давления. Горное давление существенно влияет на проницаемость угля с нарушенной структурой (табл. 4.4) и, как следствие этого, на величину начальной скорости газовыделения и уменьшает зависимость скорости газовыделения от степени нарушенности угля.

Скорость газоотдачи (ΔP) и скорость десорбции (V_{30-60}) измеряются по газовыделению из штыба, поэтому исключается влияние каких-либо других факторов, кроме степени нарушенности угля.

Как видно из данных, приведенных на рис. 4.16 и 4.17, изменение свойств угля при переходе от невыбросоопасной к выбросоопасной зоне происходит на участках угольного пласта протяженностью 5-10 м.

Следовательно, чтобы не пропустить выбросоопасную зону при прогнозировании с 2-3-х кратной надежностью, измерение показателей, характеризующих выбросоопасность должно производиться через 2-3 м по мере подвигания выработки.

4.11.3.1 Способ прогноза выбросоопасных зон на угольных пластах по начальной скорости газовыделения

Прогноз выбросоопасных зон по начальной скорости газовыделения базируется на непрерывном (через интервалы, равные 2-3 мм), по мере подвигания забоев выработок, измерении начальной скорости газовыделения в шпур [36].

Прогноз выбросоопасных зон по начальной скорости газовыделения состоит из двух этапов: разведочных наблюдений и прогнозирования выбросоопасных зон. На этапе разведочных наблюдений определяется изменчивость мощности и крепости угольного пласта и начальной скорости газовыделения. На основном этапе определяется только начальная скорость газовыделения.

Для выполнения измерений начальной скорости газовыделения из забоя по направлению проведения выработок в угольном пласте бурится поинтервально шпур диаметром 42-43 мм на глубину 3,5 м, который на каждом интервале бурения герметизируют при помощи газозатворов ПГШ-1 или ЗГ-1 с таким расчетом, чтобы между резиновым уплотнителем и забоем шпура оставалась измерительная камера длиной 0,5 м.

Измерение начальной скорости газовыделения должно производиться через каждый 1,0 м по длине контрольного шпура. Для оценки выбросоопасности измеренная начальная скорость газовыделения сопоставляется с ее критическим значением.

Критические значения начальной скорости газовыделения устанавливаются в зависимости от марки угля и составляют:

при V^{daf} менее 15% $q_H = 5$ л/мин.

при V^{daf} от 15 до 20% $q_H = 4,5$ л/мин.

при V^{daf} от 20 до 30% $q_H = 4$ л/мин.

при V^{daf} свыше 30% $q_H = 4,5$ л/мин.

Зона относится к опасной если измеренная начальная скорость газовыделения больше ее критического значения.

4.11.3.2 Способ прогноза выбросоопасных зон в угольных пластах по скорости газовыделения из штыба

Определение показателя скорости газовыделения из штыба (ΔP) в шахтных условиях предлагается осуществлять прибором Д-1 (рис. 4.56).

Прибор Д-1 представляет собой микроманометр, соединенный с емкостью для угольного штыба. Прибор состоит из стрелки-указателя (4), зубчатой шестеренки (5), зубчатой рейки (6), корпуса (10), мембраны (7), металлической сетки (17), емкости для угольного штыба (14), в которую помещается угольный штыб (15).

Для определения ΔP из шпура, пробуренного по угольному пласту, отбирают навеску штыба и помещают ее в емкость (14). Навеска штыба должна составлять около 10 г. Затем соединяют емкость, заполненную штыбом с микроманометром. После этого закрывают отверстие (18) и в течение 30 сек. наблюдают по манометру за ростом давления в емкости (14). Показания манометра сверяют с величиной критического давления для углей данной степени метаморфизма. Если показания манометра через 30 сек. превысят

критическое значение зона в угольном пласте считается выбросоопасной.

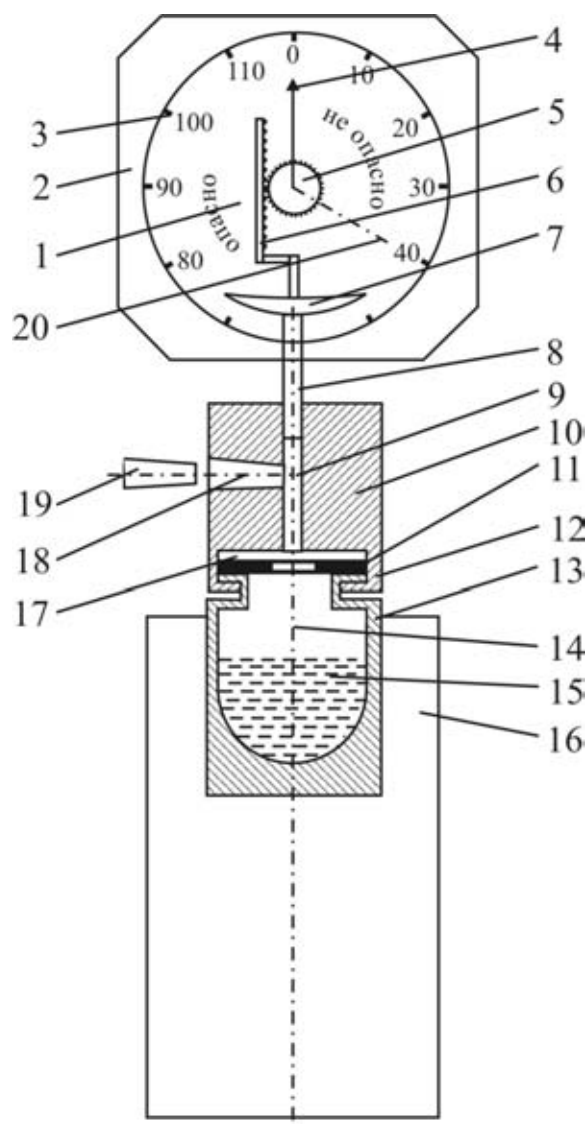


Рис. 4.56. Схема прибора Д-1

1 – микроманометр; 2 – корпус; 3 – измерительная шкала; 4 – стрелка; 5 – шестеренка; 6 – подвижная рейка; 7 – диафрагма; 8 – штуцер; 9 – канал; 10 – верхний цилиндр; 11 – уплотнительная прокладка; 12 – штыковой затвор; 13 – нижний цилиндр; 14 – емкость для размещения штыба; 15 – штыб; 16 – ручка; 17 – сеточка; 18 – соединительный канал; 19 – пробка; 20 – красная черта, разграничивающая выбросоопасные и невыбросоопасные значения ΔP

Для прогноза выбросоопасности в подготовительных выработках штыб отбирают не менее, чем в двух шпурах, удаленных друг от друга на максимальное расстояние. Длина шпуров должна

быть на 0,5 м больше величины выемки угля за один цикл. В очистных выработках шпуров бурятся в направлении подвигания лавы на расстоянии 5 м друг от друга. Проба штыба для определения скорости газоотдачи отбирается из каждого шпура.

Для углей с выходом летучих веществ $V^{daf} \geq 25\%$ критическое значение ΔP составляет 14 усл. ед. Для углей с выходом летучих веществ $V^{daf} < 25$, ΔP составляет 18 усл. ед.

4.11.3.3 Способ прогноза выбросоопасных зон по интенсивности инфракрасного излучения угля

Выбросоопасные зоны в угольных пластах представлены углем с повышенной степенью нарушенности структуры. В связи с повышенной степенью нарушенности структуры, уголь в выбросоопасных зонах обладает высокой скоростью десорбции газа. Десорбция газа происходит с поглощением тепла. По этой причине температура свежееобнаженного забоя угольного пласта в выбросоопасной зоне ниже, чем температура в соседних невыбросоопасных зонах.

Температура на забое угольного пласта может определяться безконтактным способом, путем измерения инфракрасного излучения забоя угольного пласта [15, 16, 17, 41].

4.11.3.4 Способ прогноза выбросоопасности перед вскрытием угольных пластов

Для определения выбросоопасности угольного пласта в месте вскрытия его через породную пробку бурят три шпура такой длины, чтобы угольный пласт перебуривался на всю мощность. Из этих шпуров отбираются пробы угля для определения крепости угля f и иодного показателя ΔJ^* . Затем в этих шпурах измеряют начальную скорость газовыделения q_H . Угольный пласт в месте вскрытия считается неопасным, если все три показателя имеют неопасные значения, а именно $q_H < 2$ л/мин., $f > 0,6$ у.е., $\Delta J < 34$ мг/г.

4.11.4 Прогнозирование выбросоопасности пород

4.11.4.1 Общие положения

На основании данных об условии проявления выбросов установлена зависимость минимальной глубины выбросов песчаника от степени метаморфизма (выхода летучих веществ) угольных пластов, расположенных в зоне залегания песчаников.

Минимальная глубина выбросов в песчаниках на участках распространения углей с выходом летучих веществ 25-30% (марки углей Ж и К) находится в пределах 650-750 м. С увеличением выхода летучих минимальная глубина выбросов возрастает. При выходе летучих 36-38% она составляет около 1000 м. С увеличением выхода летучих веществ возрастает также глубина зоны газового выветривания.

* ΔJ характеризует степень нарушенности угольного пласта по скорости поглощения йода углем из раствора

Несмотря на то, что расстояние между положением границы зоны газового выветривания и минимальной глубиной выбросов песчаников составляет 500-750 м идентичный характер их зависимости от выхода летучих веществ указывает на наличие связи выбросоопасности с газоносностью песчаников.

Важнейшей характеристикой песчаника, как коллектора газа, является открытая пористость. Выбросоопасные и неопасные песчаники существенно отличаются по пористости.

Средние значения степени заполнения пор газом выбросоопасных и неопасных песчаников существенно различаются. Поры неопасных песчаников заполнены газом на 20-30%, а опасных на 60-70% при значениях открытой пористости песчаников 5-7% и соответственно 70-80% при пористости 9-11%.

При содержании сорбированной влаги в песчаниках, равной 2,0-2,5% выбросы в них не происходят. Вся влага превышающая сорбционную влагоемкость песчаников находится в порах в свободном состоянии. Увеличение свободной влаги в песчаниках снижает в нем степень заполнения пор газом. Поэтому для оценки выбросоопасности песчаников рационально использовать комплексное значение этих показателей, представленное следующим неравенством, описывающим невыбросоопасную ситуацию:

$$P(I - K) - B > 0 \quad (4.45)$$

где P – пористость песчаников, %;

K – степень заполнения пор газом в долях от пористости песчаника. Например, при степени заполнения пор газом равной 60%, $K=0,6$;

В – сорбционная влагоемкость песчаника, %.

В песчаниках, залегающих в зоне расположения углей марки Д, выбросы породы и газа не происходят вследствие низкой газоносности песчаников и высокой влажности. Влажность песчаников в зоне залегания углей марки Д составляет 10-15%. С увеличением степени метаморфизма песчаников влажность уменьшается. В районах развития углей марок Ж-К влажность песчаников не превышает 2%.

В песчаниках, залегающих в зонах расположения углей марок ОС, Т, А, выбросы песчаников и газа не происходили. В зонах залегания углей высокой степени метаморфизма метаноемкость песчаников снижается, а содержание влаги возрастает. Указанное изменение свойств и состояние песчаников в зонах залегания высокометаморфизированных углей, очевидно, является основной причиной отсутствия в них выбросов.

Горное давление и газоносность являются основными энергетическими параметрами выбросов. Их значения на минимальной глубине выбросов могут быть приняты в качестве критических для оценки выбросоопасности пород. В этой связи в породах, залегающих ниже минимальной глубины выбросов, определение горного давления и газоносности, нецелесообразно вследствие того, что на глубинах больших минимальной глубины выбросов горное давление и газоносность будут постоянно иметь выбросоопасные значения. Для оценки выбросоопасности песчаников по факторам горного давления и газоносности достаточно располагать данными о том

выше или ниже минимальной глубины выбросов располагаются песчаники.

Таким образом, основными наиболее информативными показателями для оценки выбросоопасности песчаников являются: степень метаморфизма угля в зоне залегания песчаника, минимальная глубина выбросов, пористость, влажность, деформационные свойства, степень заполнения пор газом.

Установлено [57], что количество микровключенного газа в слоях имеет хорошую корреляционную связь с целым комплексом показателей, характеризующих выбросоопасные зоны, и может быть использовано в качестве критерия прогноза выбросоопасности. Внезапные выбросы калийных солей приурочены к следующим типам геологических нарушений:

- резкое погружение пласта вниз;
- полное или частичное замещение слоев каменной соли и сильвинита глинисто-карналитовыми породами;
- выклинивание пласта;
- увеличение или уменьшение мощности продуктивных слоев пласта;
- зоны разрывов межпластовой каменной соли;
- зоны антиклинальных складок карналитового пласта.

Эти признаки являются основными при прогнозе выбросоопасных зон по геологическим признакам.

Экспериментально в шахтных условиях было установлено свойство, характерное для всех выбросоопасных пород, которое заключается в том, что во время бурения керновых скважин в выбро-

соопасных зонах, керн разрушается на диски [32, 49, 57]. Характерными признаками разрушения керна в выбросоопасных зонах являются:

- наличие дисков выпукло-вогнутой формы, при этом выпуклость дисков направлена в сторону забоя скважины;
- плоскости, секущие керн на диски, перпендикулярны к оси скважины;
- керн делится на диски, длина которых меньше диаметра керна;
- на отдельных участках керна могут быть столбики, которые чаще всего опоясываются по всему периметру керна кольцевыми трещинами;
- особенностью кольцевых трещин, образованных на керне, является то, что плоскость, совпадающая с периметром трещин, сечет керн перпендикулярно оси скважины.

Согласно [31] в песчаниках установлены:

- тенденция к уменьшению интенсивности дискообразования при переходе от русловых фаций к подводным выносам рек, прибрежно-морским и лагунным песчаникам, что свидетельствует по мнению авторов о возможной связи дискообразования с выбросоопасностью, т.к. более склонны к выбросам песчаники русловых фаций и менее прибрежно-морские;
- тенденция уменьшения толщины дисков в песчаниках, залегающих в зонах распространения углей марок Ж и К по сравнению с зонами распространения углей марок Г, ОС и Т;
- связь между интенсивностью дискообразования, структурой и составом песчаников. При увеличении содержания кварца в пес-

чанике интенсивность дискообразования возрастает. Глинисто-слюдистые минералы снижают интенсивность дискообразования. На дискообразование существенное влияние оказывает протяженность контактов зерен минералов. При увеличении протяженности контактов зерен толщина дисков уменьшится;

- зависимость толщины дисков, образующихся при бурении керновых скважин в выбросоопасных зонах, от величины напряжений в массиве горных пород. При увеличении радиальных напряжений толщина дисков уменьшается, уменьшается толщина дисков и при уменьшении осевых напряжений.

Приведенные результаты исследований по мнению авторов свидетельствуют о том, что на процесс дискообразования керна оказывают влияние те же природные факторы, которые оказывают влияние на выбросоопасность пород. Это позволило предположить, что совпадение участков в выбросоопасных породах, на которых при бурении керновых скважин керн делится на диски с выбросоопасными зонами не случайно и явление разделения керна на диски может быть показателем выбросоопасности в зонах, в которых влажность не превышает 2,0%.

4.11.4.2 Способ прогноза выбросоопасности песчаников

Прогноз выбросоопасности песчаников осуществляется в несколько этапов. На первом этапе устанавливается степень метаморфизма угля в зоне расположения исследуемого песчаника. Песчаник в зоне залегания углей марок Д, Т и А относится к невыбросоопасным.

На втором этапе исследуется выбросоопасность песчаника по глубине расположения его, т.е. по факторам горного давления и газоносности. Если исследуемый песчаник расположен выше минимальной глубины выбросов - он относится к невыбросоопасным, независимо от степени метаморфизма угля, залегающего в зоне расположения песчаников.

На третьем этапе, если песчаник располагается в зоне залегания углей марок Г, Ж, К и ОС на глубине большей минимальной глубины выбросов, то дальнейшая проверка выбросоопасности осуществляется по соотношению пористости, степени заполнения пор газом и влажностью в соответствии с неравенством (4.45).

Если левая сторона неравенства больше «0» песчаник относится к невыбросоопасному. Если левая сторона неравенства меньше «0» к потенциально выбросоопасным. Общая оценка выбросоопасности может осуществляться с применением ЭВМ по специально разработанной программе.

Если по общей оценке песчаник классифицируется как выбросоопасный, его выбросоопасность уточняется в процессе проведения горных выработок, путем применения текущего прогноза выбросоопасных зон.

4.11.4.3 Способ прогноза выбросоопасных зон в породах по делению кернов на диски

Этот способ прогноза применяется для прогнозирования выбросоопасных зон в песчаниках и калийных солях.

Наличие и расположение выбросоопасных зон в породах устанавливается текущим прогнозом по делению кернов на диски или разрушению его до состояния песка при бурении керновых скважин в направлении проведения горных выработок. Определение показателей выбросоопасности при прогнозе производится непрерывно. Если на участке пробуренной скважины керн не делится на диски, порода на этом участке является невыбросоопасной. Зона в породе является опасной если керн делится на диски или разрушается до состояния песка.

Для прогноза выбросоопасных зон в породах керновые скважины располагают:

- по оси будущей выработки, если выбросоопасные породы располагаются во всем сечении выработки;
- в выбросоопасном слое пород в направлении подвигания выработки, если в сечении ее находятся выбросоопасные и невыбросоопасные слои пород, или по каждому слою, если выбросоопасность слоев неизвестна.

Из опыта строительства шахты «Красноармейская-Западная № 1» в Донбассе известно, что во влажных песчаниках в тех зонах, где керн при бурении керновых скважин делится на диски, выбросы породы и газа не происходили. Вследствие этого явление деления керна на диски в песчаниках оказалось недостаточно информативным показателем выбросоопасности.

Для повышения надежности способа прогноза выбросоопасных зон в песчаниках введен второй показатель – количество влаги в песчаниках.

По результатам исследований влияния влаги на выбросоопасность песчаников установлено, что при наличии влаги в песчаниках в количестве 2,5% и более песчаник теряет свои выбросоопасные свойства, даже в зонах, где керн делится на диски.

4.11.4.4 Прогнозирование выбросоопасных зон в калийных пластах

В калийных солях для прогнозирования выбросоопасных зон применяются акустический метод прогноза и прогноз выбросоопасности по геологическим признакам [57].

Акустический метод прогноза. Сущность метода основана на оценке выбросоопасных зон в калийных пластах по газовому фактору и заключается в том, что импульсы, получаемые при растворении навески соли, улавливаются микрофоном, преобразовываются в переменный ток и фиксируются вольтметром. На основании данных об интенсивности нарастания импульсов при растворении навески штыба в воде выделяются выбросоопасные, переходные и неопасные зоны.

Прогноз выбросоопасности по геологическим признакам. Сущность способа прогноза заключается в установлении взаимосвязи приуроченности проявления внезапных выбросов к определенным типам геологических нарушений или изменений условий залегания и фациального состава пластов.

4.12 Предотвращение выбросов угля, пород и газа

4.12.1 Общие положения

Из результатов исследования природы и механизма выбросов следует, что выброс происходит вследствие трансформирования в работу разрушения потенциальной энергии упругого деформирования угольного пласта и пород, высвобождающейся при нарушении их равновесного состояния и переходе из объемного в одно- или двухосное напряженное состояние во время отторжения угля или пород от массива и энергии газа, содержащегося в угольном пласте или породе и выделяющегося во время их разрушения при выбросе, в работу перемещения разрушенного угля или породы по выработке.

В работу разрушения трансформируется только та часть высвобождающейся энергии упругого деформирования массива горных пород, которая реализуется в упругих деформациях.

Величина энергии, реализующейся в упругих деформациях, зависит от скорости изменения напряженного состояния призабойной части массива горных пород, при их отторжении.

Следовательно, для предотвращения выбросов необходимо в выбросоопасных зонах изменить соотношение между величиной энергии, высвобождающейся в призабойной части угольных пластов и пород при их отторжении, и величиной работы их разрушения, а также величиной энергии газа, содержащегося в угольных пластах и породах, и работой их перемещения таким образом, чтобы трансформирующаяся в работу разрушения энергия упругого

деформирования угольного пласта и пород, и в работу перемещения разрушенных выбросом угля и породы, энергия газа, были меньше соответственно величин работы разрушения и работы перемещения разрушенных выбросом угля и породы т.е. обеспечить следующие энергетические условия в призабойной части угольного пласта или пород:

$$W_{упр} \cdot K_p < A_p ; W_g < A_{пер}. \quad (4.46)$$

Обеспечить такое соотношение можно:

- за счет снижения величины высвобождающейся энергии упругого деформирования в призабойной части массива горных пород при их отторжении и энергии газа в угольных пластах и породах путем разгрузки (снижения величины горного давления) и дегазации;
- повышением пластических свойств угля и выбросоопасных пород, что способствует снижению склонности угольных пластов и пород к накоплению потенциальной энергии упругого деформирования и склонности к хрупкому разрушению;
- снижением скорости изменения напряженного состояния (перехода из объемного в одно- или двухосное напряженное состояние) призабойной части угольных пластов и пород при их отторжении, что способствует рассеиванию в массиве горных пород потенциальной энергии упругого деформирования;
- варьированием горнотехническими факторами, влияющими на величину разгруженной и дегазированной зоны в призабойной части угольных пластов и пород.

Практическая реализация изложенных положений может быть достигнута:

- локальной или региональной разгрузкой и дегазацией угольных пластов и пород путем образования разгрузочных щелей и полостей, а также предварительной обработкой защитных угольных пластов;
- переводом выбросоопасных угольных пластов из упругого деформированного состояния в пластическое (при возможности нагнетания в них воды с поверхностно активными веществами);
- снижением скорости изменения напряженного состояния призабойной части угольных пластов и пород (перехода из объемного в одно- или двухосное напряженное состояние) путем уменьшения скорости их разрушения исполнительными органами добычных и проходческих машин;
- варьированием горнотехнических факторов, влияющих на величину разгруженной и дегазированной зоны в призабойной части угольных пластов и пород путем гидрообработки призабойной части угольных пластов, управления породами кровли в очистных угольных выработках для исключения их зависания, приданием забоя выработки прямолинейной формы, регулирования скорости подвигания забоев в соответствии со скоростью естественного формирования разгруженной и дегазированной зоны в призабойной части угольных пластов и пород.

4.12.2 Способы предотвращения выбросов угля, породы и газа

В связи с общностью природы и механизма выбросов угля и пород способы предотвращения выбросов в угольных пластах и породах также основываются на общих принципах.

В отдельных случаях, в связи с существенным различием физико-механических свойств угля и выбросоопасных пород, способы эффективные для предотвращения выбросов угля могут быть недостаточно эффективными для предотвращения выбросов породы.

4.12.2.1 Предотвращение выбросов угля и пород путем предварительной отработки защитных угольных пластов

Наиболее эффективным способом предотвращения выбросов угля, пород и газа является способ основанный на разгрузке и дегазации выбросоопасных угольных пластов и пород путем предварительной обработки защитных угольных пластов. Эффективность этого способа зависит от мощности защитного пласта, расстояния от защищаемых угольного пласта или породы до защитного пласта, состава пород между пластами, способа управления кровлей на защитном пласте.

Основными параметрами способа являются: величина опережения защитным пластом защищаемого угольного пласта или забоев выработок, проводимых под защитой, размеры защищенной зоны, расстояние от защитного пласта до защищаемого или до выработок, проводимых под защитой [36, 56].

Параметры предварительной отработки защитных пластов для предотвращения выбросов угля в очистных выработках и при проведении выработок по выбросоопасным угольным пластам и породам принимаются согласно [36].

4.12.2.2 Предотвращение выбросов угля и пород образованием разгрузочных щелей и полостей

Предотвращение выбросов угля и породы путем образования разгрузочных полостей и щелей основано на разгрузке и дегазации призабойной части угольных пластов и пород [8, 18, 19, 20, 21, 46]. Разгрузочные щели и полости для предотвращения выбросов угля могут образовываться как непосредственно в угольном пласте, так и во вмещающих угольный пласт породах, а для предотвращения выбросов пород как непосредственно в выбросоопасных породах, так и в породах, расположенных вблизи выбросоопасных пород.

Образование разгрузочных щелей и полостей во вмещающих породах гарантирует предотвращение выбросов в процессе их образования.

При образовании разгрузочных щелей непосредственно в выбросоопасном угольном пласте предотвращение выбросов в процессе их образования обеспечивается регулированием скорости подвигания и положением исполнительного органа щелеобразующей машины [21].

Процесс образования разгрузочных полостей и щелей хорошо вписывается в технологию очистных и подготовительных работ.

В очистных выработках разгрузочная щель образуется непосредственно в угольном пласте по всей длине лавы, а в подготовительных выработках по ширине выработки.

При проведении выработок по выбросоопасным угольным пластам смешанными забоями комбайнами избирательного действия разгрузочные полости могут образовываться путем предварительной выемки в забое выработки вмещающих пород [18, 20].

При проведении выработок по выбросоопасным породам щель может образовываться по контуру выработки или располагаться горизонтально в сечении выработки. Щели могут образовываться механическим способом или с помощью невзрывчатых разрушающих веществ.

После образования разгрузочной щели в выработке, проводимой по выбросоопасным породам, производится бурение, заряджание и взрывание шпуров для разрушения породного массива. При этом длина шпуров должна быть на 0,3 м меньше глубины щели. Параметры разгрузочных щелей принимаются согласно [36].

Описанная технология отличается от технологии проведения выработок в обычных условиях только дополнительными работами, связанными с образованием разгрузочной щели. Дополнительные затраты на образование разгрузочной щели компенсируются предотвращением выбросов породы и газа, и, как следствие этого, отсутствием необходимости выполнения работ по ликвидации последствий выбросов; ликвидацией переборов породы при образовании щели по контуру выработки; наличием второй обнаженной по-

верхности, значительно улучшающей технико-экономические показатели буровзрывных работ.

4.12.2.3 Предотвращение выбросов при проведении выработок по выбросоопасным породам комбайнами роторного типа

Предотвращение выбросов при проведении выработок по выбросо-опасным породам комбайнами роторного типа достигается путем разрушения породы в выбросоопасных зон исполнительным органом комбайна только по контуру забоя выработки и регулирования скорости разрушения массива горных пород.

Для обеспечения разрушения породы только по контуру забоя при проведении выработки по выбросоопасным породам исполнительный орган комбайна должен иметь полусферическую форму со стрелой прогиба полусферы, равной не более 0,2 его диаметра. Увеличение стрелы прогиба исполнительного органа комбайна приведет к тому, что порода будет разрушаться исполнительным органом по всему забою, что может при определенной скорости разрушения вызвать выброс.

4.12.2.4 Предотвращение выбросов бурением дренажных шпуров и скважин

В качестве локальных способов предотвращения выбросов могут применяться дренажные скважины и шпуры. Дренажные скважины и шпуры могут применяться для предотвращения выбросов в угольных пластах и калийных солях. При этом со стороны забоя выработки в направлении ее проведения для разгрузки и дега-

зации призабойной части угольного пласта бурятся скважины длиной 10-15 м и диаметром 150-250 мм [36], а в калийных солях дренажные шпуры вкрест простирания пласта [57].

4.12.2.5 Предотвращение выбросов угля и пород путем гидрообработки выбросоопасного массива

Для предотвращения выбросов угля и калийных солей применяют способы, основанные на гидрообработке угольных и калийных пластов.

Для реализации этого способа со стороны забоя по углю бурят скважины длиной 4-8 м и диаметром 43 мм. Затем скважины герметизируются и в них нагнетается вода под давлением 0,9-1,5 МПа [36]. Под давлением нагнетаемой воды происходит разрушение (рыхление) угля или калийных солей в призабойной части пласта. При этом пласт теряет в зоне рыхления несущую способность, вследствие чего, зона опорного давления перемещается в глубь массива за пределы зоны рыхления. Пласт в зоне рыхления разгружается и дегазифицируется. Для обеспечения эффективности гидрорыхления фильтрационная камера в скважине должна располагаться на участке пласта между зоной влияния выработки и зоной максимума опорного давления. При расположении фильтрационной камеры за зоной максимума опорного давления гидрорыхление не произойдет и нагнетание воды в этом случае приведет лишь к повышению напряжений и давления газа в зоне нагнетания. Нагнетание воды в зоне влияния выработки нецелесообразно потому, что эта зона раз-

гружена и дегазирована, и при нагнетании, вода будет уходить по трещинам, не производя работы рыхления.

В тех случаях, когда пробурить скважины для гидрорыхления невозможно применяют гидроотжим пласта [36]. Для гидроотжима призабойной части угольного пласта бурят со стороны забоя в направлении подвигания выработки скважины диаметром 43 мм и длиной не более 4 м.

Скважины герметизируются гидрозатворами и в них нагнетается под давлением вода. Темп нагнетания воды при гидроотжиме пласта должен быть значительно (на порядок) выше, чем при гидрорыхлении. При нагнетании воды в угольный пласт под давлением с высоким темпом происходит отрыв призабойной части пласта, разгрузка и дегазация его. Вследствие высокой скорости изменения напряженного состояния в призабойной части угольного пласта при выполнении гидроотжима могут происходить выбросы.

4.13 Внезапные выдавливания угля

При выемке угля на выбросоопасных угольных пластах наблюдаются явления, которые называют внезапным выдавливанием угля.

По внешним признакам выдавливание угля представляет собой смещение призабойной части угольного пласта в выработанное пространство. При этом по внешнему виду структура призабойной части угольного пласта не нарушена.

Проведенными исследованиями установлено, что природа и механизм выдавливания угля и внезапных выбросов угля и газа одинаковы.

Выдавливание краевой части угольного пласта в выработку является результатом проявления первого этапа внезапного выброса массового послойного раскрытия и роста микротрещин, что приводит к увеличению объема угля. Однако при выдавливании угля из-за низкой газоносности в призабойной части угольного пласта отсутствует фаза выброса – перемещение разрушенного угля по выработке.

А.Н. Ставрогин экспериментально установил эффект увеличения объема образцов плотных пород перед разрушением при испытании их в условиях трехосного неравнокомпонентного сжатия.

Энергетические условия выдавливания угля могут быть записаны следующим образом: $W_{\text{упр}} \cdot K > A_p$; $W_z < A_{\text{пер}}$.

В связи с тем, что природа и механизм внезапных выдавливаний призабойной части угольного пласта и внезапных выбросов угля и газа едины, для борьбы с ними применяются те же способы прогноза и предотвращения выбросов, что и для борьбы с внезапными выбросами угля и газа.

4.14 Контроль эффективности способов предотвращения выбросов угля и газа

При разработке выбросоопасных угольных пластов для обеспечения безопасных условий труда, согласно требований «Инструкции по безопасному ведению горных работ на пластах, склон-

ных к внезапным выбросам угля, породы и газа». – М., 1989, с. 41, необходимо контролировать эффективность противовыбросных мероприятий.

Контроль эффективности применения способов предотвращения внезапных выбросов угля и газа в Донецком бассейне осуществляется:

- для локальных способов – в соответствии с методикой текущего прогноза выбросоопасности по динамике начальной скорости газовыделения в шпур;
- для региональных способов – в соответствии с методикой сейсмо-акустического прогноза выбросоопасности, а для увлажнения с добавкой (ПАВ) – по содержанию физически связанной воды.

4.14.1 Контроль эффективности по динамике начальной скорости газовыделения

В настоящее время в Донбассе применяется способ контроля по динамике начальной скорости газовыделения [36], включающий поинтер-вальное бурение (с интервалом 0,5 м) контрольных шпуров диаметром 42 мм по угольному пласту в направлении продвижения выработки, герметизацию шпуров на каждом интервале и измерение начальной скорости газо-выделения из угольного пласта.

Контроль эффективности противовыбросных мероприятий заключается в определении величины разгруженной и дегазированной зоны в призабойной части угольного пласта. Разгруженной зоной считается призабойная часть угольного пласта от забоя до конца интервала контрольного шпура, на котором увеличение началь-

ной скорости газовыделения сменяется ее уменьшением не менее чем на 15%. Мероприятия считаются эффективными, если величина разгруженной и дегазированной зоны в призабойной части угольного пласта, определенная по динамике газовыделения, превышает глубину заходки в угольном пласте, вынимаемой за один рабочий цикл, не менее чем на 1,0 м. Во время выполнения контроля эффективности противовыбросных мероприятий все другие виды работ в данном забое запрещаются [36].

4.14.2 Автоматизированный контроль эффективности выполнения противовыбросных мероприятий

Эффективность воздействия на пласт тех или иных способов предотвращения выбросов определяется степенью разгрузки и дегазации угольного пласта. Выполнение противовыбросных мероприятий в угольном пласте эффективно в том случае, если количество газа, оставшегося в угольном пласте после выполнения противовыбросных мероприятий (X_o) будет меньше, чем газоносность на минимальной глубине выброса ($X_{кр}$).

Таким образом, оценка эффективности противовыбросных мероприятий сводится к определению оставшейся газоносности в обработанной противовыбросным мероприятием части угольного пласта (X_o) и к сравнению ее с критической величиной газоносности на минимальной глубине выброса для конкретного пласта ($X_{кр}$).

Условие эффективности мероприятий записывается в виде неравенства:

$$X_o < X_{кр} \quad (4.47)$$

Оставшаяся газоносность определяется по формуле:

$$X_o = \bar{X}_\phi - X_{в.уд.}, \quad (4.48)$$

где X_ϕ – средняя фактическая газоносность пласта на участке, обрабатываемом противовыбросными мероприятиями;

$X_{в.уд.}$ – количество выделившегося при выполнении противовыбросных мероприятий газа, отнесенное к тонне обрабатываемого угольного массива.

В связи с тем, что противовыбросные мероприятия выполняются в призабойной зоне угольного пласта, где газоносность распределена не равномерно и практически изменяется от забоя вглубь угольного пласта от нулевых значений до значений, равных природной газоносности пласта, средняя фактическая газоносность $\bar{X}_\phi$ для участка угольного пласта, на котором выполняются противовыбросные мероприятия, определяется экспериментальным путем с помощью устройства УГБ с существующей методикой [42] и рассчитывается по формуле:

$$X_\phi = \left(\frac{2X_2 + \bar{X}_n}{2} + \Sigma_3^{n-1} \cdot X_i \right) \cdot \frac{1}{\ell} + X_{ост.}, \quad (4.49)$$

где X_2 – газоносность пласта во втором интервале измерения, м³/т;

X_n – газоносность пласта в конечном интервале измерения, м³/т;

X_i – газоносность пласта в интервалах измерений, заключенных между X_2 и X_n , м³/т;

$X_{ост.}$ – остаточная газоносность пласта, м³/т;

ℓ – длина скважины, м.

Удельное количество газа, выделившегося в результате выполнения противовыбросных мероприятий $X_{в.уд.}$, определяется по динамике концентрации метана, записанной на диаграммной ленте системы АКМ, по формуле:

$$X_{в.уд.} = \frac{VS}{P} \sum_{i=1}^n \frac{C_i - C_o}{1 - C_i} \cdot t_i, \quad (4.50)$$

где V – скорость движения воздуха по выработке, м/мин.;

S – сечение выработки, м²;

P – масса угля, обрабатываемого противовыбросными мероприятиями, т;

C_i – концентрация метана в i -м интервале, %;

t_i – продолжительность выполнения противовыбросного мероприятия в i -м интервале, мин.;

C_o – фоновая концентрация, метана, %.

Масса угля, обработанная противовыбросными мероприятиями, определяется по формуле:

$$P = \ell_{скв} \cdot \omega t, \quad (4.51)$$

где $\ell_{скв}$ – глубина скважины для выполнения противовыбросных мероприятий, м;

t – мощность пласта;

ω – ширина угольного пласта, обработанного противовыбросными мероприятиями, м.

Показатели C_i , C_o , t_i определяются по концентрации метана и времени регистрируемых аппаратурой системы АКМ.

Скорость поступающего в выработку воздуха, определяется по данным аппаратуры ИСВ-1 или АПТВ, а сечение выработки S

по паспорту проведения. Оценка эффективности противовыбросных мероприятий осуществлена на ЭВМ по специально разработанной программе. Для оценки эффективности выполнения противовыбросных мероприятий в ЭВМ должны поступать данные о величине показателей P , C_b , t_b , $\bar{X}_\phi$, $X_{кр}$, V , S , C_o . Параметры P , $\bar{X}_\phi$, $X_{кр}$, S практически являются постоянными величинами для конкретной выработки и вводятся в ЭВМ заранее. Параметры C_b , C_o , V , t_b постоянно регистрируются аппаратурой системы АКМ и ИСВ-1 (АПТВ) и вводятся в ЭВМ по сигналу системы, контролирующей включение и выключение оборудования для выполнения противовыбросных мероприятий или по сигналу системы, контролирующей включение и выключение оборудования для выполнения противовыбросных мероприятий или по сигналу оператора, если мероприятия выполняются пневматическим оборудованием.

Заключение об эффективности противовыбросных мероприятий выдается ЭВМ в виде распечатки.

Контроль эффективности региональных способов предотвращения выбросов: сейсмоакустический и по содержанию физически связанной воды, выполняется в соответствии с [36].

ГЛАВА 5. ГОРНЫЕ УДАРЫ

5.1 Горно-геологические условия проявления горных ударов

В некоторых горнодобывающих районах мира горные удары известны с первой половины XVIII века.

Горно-геологические условия проявления горных ударов, их природа и механизм изучены довольно подробно и освещены в технической литературе [2, 54, 55, 56].

Горные удары происходили на медных, золотых, никелевых и других рудниках, на соляных и угольных шахтах, в угольных пластах и различных горных породах. На Украине горные удары происходят при разработке угольных пластов. Угольные пласты и массивы горных пород, опасные по горным ударам, иногда бывают газонасыщенными.

Горные удары носят характер крупных аварий и существенно влияют на безопасность труда и в целом на производственную деятельность предприятия.

Горные удары происходят как при непосредственном воздействии на краевую часть массива горных пород, так и при отсутствии непосредственного воздействия. *Горный удар представляет собой быстро протекающее разрушение целика, краевой части угольного пласта или массива горных пород*, сопровождающееся смещением значительного количества угля или породы в подземные выработки, нарушением крепи, смещением машин, механизмов, оборудования и газовыделением, при разрушении газоносных угольных пластов и пород.

Признаками горных ударов являются разрушение угольных пластов или горных пород со смещением их в выработки, сопровождающееся образованием большого количества пыли, резким звуком и воздушной волной, сотрясением массива, а также наличие щели между угольным пластом и породами кровли.

Результаты исследований по проблеме горных ударов показали, что **условия проявления горных ударов** определяются следующими горно-геологическими и горнотехническими факторами:

- наличием мощных и крепких слоев пород, залегающих в почве и кровле, разрабатываемых угольных пластов или пород;
- высокой крепостью и упругостью удароопасного массива горных пород;
- глубиной горных работ;
- ведением горных работ с оставлением целиков;
- ведением горных работ под целиками;
- изрезанностью массива горных пород выработками;
- применением камерных и камерно-столбовых систем разработки;
- ведением работ встречными забоями;
- отработкой целиков.

Из анализа условий проявления горных ударов следует, что они происходят в зонах концентрации напряжений, возникающих в результате перераспределения при ведении горных работ, горного давления или наложения нескольких зон опорного давления в угольных пластах и породах, обладающих высокими упругими свойствами и склонными к хрупкому разрушению.

Согласно результатам исследований [2, 54, 55, 56], горные удары в угольных пластах, и в других горных породах имеют единую природу и механизм разрушения.

В настоящей монографии рассматриваются только горные удары в угольных пластах.

5.2 Физико-механические свойства удароопасных угольных пластов

Из опыта ведения горных работ на выбросоопасных угольных пластах в Донбассе известно, что выбросоопасные угольные пласты могут быть одновременно и удароопасными. Поэтому результаты исследования физико-механических свойств выбросоопасных и невыбросоопасных угольных пластов и их различия могут быть в определенной степени отнесены и к удароопасным угольным пластам.

Согласно результатам исследования физико-механических свойств удароопасных и неудароопасных угольных пластов, удароопасные пласты отличаются от неудароопасных высокими упругими свойствами, определяющими склонность удароопасных угольных пластов к накоплению потенциальной энергии упругого деформирования и склонностью к хрупкому разрушению.

В [55] приведены результаты натурных испытаний угольных пластов, опасных по внезапным выбросам угля и газа, выполненных в Донбассе, из которых следует, что чем меньше процент остаточных деформаций по отношению к общей деформации, тем более хрупким является разрушение угольного пласта. Аналогичными натурными исследованиями, проведенными на удароопасных

угольных пластах в Кизилевском бассейне установлено, что пласты, на которых происходят горные удары, при нагружении их нагрузками до 80% от разрушающих имеют более 50% упругих деформаций. Характер деформирования опасных и неопасных, по горным ударам, угольных пластов приведен на рис. 5.1, 5.2 [55].

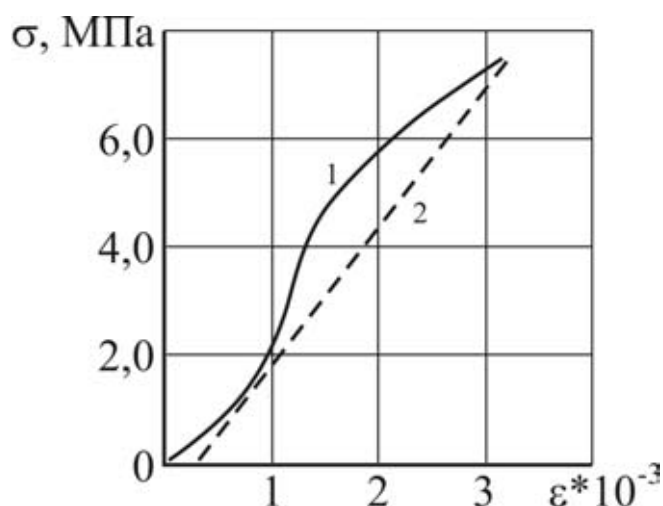


Рис. 5.1. Характер деформирования удароопасного угольного пласта
1 – при нагружении; 2 – при разгрузке

Таким образом, основной отличительной физико-механической характеристикой удароопасных угольных пластов являются высокие упругие свойства.

5.3 Напряженное состояние удароопасных угольных пластов

Согласно результатам исследований распределения горного давления на удароопасных угольных пластах, приведенным в [55, 54], очагами горных ударов являются места повышенной концентрации напряжений (потенциальной энергии упругого сжатия массива горных пород). Такими местами, как правило, бывают краевые

части, целики и особенно выступающие участки угольных пластов, называемые зонами опорного давления.

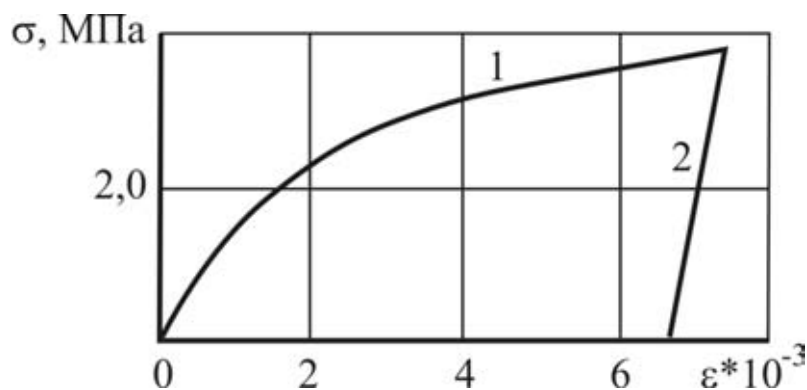


Рис. 5.2. Характер деформирования неудароопасного угольного пласта
1 – при нагружении; 2 – при разгрузке

Зоны опорного давления состоят из двух частей: краевой части, в которой угольный пласт находится в предельно напряженном состоянии, и части, гораздо большей по размерам, где предполагается, что угольный пласт находится в упругом состоянии.

Ширина зоны опорного давления зависит от глубины разработки, мощности и угла падения разрабатываемого пласта, прочности угля и боковых пород. Зависимость ширины зоны опорного давления от глубины разработки и мощности пласта, приведена на рис. 5.3 [55].

Максимальные нагрузки в зоне опорного давления располагаются обычно на расстоянии, равном 2-5 мощности пласта впереди очистного забоя.

Характер распределения нагрузок в зоне опорного давления показан на рис. 5.4 [55].

Распределение нагрузок в зоне опорного давления на участке пласта с упругим состоянием описывается следующим уравнением:

$$\sigma_y = \gamma H + Ce^{-\alpha x}, \quad (5.1)$$

где σ_y – нормальное давление на контакте с пластом, находящем-

ся в упругом состоянии, МПа;

H – глубина разработки, см;

C – постоянная;

α – постоянная, $\alpha > 0$;

X – расстояние от края пласта, см;

γ – объемный вес породы, кг/см³.

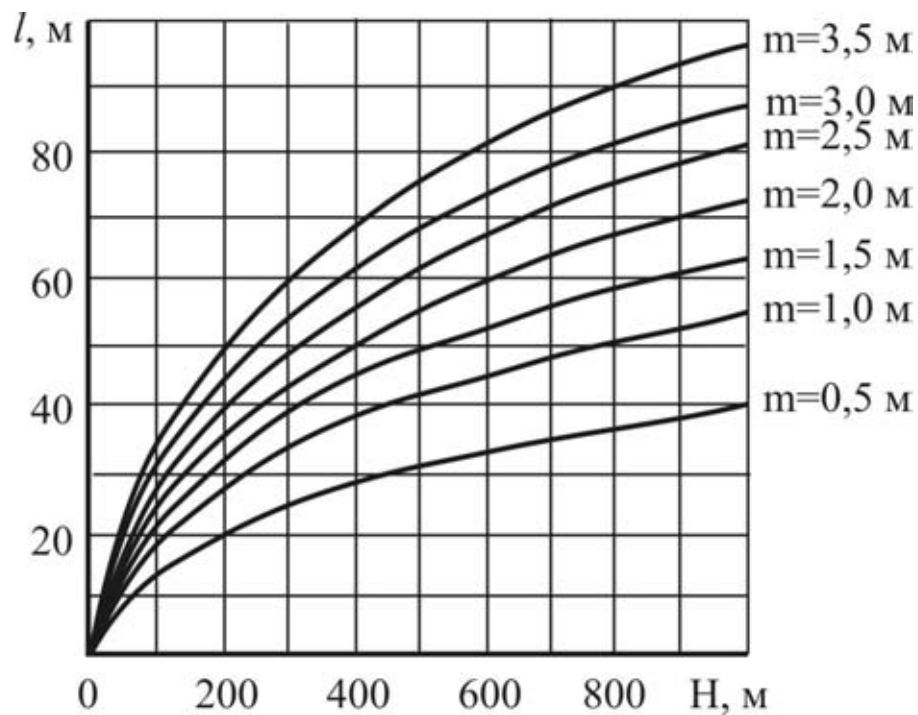


Рис. 5.3. Зависимость ширины зоны опорного давления (l) от глубины разработки (H) и мощности пласта (m)

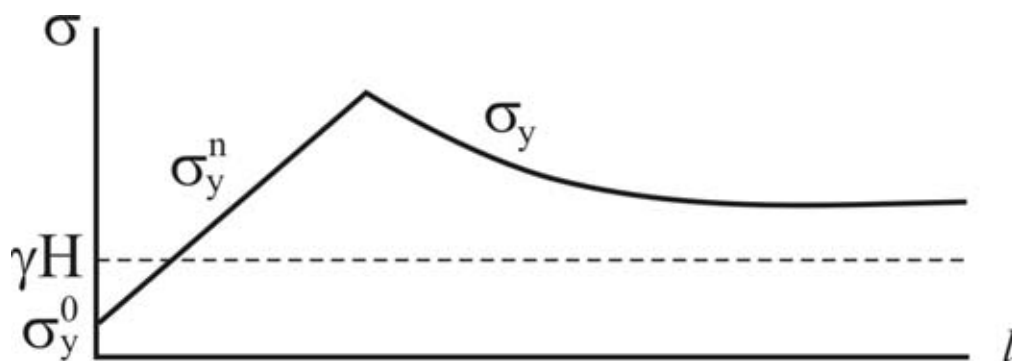


Рис. 5.4. Распределение напряжения в краевой части удароопасного пласта

Распределение нормального давления на контакте кровли и участка пласта, находящегося в предельно напряженном состоянии (σ_y^n) описывается следующей формулой:

$$\sigma_y^n = \sigma_y^o \cdot \left(1 + \frac{2X}{\pi h}\right), \quad (5.2)$$

где σ_y^o — временное сопротивление сжатию края пласта угля, МПа;

h — половина мощности пласта угля, см.

Следовательно, непосредственно у забоя в краевой части удароопасного угольного пласта напряжение ниже, чем в нетронutom массиве, затем они возрастают по мере удаления от забоя, достигают максимума, после чего снижаются до уровня напряженного состояния в нетронutom массиве.

Таким образом, характер распределения напряжений в удароопасных угольных пластах аналогичен характеру распределения напряжений в выбросоопасных угольных пластах. Абсолютная величина напряжений в удароопасных зонах угольных пластов опре-

деляется условиями перераспределения напряжений при ведении горных работ, а также наличием зон опорного давления.

В выступающих участках угольного пласта или в целиках может происходить наложение нескольких зон опорного давления.

Размеры зоны опорного давления, величина концентрации напряжений в ней не стабильны и изменяются от времени, характера и степени воздействия производственных процессов на угольный пласт.

Анализ напряженного состояния удароопасных угольных пластов показывает, что источником энергии реализующейся в работу разрушения при горных ударах, как и при выбросах, является потенциальная энергия упругого деформирования угольного пласта, возникающая под влиянием горного давления, величина которой может быть подсчитана по известным формулам теории упругости.

Высвобождаемая при горных ударах потенциальная энергия упругого деформирования, как при выбросах, реализуется в упругих и неупругих деформациях. Поскольку горный удар – это хрупкое разрушение предельно напряженной краевой части угольного пласта или целика, то разрушение происходит за счет трансформирования в работу разрушения той части высвобождающейся потенциальной энергии, которая реализуется в упругих деформациях.

Соотношение между величиной потенциальной энергии упругого деформирования массива горных пород, реализующихся в упругих и неупругих деформациях определяется скоростью изменения напряженного состояния краевой части угольного пласта во время взаимодействия на нее или в процессе горного удара. Чем

выше скорость изменения напряженного состояния в краевой части угольного пласта при ее отторжении, тем большая часть высвобождаемой энергии упругого деформирования будет реализоваться в упругих деформациях и тем больше будет вероятность горного удара.

5.4 Механизм разрушения массива горных пород при горных ударах

Из практики ведения горных работ известно, что горные удары происходят как при отторжении краевой части угольного пласта так и при отсутствии какого-либо непосредственного воздействия на нее, а при увеличении напряжений в угольном пласте вследствие перераспределения горного давления в массиве горных пород.

Прочность массива горных пород в объемном напряженном состоянии зависит от соотношения компонент напряжений и всегда выше, чем при одноосном напряженном состоянии, а в равнокомпонентном поле напряжений массив горных пород практически не имеет предела прочности.

Таким образом, можно сделать вывод, что разрушение угля при горных ударах, как и при выбросах, происходит при достижении компонентами напряжений определенных соотношений и по абсолютной величине значительно превышающих предел прочности угольного пласта, при одноосном сжатии.

Тот факт, что горные удары бывают как при отторжении краевой части пласта, так и при отсутствии непосредственного воздействия на нее указывает, что изменение компонент напряжений в

массиве горных пород может происходить как за счет уменьшения одной из компонент напряжений (например, при отторжении краевой части угольного пласта), так и путем увеличения одной из компонент напряжений (например, при увеличении напряжений в целиках за счет наложения нескольких зон опорного давления). Для проверки изложенных положений о механизме разрушения угольных пластов при ударах были выполнены исследования в лабораторных условиях. Исследования проводились на установке, позволяющей создавать неравно-компонентное объемное напряженное состояние. Установка приведена на рис. 4.33. При исследованиях изучался характер разрушения угля из удароопасных угольных пластов как при увеличении одной из компонент напряжений, так и при уменьшении одной из них. На первом этапе исследовалось разрушение удароопасного угля при увеличении одной компоненты напряжений. Была принята при экспериментах следующая схема нагружения $\sigma_1 K = \sigma_2 = \sigma_3$, где $K = \frac{\mu}{1 - \mu}$ - коэффициент бокового отпора, μ - коэффициент Пуассона.

Во время опытов σ_2 и σ_3 изменяли ступенями, равными 0,1 МПа. Напряжение σ_1 на каждой ступени доводили до величины $\sigma_1 = \sigma_2 K = \sigma_3 K$. При соотношении компонент напряжений, имеющем место в реальном массиве, т.е. $\sigma_1 K = \sigma_2 = \sigma_3$ разрушение образца не происходило. Затем, при неизменных σ_2 и σ_3 , увеличивали σ_1 до разрушающих значений. Разрушение образца на всех сту-

пенях нагружения происходило при соотношении компонент

$$\frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{\sigma_3}{\sigma_1} = 0,05 - 0,06.$$

Экспериментальные работы по изучению условий, при которых возникает разрушение ударноопасного угля при уменьшении одной компоненты напряжений выполнялись в следующей последовательности. Первоначально производилось нагружение образца по схеме $\sigma_1 K = \sigma_2 = \sigma_3$ соответствующей состоянию нетронутого массива. При этом σ_2 и σ_3 не менее чем в 2 раза превышали предел прочности образца при одноосном сжатии. При таком напряженном состоянии образцы не разрушались. Затем устранялась одна из компонент напряжений (σ_1). Устранение одной из компонент сопровождалось разрушением образца. Следовательно, разрушение происходило при переходе напряженного состояния из объемного в двухосное вследствие устранения третьей компоненты.

Образец разрушался на кусочки различной формы и размеров.

Таким образом, результаты лабораторных исследований подтверждают достоверность изложенных положений о механизме разрушения массива горных пород при горных ударах.

Как показали результаты лабораторных исследований разрушения удароопасных углей, условия их разрушения аналогичны условиям разрушения углей при выбросах, т.е. разрушение происходит при переходе из объемного напряженного состояния в напряженное состояние близкое к одно- или двухосному напряженному состоянию. Однако гранулометрический состав разрушенного угля из выбросоопасной и из удароопасной зон как при экспери-

ментах, так и в реальных условиях при выбросах и горных ударах существенно различается. В лабораторных условиях уголь из выбросоопасной зоны при устранении одной из компонент напряжений, так же как и при выбросах в шахте, разрушался практически до состояния пыли, в то время как уголь из удароопасного пласта, так же как и при горных ударах, разрушался на кусочки различных размеров.

Существенные различия в характере разрушения (гранулометрического состава разрушаемых угля и пород) при выбросах и горных ударах являются следствием того, что при выбросах происходит разрушение угольного пласта и пород, с нарушенной структурой угля.

Что же касается газа, который может содержаться в удароопасных угольных пластах, то он при горных ударах так же как и при выбросах практически не участвует в разрушении угля. При горном ударе так же как и при выбросе в процессе разрушения угля успевает выделиться только свободный газ. Но вследствие низкой степени измельчения угля при горных ударах свободный газ, который может содержаться в удароопасных угольных пластах, во-первых, не может выделяться из угля с такой скоростью и в таком количестве, как при выбросах, и во-вторых, учитывая незначительное количество свободного газа, выделяющегося из угля непосредственно во время горного удара и гранулометрический состав угля, разрушенного при горном ударе, газ не может выполнять ту же функцию, что при выбросе, т.е. перемещать уголь по выработкам, и следовательно, существенной роли при горном ударе не играет.

5.5 Принципы прогноза и предупреждения горных ударов в угольных пластах

Исследования природы и механизма разрушения удароопасного угля показали, что источником энергии, которая трансформируется в работу разрушения при горных ударах, как при выбросах, является потенциальная энергия упругого деформирования угольного пласта, а разрушение угля при горных ударах происходит также при переходе из объемного напряженного состояния в напряженное состояние близкое к одно- или двухосному.

Удароопасность угольных пластов является следствием расположения их в зонах с высокой концентрацией напряжений, склонности к накоплению потенциальной энергии упругого деформирования и к хрупкому разрушению, которые определяются упругими свойствами угля.

Изложенные положения и предопределяют принципы прогноза и борьбы с горными ударами.

Поскольку удароопасность определяется напряженным состоянием угольного пласта, его склонностью к накоплению потенциальной энергии упругого деформирования угля и склонностью к хрупкому разрушению, прогнозирование удароопасности основывается на определении этих показателей.

Способы борьбы с горными ударами, учитывая, что источником энергии, которая трансформируется в работу разрушения при горных ударах, является потенциальная энергия упругого деформирования угольного пласта, должна быть основана на разгрузке (снижении напряжений) угольного пласта.

Основные принципы предотвращения горных ударов заключается в следующем:

- снижение горного давления в угольных пластах путем соответствующей раскройки и отработки шахтных полей;
- снижение способности краевых частей массива горных пород к упругому деформированию и накоплению больших запасов потенциальной энергии путем изменения их физико-механических свойств.

5.6 Прогноз горных ударов

Прогноз удароопасности угольных пластов предусматривает установление удароопасности месторождения; прогноз степени удароопасности отдельных участков угольных пластов.

5.6.1 Установление удароопасности месторождения

Установление удароопасности месторождения предусматривает: выявление признаков удароопасности, определение напряженного состояния угольных пластов, определение их упругости и хрупкости.

5.6.1.1. Визуальный метод оценки удароопасности месторождения

Визуальными признаками, характеризующими удароопасность, являются: шелушение, интенсивное заколообразование,

стреляние, толчки, микроудары и собственно горные удары [54, 55].

Шелушение – разрушение массива горных пород по контуру выработки на отдельные пластины.

Интенсивное заколообразование – разрушение массива горных пород по контуру выработки, проявляющееся в виде заколов и продолжающееся до тех пор, пока выработка не примет устойчивую форму.

Стреляние породы – отскакивание от краевой части массива горных пород линзообразных пластин и сопровождающееся звуком похожим на выстрел.

Толчек – разрушение в глубине массива горных пород без выноса в горную выработку, сопровождающееся звуком и сейсмическим эффектом угольного пласта, сопровождающееся смещением в выработку разрушенного массива горных пород, без значительных разрушений.

Собственно горный удар – мгновенное разрушение целика или краевой части угольного пласта, сопровождающееся нарушением технологического процесса, разрушением крепи выработок и пр.

Как показал опыт применения визуального метода, он является надежным методом установления признаков удароопасности угольных пластов, необходимых для оценки удароопасности месторождения.

При наличии указанных признаков угольные пласты считаются удароопасными.

5.6.1.2 Методы оценки напряженного состояния удароопасного массива горных пород

Оценка напряженного состояния угольных пластов может производиться как по состоянию самого угольного пласта, так и по состоянию вмещающих угольные пласты пород.

В настоящее время для определения напряженного состояния массива горных пород получили распространение следующие методы.

Оценка напряженного состояния по визуальным наблюдениям за разрушением выработок. Этот метод применим в тех случаях, когда напряжения в массиве горных пород достаточно высоки и способны вызывать разрушения на контуре выработок. При этом приближенно величины напряжений оцениваются по известным значениям предела прочности на одноосное сжатие.

Данным методом решаются следующие задачи:

- оценка структуры напряжений в массиве горных пород;
- ориентировочное определение величины и направления действия наибольших напряжений в нетронутом массиве горных пород;
- качественное сравнение степени напряженности отдельных конструктивных методов.

Направление действия наибольшего главного напряжения в массиве горных пород определяют на основании положения о том, что разрушение пород на контуре выработки в поле сжимающих напряжений происходит лишь в тех местах, где действуют наибольшие сжимающие напряжения, достигающие пределы прочности массива горных пород.

Определение напряжений по толщине дисков керна.

Толщина дисков, образующихся при выбуривании кернов в хрупких породах, зависит от прочности пород, диаметра керна и величины напряжений во вмещающих горных породах.

При толщине дисков можно определить значения величин максимальных сжимающих напряжений в массиве горных пород.

При напряженном состоянии пород типа $\sigma_1 > \sigma_2 = \sigma_3 = (0,1 - 0,3) \cdot \sigma_1$ связь величины максимального сжимающего напряжения σ_t с толщиной дисков t , их диаметром d и пределом прочности пород на одноосное сжатие $[\sigma_{сж}]$ записывается в виде [55]:

$$\sigma_t = \sqrt{\frac{d}{t}} [\sigma_{сж}] [(0,54 + 0,1d) + (0,78 + 0,165\sqrt{d})] \quad (5.3)$$

Оценка напряжений по выходу буровой мелочи. При бурении скважин в массиве горных пород, на участках, на которых напряжения превышают предел прочности на одноосное сжатие в 1,7-3,5 раза, наблюдается повышенный выход буровой мелочи [55]. В этих условиях значения максимального напряжения в массиве горных пород может быть определено по формуле:

$$\sigma_{\max} = (4V_1 \cdot V_2^{-1} - 2,3) [\sigma_{сж}]; \text{ при } 1 < V_1 \cdot V_2^{-1} < 1,3, \quad (5.4)$$

где V_1 – фактический выход буровой мелочи;

V_2 – номинальный выход буровой мелочи;

$[\sigma_{сж}]$ – предел прочности на одноосное сжатие.

Определение напряжений методом разгрузки. Этот метод основан на использовании характеристик упругого восстановления

элемента массива горных пород при искусственном нарушении его связи с окружающим массивом. Сущность его заключается в замере деформаций упругого восстановления этого элемента и последующем пересчете деформаций в напряжения по формулам теории упругости.

Определение напряжений по деформациям, замеренным по реперам. Сущность метода заключается в том, что в пробуренные из горных выработок скважины вводятся реперы и закрепляются в них. По изменению расстояния между реперами при разгрузке участка массива горных пород путем образования разгрузочных щелей определяют деформации, которые по формулам теории упругости пересчитывают в напряжения.

Электрический метод оценки напряжений. Метод основан на зависимости электрического сопротивления горных пород от их напряженного состояния. При увеличении напряжений электрическое сопротивление горных пород в области упругих деформаций понижается, а при уменьшении – повышается [54, 55]. Величину напряжений можно рассчитывать по формуле:

$$\sigma_z = K_\rho \cdot \gamma H, \quad (5.5)$$

где K_ρ – параметр, равный $K_\rho = \rho_m \cdot \rho_{\min}$;

ρ_m – значение эффективного сопротивления нетронутого массива;

$\rho_{\min}$ – минимальное значение измеренного эффективного сопротивления на изучаемом участке;

γ – объемный вес пород;

H – глубина горных работ.

Сейсмический метод оценки напряжений в породах основан на изучении зависимости скорости распространения упругих волн в горных породах от уровня их напряженности. С ростом напряжений скорость распространения сейсмических волн в области упругих деформаций возрастает, а с уменьшением – снижается [54, 55].

Связь между скоростью V_i и напряжением σ_i описывается уравнением вида:

$$V_i = V_o + K \sqrt[n]{\sigma_i}, \quad (5.6)$$

где V_i и σ_i – соответственно скорость волн и напряжений по i -ому направлению;

V_o, K, n – параметры, зависящие от типа пород.

5.6.1.3 Методы оценки способности пород к накоплению потенциальной энергии и склонности к хрупкому разрушению

Метод натурных испытаний с помощью гидравлического комплекса.

Для проведения исследований в массиве горных пород подготавливаются специальные ниши сечением 0,8 x 0,5 м, в которые устанавливаются домкраты. Деформации измеряются с помощью индикаторов часового типа. Массив горных пород считается удароопасным, если упругая относительная деформация ε_y составляет от полной относительной деформации ε_n 70% и более при нагрузках, превышающих 70% от разрушающих [55], т.е.

$$K = \varepsilon_y \cdot \varepsilon_n^{-1} \cdot 100 > 70 \quad (5.7)$$

Оценка хрупкости пород по делению керна на диски. Метод заключается в анализе керна, полученного путем бурения керновых скважин. Если керн разделен на диски толщиной меньше его диаметра, порода считается склонной к хрупкому разрушению.

5.6.2 Региональный прогноз удароопасности в пределах шахтного поля

Региональный прогноз осуществляется путем анализа горно-технических условий развития горных работ в шахтном поле или постановкой специальных сейсмологических исследований, в результате которых устанавливаются районы концентрации напряжений вокруг очистных и подготовительных выработок.

После установления районов концентрации напряжений в массиве горных пород определяют степень удароопасности пород в выработках, пройденных или находящихся в проходке в этих районах.

5.6.3 Методы прогноза степени удароопасности массива горных пород

По степени удароопасности участки массива горных пород, примыкающие к выработкам, подразделяются на три категории [55]:

I категория – с повышенной опасностью проявления горного удара.

II категория – опасные по проявлению горного удара.

III категория – не представляющие непосредственной опасности проявления горного удара.

Степень удароопасности отдельных участков массива горных пород устанавливается по расстоянию до зоны максимума горного давления, определяемому с помощью следующих методов:

- по толщине дисков;
- по электрическому сопротивлению;
- по скорости прохождения сейсмических волн;
- по трещиноватости;
- по интенсивности акустической эмиссии.

5.7 Способы предотвращения горных ударов

5.7.1 Способы снижения горного давления

Раскройка месторождения на шахтные поля и порядок их отработки. При раскройке месторождения на шахтные поля и установления порядка отработки удароопасных массивов горных пород должны предусматриваться следующие мероприятия:

- управление сдвижением горных пород;
- плавное развитие мульды сдвижения;
- недопущение оставления выступающих частей шахтного поля, целиков;
- обратный или комбинированный метод отработки шахтного поля;
- полевая подготовка;
- восходящий порядок отработки полезных ископаемых;

- увязка порядка и последовательности ведения горных работ на соседних шахтных полях.

Совершенствование технологии разработки месторождения предусматривает применение комплекса региональных и локальных мероприятий по предотвращению горных ударов.

В региональных мероприятиях предусматривается: прямолинейность очистного забоя, недопущение отставания отдельных блоков от соседних, использование сплошных систем разработки, закладка выработанного пространства, использование безлюдных способов выемки.

К локальным мероприятиям относится: недопущение искривления очистного забоя, специальные формы подготовительных и очистных забоев, исключение взаимного влияния сближенных выработок.

Защитная опережающая отработка полезного ископаемого. При выемке полезного ископаемого над и под выработанным пространством происходит сдвиг пород. В породах почвы происходит упругое восстановление пород, в породах кровли кроме упругого восстановления происходит прогиб, обрушение, расслоение, трещинообразование и другие процессы в результате чего происходит разгрузка и дегазация массива горных пород, находящихся в зоне влияния выработанного пространства.

Сущность защитной опережающей отработки заключается в частичной разгрузке полезного ископаемого от первоначальных напряжений, за счет упругого восстановления пород в сторону выработанного пространства.

На расположение границ и степень защитного действия влияют ширина очистной выработки на защитном пласте, соотношение ее размеров в плане, мощность и угол падения защитного пласта, глубина разработки, стратиграфический состав подрабатываемой и надрабатываемой толщи пород.

Зона разгрузки, в пределах которой напряжения, действующие нормально к плоскости пласта, меньше соответствующих напряжений в нетронутом массиве, оконтуривается двумя полуэллипсами.

Для обеспечения предотвращения горных ударов, работы в удароопасном массиве горных пород должны вестись в пределах зоны, напряжения в которой меньше, чем на минимальной глубине, с которой возникают горные удары.

Для построения защищенной зоны в плоскости, перпендикулярной к направлению ведения горных работ, через края защитной выработки под углом 75^0 к ее плоскости проводят прямые линии в кровлю и почву. Размеры защищенной зоны составляют в сторону кровли $0,5 B$, но не более 60 м; в сторону почвы $0,4 B$, но не более 40 м (где B – ширина защитной выработки).

Очистные работы по защитному пласту должны опережать горные работы по опасному не менее, чем на мощность пород междупластья.

Выбор систем разработки. Основные требования к системам разработки удароопасных угольных пластов сводятся к тому, чтобы отработка их осуществлялась без оставления целиков и выступающих участков при минимальной изрезанности шахтного поля горными выработками.

Проведение выработок должно осуществляться за пределами зоны опорного давления при соблюдении расстояний между параллельными выработками не менее $4d$ (где d – наибольший размер поперечного сечения выработки), в присечку к заложенному выработанному пространству, а сбойка выработок должна производиться вне зоны влияния очистных работ.

Всем этим требованиям в наибольшей степени соответствует сплошная система разработки, а на мощных пластах слоевая разработка с выемкой слоев в нисходящем порядке и с обрушением кровли.

При выборе параметров системы разработки должна учитываться зависимость удароопасности целиков от их размеров.

5.7.2 Способы снижения напряжений в массиве горных пород, прилегающем к забою выработки

Основным параметром этих способов является ширина разгруженной зоны, т.е. участка призабойной зоны массива горных пород, на котором достигнуто снижение напряжения до безопасного уровня.

Ширина разгруженной зоны определяется напряженным состоянием массива горных пород, мощностью пласта, состоянием пород кровли и пр.

Разгруженная зона может быть увеличена за счет бурения разгрузочных скважин, нагнетания воды в массив горных пород, применения разгрузочных щелей.

При движущемся забое безопасность работ может быть обеспечена в том случае, когда скорость подвигания забоя не будет превышать скорость формирования безопасной зоны.

Разгрузочные скважины. Путем бурения разгрузочных скважин можно обеспечивать снижение склонности пород к накоплению потенциальной энергии, вследствие неупругого деформирования массива горных пород между скважинами.

Параметры способа:

- глубина скважин принимается исходя из технологических соображений;
- расстояние между скважинами определяется опытным путем.

Нагнетание воды. При нагнетании воды в зависимости от режима нагнетания может происходить пластификация или рыхление угольного пласта, вследствие чего снижается потенциальная энергия упругого деформирования угля в зоне нагнетания воды.

С целью предотвращения горных ударов нагнетание воды может производиться:

- в режиме увлажнения;
- в режиме гидрорыхления или гидроотжима.

ГЛАВА 6. КЛАССИФИКАЦИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ В ШАХТАХ

Большинство газодинамических явлений, происходящих в шахтах, имеют различные природу и механизм протекания и обусловлены одним или взаимодействием нескольких факторов.

В этой связи, для прогнозирования и предотвращения газодинамических явлений в шахтах применяют различные способы прогноза и борьбы с ними.

Основными природными факторами, определяющими возможность возникновения газодинамических явлений, как правило, являются гравитационные силы, наличие газа в поровом пространстве угольных пластов и пород, физико-механические свойства.

Для надежной квалификации газодинамических явлений при их расследовании и обоснованного выбора мероприятий по прогнозу и предотвращению этих явлений необходима научно обоснованная классификация, отражающая предупредительные признаки, природу и механизм, процесс протекания, возможные последствия, а также внешние признаки происшедших газодинамических явлений.

Разработанные ранее классификации газодинамических явлений не нашли практического применения, т.к. одни классификации включали не все происходящие на шахтах газодинамические явления, другие - учитывали лишь отдельные факторы, характеризующие эти явления, что не позволяло однозначно их квалифицировать.

Одной из первых была квалификация «внезапных выделений газа», разработанная А.М. Карповым [37], в которой рассматривались следующие типы явлений: собственно внезапные выделения, промежуточные явления и удар кровли. В основу этой классификации положены лишь причины их возникновения, кроме того учитывается весь диапазон динамических явлений, происходящих в шахтах.

В 1940 году МакНИИ была разработана квалификация, вошедшая в «Правила технической эксплуатации угольных шахт», согласно которой все динамические явления разделялись на следующие типы: внезапные выбросы газа и угольной мелочи; внезапное обрушение угля с попутным газовыделением; раздавливание и отжим угля, сопровождающиеся газовыделением; внезапные выделения газа, сопровождающиеся разрывом или сдвижением пород кровли или почвы; суфлярные выделения газа. В этой классификации рассматривался более широкий диапазон динамических явлений в шахтах, однако в ней учитывались лишь формальные признаки последствий этих явлений.

В квалификации предложенной В.В. Ходотом [67], рассматривается три группы явлений: внезапные прорывы газа; раздавливание, отжим, внезапное обрушение угля; внезапные выбросы угля и газа. В основу этой классификации положены силы провоцирующие эти явления. Но предложенная классификация недостаточно детальна и объединяет в одну группу явления, природа которых различна.

Л.Н. Быковым [24] была предложена квалификация внезапных выбросов угля и газа только по их интенсивности.

В основу классификаций предложенных В.Я. Ярцевым [75] и О.И. Черновым [68] положены принципы причинности газодинамических явлений. Однако эти квалификации громоздки и в значительной степени условны.

С.Г. Авершиным [2], И.М. Петуховым [54] предложена классификация горных ударов по удаленности очага удара от обнажения и месту его проявления.

В [30] предложены дополнительно критерии классификации, которые дают представление о процессе протекания явления, о длительности и характере его проявления и т.д. Однако критерии оценки вида динамических явлений в основном качественные, т.е. имеют субъективный характер.

В самой классификации выделены три класса явлений: класс газовых явлений, класс комбинированных явлений и класс явлений горного давления и десять видов динамических явлений.

Но эта классификация не нашла практического применения, т.к. она не отражает реальные условия и причины газодинамических явлений.

Наиболее полно характеризуют газодинамические явления, происходящие в шахтах «Методические указания по классификации газодинамических явлений на угольных шахтах», Донецк, МакНИИ, 1991, разработанные совместно МакНИИ, ВНИМИ, ВостНИИ, бывшим Минуглепромом СССР, Госгортехнадзором РСФСР и Укркомгортехнадзором УССР. Однако и эта классификация не

лишена некоторых недостатков. Она громоздка, т.к. изложена на 16 стр., что значительно затрудняет пользование ею, учитывает только четыре показателя, характеризующих газодинамические явления, а именно:

- факторы, определяющие подготовку и развитие выброса;
- характеристику явления и отличительные признаки;
- типичные условия возникновения;
- предупредительные признаки.

Вследствие этого она не полностью характеризует газодинамическое явление.

В предлагаемой классификации учтены недостатки разработанных ранее классификаций.

Классификация представлена в виде таблицы (табл. 6.1), в которой изложены восемь газодинамических явлений: суфляры, внезапные разрушения пород почвы, обрушения массива горных пород, сползание пород почвы на угольных пластах крутого залегания, внезапные выбросы угля и газа, выдавливание угля, внезапные выбросы породы и газа, горные удары. В классификации учтены признаки предшествующие газодинамическим явлениям, газодинамические условия возникновения этих явлений, физико-механические свойства угольных пластов и горных пород, внешние признаки происшедшего явления и место его возникновения.

В газодинамических условиях возникновения указанных явлений учитываются следующие факторы: газовые (давление газа в угольном пласте и породах P_m и давление газа в окружающей среде

Таблица 6.1. Классификация газодинамических явлений

Виды газодинамических явлений	Предупредительные признаки	Газодинамические условия возникновения газодинамических явлений			Физико-механические свойства	Признаки газодинамических явлений					Место возникновения газодинамических явлений	Поражающий фактор	Причины нарушения технологического процесса
		газовые	динамические	провоцирующий фактор		аэродинамический и сейсмоакустический эффекты	продолжительность протекания процесса (газовыделения)	направление разрушения массива горных пород	гранулометрический состав и характер расположения разрушенного массива	наличие и вид полос-тей в массиве горных пород			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Суфлярные выделения газа	Зоны тектонических нарушений или эксплуатационных трещин в массиве горных пород	$P_m > P_{атм}$	Давление сжатого газа	Вскрытие в массиве горных пород трещин и полос-тей заполненных сжатым газом горными выработками или скважинами	Не имеют определяющего значения	Воздушный толчок, опрокидывание воздушной струи	От нескольких часов до нескольких суток и даже лет	Отсутствует	Разрушение массива горных пород отсутствует	Трещины и полости тектонического или эксплуатационного происхождения	Скважины, очистные и подготовительные выработки	Газ	Загазирование выработки

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Обрушения массива горных пород	Наличие нависающего массива горных пород	Не имеют определяющего значения	Гравитационные силы	Отсутствие или недостаточная прочность крепи	Предел прочности на растяжение до 2,5 кг/см ²	Воздушный толчок, сейсмоакустический эффект	От нескольких минут до нескольких часов с возможным газовыделением	От обнаженной поверхности нависающего массива горных пород вверх в глубь нависающего массива	Крупные куски породы или угля средней крупности, расположенные под углом естественного откоса	Куполообразные полосы в нависающем массиве горных пород	Очистные и подготовительные выработки	Механическое воздействие обрушающегося угольного пласта или пород	Разрушение призабойной части угольного пласта или пород, повреждение крепи
Сползание вмещающих пород при разработке угольных пластов крутого залегания	Не наблюдаются. Слабое сцепление на контакте вмещающих пород	Не имеют определяющего значения	Гравитационные силы	Отсутствие или недостаточная прочность крепи	Предел прочности на растяжение до 2,5 кг/см ²	Сейсмоакустический эффект	От нескольких минут до нескольких часов	Снизу вверх вдоль напластования пород	Крупные куски породы, расположенные под углом естественного откоса	Неглубокие протяженные полосы по напластованиям пород	Очистные выработки	Механическое воздействие сползающей породы	Разрушение вмещающих пород, повреждение крепи в лавах

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Внезапные разрушения пород почвы	Наличие в почве выработки ниже неупругого слоя породы упругих и возможно газоносных пород, угольных пластов и пропластков	При наличии газоносных пород или $P_m > P_{атм}$	Потенциальная энергия упругого деформирования угля и горных пород, высвобождающаяся при упругом восстановлении пород почвы выработки и энергия газа	Проведение очистных и подготовительных выработок	Высокие упругие свойства пород и угольных пластов и прослоек, залегающих в почве выработки ниже неупругого слоя породы	Воздушный толчок, опрокидывание воздушной струи	Мгновенно с возможным последующим газовыделением. От нескольких часов до нескольких суток	Смещение пород почвы в выработку	Крупные куски породы с максимальным смещением в центре выработки	Полосы в разрушенных породах почвы	Очистные и подготовительные выработки	Механическое воздействие разрушенных пород; газ при наличии газоносных пластов или прослоек угля и пород в почве выработки	Нарушение крепи и оборудования, загазирование при наличии в почве выработки газоносных угольных пластов и прослоек, а также пород

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Внезапные выбросы угля и газа	Зажатие или выталкивание бурового инструмента во время бурения скважины или шпуров по угольному пласту, повышенное газовыделение в выработку, толчки, повышенное давление на призабойную крепь	$P_m > P_{атм}$ $X_{уд.выд.} > X_{прир}$	$W_{упр} \cdot K > A_{разр.}$ $W_{газ} > A_{пер.}$	Отбойка угля ручным, механизированным или буровзрывным способом, бурения скважин	IV-V степень нарушения структуры угольного пласта	Воздушный толчок, опрокидывание воздушной струи, сейсмоакустический эффект	2-20 сек.	По восстановлению, падению или протиранию пласта	Сильное измельчение угля, расположения его под углом меньшим угла естественного откоса, заполнение выработки разрушенным углем почти на полное сечение	Полость по всей мощности пласта или отдельной пачке, расположенная по восстановлению-падению или протиранию пласта	Очистные или подготовительные выработки	Механическое воздействие разрушенным углем, газ	Повреждение крепи и механизмов, разрушения призабойной части угольного пласта

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Выдавливание угля	Не наблюдаются	$P_m \geq P_{атм}$ $X_{уд.выд.} = X_{прир}$	$W_{унр} \cdot K > A_{разр.}$ $W_{газ} < A_{пер.}$	Отбойка угля ручным, механизированным или буровзрывным способом	IV-V степень нарушения структуры угольного пласта	Слабые воздушные толчки	2-10 сек.	Смещение призабойной части угольного пласта в выработку	Выдавленный угольный массив не разрушен	Полости отсутствуют	Очистные и подготовительные выработки	Механическое воздействие выдавленным углем, газ	Повреждение крепи, оборудования и призабойной части угольного пласта
Внезапные выбросы породы и газа	Разделение керна на диски, толчки во время бурения шпуров	$P_m > P_{атм}$ $X_{уд.выд.} > X_{прир}$	$W_{унр} \cdot K > A_{разр.}$ $W_r > A_{пер.}$	Отбойка породы буровзрывным или механическим способом	Пониженная прочность при бурении, крупно или среднезернистый, высокая пористость (до 11%)	Воздушный толчок, опрокидывание воздушной струи, сейсмоакустический эффект	2-6 сек.	В кровлю, почву или бока выработки	Сильное измельчение породы, заполнение разрушенной породой выработки почти на полное сечение, откос породы под углом меньшим угла естественного откоса	Полость с чешуйчатой поверхностью, расположенная в кровле, почве или боках выработки	Капитальные или подготовительные выработки	Механическое воздействие разрушенной породы, газ	Повреждение крепи, оборудования, разрушение призабойной части массива горных пород

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Горные удары	Удары, трески в угольных пластах, отскакивание частиц угля, повышенный выход штыба и зажатие бурового инструмента во время бурения шпуров и скважин	$P_m \geq P_{атм}$ $X_{уд.выд.} = X_{прир}$	$[\sigma_{сж}] < K\gamma H$	Перенапряжение угольного пласта	I-III степень нарушения целостности угольного пласта, обладающего высокими упругими свойствами и склонного к хрупкому разрушению	Воздушный толчок, сейсмоакустический эффект	2-10 сек.	От обнаженной поверхности в глубь угольного пласта	Куски угля, различной крупности	Не определяется	Целики, краевая часть угольного пласта	Механическое воздействие разрушенного угля	Повреждение крепи и механизмов, разрушение призабойной части угольного пласта

- $P_{атм}$); удельное количество газа, выделившегося во время происшедшего явления – $X_{уд.выд.}$ и природная газоносность угольного пласта или пород $X_{природ.}$; динамические – силы действующие во время протекания газодинамического явления, а именно, потенциальная энергия упругого деформирования угольного пласта или горных пород (W_y) и сжатого газа (W_g), величина работы разрушения массива горных пород и угля ($A_{разр}$), работа перемещения разрушенного угля и пород по выработке ($A_{пер}$), коэффициент – K , учитывающий рассеивание высвобождающейся потенциальной энергии при упругом восстановлении массива горных пород и зависящий от скорости изменения напряженного состояния в призабойной части угольного пласта или пород.

В признаках происшедших явлений рассматриваются: аэродинамический и сейсмоакустический эффекты, продолжительность протекания процесса, направление разрушения угольного пласта или пород, гранулометрический состав разрушенных угля и пород, наличие и вид полостей в массиве горных пород.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Газодинамические явления происходят во многих странах мира на различных глубинах при добыче полезных ископаемых подземным способом, при проведении горных выработок и тоннелей, как при непосредственном воздействии на призабойную часть угольных пластов и пород буровзрывным, механизированным или ручным способами (выбросы, горные удары и др.), так и при отсутствии непосредственного воздействия на нее (горные удары, внезапные разрушения пород почвы, обрушения).

Газодинамические явления оказывают негативное влияние на безопасность и технико-экономические показатели горных работ.

Представленные газодинамические явления могут иметь различные природу и механизм (*выбросы, горные удары, внезапные разрушения пород почвы, обрушения и др.*). В угольных пластах и породах могут также происходить газодинамические явления, имеющие единую природу и механизм (выбросы угля и газа, выбросы породы и газа, а также горные удары в угольных пластах и в различных породах). Независимо от того различные механизмы разрушения угольных пластов и пород при газодинамических явлениях или нет, общим для всех газодинамических явлений является то, что в их природе определяющую роль играют гравитационные силы. В этой связи, способы предотвращения различных газодинамических явлений базируются, как правило, на принципах разгрузки угольных пластов и пород.

Способы прогноза газодинамических явлений вследствие существенного различия физико-механических и газодинамических

свойств угля и пород, склонных к газодинамическим явлениям, могут существенно различаться, т.е. базироваться на различных признаках выбросоопасности.

Явления, в практике горного дела, объединенные под общим названием «газодинамические явления», фактически могут быть газодинамическими, происходящими в газоносных угольных пластах и породах и динамическими, которые происходят в негазоносных углях и породах. Однако, в связи с тем, что одни и те же явления могут происходить как в газоносных, так и в негазоносных угольных пластах и породах (обрушения, горные удары, разрушения пород почвы) разделение этих явлений на газодинамические и динамические является весьма условным.

Исследованием природы и механизма газодинамических явлений установлено, что газ, содержащийся в угольных пластах и породах, склонных к газодинамическим явлениям, играет существенную роль только при внезапных выбросах. При этом роль газа практически сводится к перемещению разрушенных частиц угля и пород по выработкам.

Особое место среди газодинамических явлений занимают суфляры. Возможность их проявления практически не зависит от физико-механических свойств и напряженного состояния угольных пластов и пород и определяется наличием в полостях и трещинах, образовавшихся в массиве горных пород, свободного газа под давлением.

По результатам проведенных исследований разработана классификация, в которой приведены восемь газодинамических явле

ний: суфляры, обрушения, внезапные разрушения пород почвы, сползание вмещающих пород при разработке угольных пластов крутого залегания, внезапные выбросы угля и газа, внезапные выбросы пород и газа, внезапные выдавливания угля, горные удары. Классификация произведена на основании признаков, предшествующих газодинамическим явлениям, напряженно-деформированных и газодинамических условий их проявления, физико-механических свойств угольных пластов и пород, внешних признаков происшедших явлений и мест их возникновения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абрамов Ф.А., Шевелев Г.А. Свойства выбросоопасных песчаников, как породы-коллектора. – Киев: Наукова думка, 1972. – 286 с.
2. Авершин С.Г. Горные удары. – М.: Углетехиздат, 1955. – 236 с.
3. Алексеев А.Д., Недодаев Н.В., Стариков Г.Н. Разрушение газонасыщенного угля, находящегося в объемном напряженном состоянии, при разгрузке. Моделирование выбросов угля и газа. – М.: Институт проблем механики АН СССР, 1980. – 30 с.
4. Аносов И.И., Еремин И.В. Трещиноватость углей. – М.: АН СССР, 1960. – 110 с.
5. Бобров И.В., Кричевский Р.М. Работы МакНИИ в области борьбы с внезапными выбросами угля и газа за 1952-1955 гг. Доклад на всесоюзной научно-технической конференции по проблеме борьбы с внезапными выбросами угля и газа в угольных шахтах. – Макеевка, 1955. – 46 с.
6. Большинский М.И., Бельская Н.Р. Состояние проблемы борьбы с выбросами за рубежом. – М.: ЦНИЭИуголь, 1984. – 50 с.
7. А.С. № 1384789. Способ определения выбросоопасности угольных пластов (Большинский М.И., Маевский В.С., Гордезиани З.А., Большинский И.М., Заврадашвили М.О. (4017591)) 22-03. Заявл. 23.01.1986. Оpubл. в Б.И., 1988. № 12.
8. А.С. № 989099 СССР. Способ очистной выемки выбросоопасного пласта (Большинский М.И., Балинченко И.И., Тимофеев

Э.И., Николин В.И., Толмачев П.А., Зорин А.Н., Маевский В.С. (3318588)) 22-03. Заявл. 16.07.81. Опубл. 15.01.83, в Б.И. № 2.

9. Большинский М.И., Поляк Г.А., Грач В.М. Снижение частоты и силы выбросов при сотрясательном взрывании. // Уголь Украины, 1987. - № 11. – с. 37-39.

10. Большинский М.И., Маевский В.С. Результаты исследования общности природы выбросов угля, породы и газа. Труды МакНИИ «Борьба с газом, пылью и выбросами в угольных шахтах», 1975. - № 11. – с. 117-124.

11. Большинский М.И., Палатовский И.М., Федченко А.Е., Мазин И.Я. Исследование влияния величины сечения и способа бурения скважин в выбросоопасных песчаниках на вероятность возникновения выбросов породы и газа. Труды МакНИИ. «Борьба с газом, пылью и выбросами в угольных шахтах», 1974. - № 10. – 64-70 с.

12. Большинский М.И., Лысиков Б.А., Формос В.Ф. Проходка верти-кальных стволов по выбросоопасным породам. // Шахтное строительство. 1989. - № 2. – с. 16-19.

13. Большинский М.И. К вопросу о единстве природы выбросов угля, породы и газа в единых принципах борьбы с этими явлениями в подготовительных выработках. // Уголь, 1975. - № 11. – с. 10-14.

14. Большинский М.И. Природа и механизм газодинамических явлений в угольных шахтах и принципы их предотвращения. // Уголь Украины, 1987. - № 9. – с. 24-28.

15. Большинский М.И., Маевский В.С., Кременев О.Г. Оценка состояния призабойной части выбросоопасных угольных пластов по температурным характеристикам. // Уголь, 1983. - № 2. – с. 17-21.

16. А.С. № 1033770, СССР. Способ контроля выбросоопасности угольного пласта (Большинский М.И., Маевский В.С., Кременев О.Г.).

17. А.С. № 1155772, СССР. Датчик контроля выбросоопасности угольного пласта (Большинский М.И., Маевский В.С., Кременев О.Г., Ащеулов А.А.).

18. Большинский М.И. и др. Проведение выработки комбайном по выбросоопасному пласту крутого падения. – М.: ЦНИЭИ-уголь, Реф. сб. 1980. - № 10. – с. 23-26.

19. Большинский М.И., Балинченко И.И., Тимофеев Э.И. Опыт применения разгрузочной щели для предотвращения выбросов в очистном забое. – Донецк, ЦБНТИ МУП УССР, 1986. – 36 с.

20. А.С. № 560068, СССР. Способ проведения горных выработок. Большинский М.И. и другие (2040208, Заявл. 05.07.74. Оpubл. 30.05.77, в Б.И. № 20).

21. А.С. № 901567, СССР. Способ механизированной выемки полезного ископаемого (Большинский М.И., Сапронов В.Т., Балинченко И.И., Тимофеев Э.И.) 2938633/22-03, заявл. 01.04.80, опубл. 30.01.92, в Б.И. № 4).

22. Большинский М.И. и др. Для обеспечения безопасности горных работ // Безопасность труда и промышленности, 1989. № 6. – с. 36-42.

23. Борисенко А.А. К решению задачи о распределении напряжения в призабойной зоне угольного пласта. // Физ-тех. проблемы разработки полезных ископаемых. 1979. - № 5, – с. 96-101.

24. Быков Л.Н. О терминологии в области газопроявлений в шахтах. // Научн.труды Тульск. горного института, 1958, СБ. 1, - с. 15-24.

25. Волошин Н.Е., Тарасьев В.И. Борьба с выбросами породы в шахте. – Донецк, Донбасс – 1968. – 136 с.

26. Галушко П.Я. О природе внезапных выбросов породы на шахте «Щегловская-Глубокая». // Уголь Украины. 1964. - № 2. - с. 46-47.

27. Галушко В.Т., Зорин А.Н. Выбросы породы в горных выработках шахт Донбасса. – Киев: Наукова думка. – 1972. – 168 с.

28. Забигайло В.Е. Геологические основы теории прогноза выбросоопасности угольных пластов и горных пород. Киев: Наукова думка. – 1978. – 216 с.

29. Забигайло В.Е., Широков А.З., Белый И.С., Кудельский В.В., Моссур Е.А., Рудометов Е.П. Геологические факторы выбросоопасности пород Донбасса. – Киев: Наукова думка. – 1974. – 187 с.

30. Забигайло В.Е. Геологические основы теории прогноза выбросоопасных угольных пластов и горных пород. – Киев: Наукова думка. – 1978. – 168 с.

31. Забигайло В.Е., Зражевская Н.Г., Моссур Е.А. Сравнительная характеристика выбросоопасных и выбросонеопасных песчаников Донбасса по минералогическому составу и структурным пара

метрам. Дел. № 6419-73 от 3 мая 1937, РЖ Горное дело. – 1973, № 11. – 36 с.

32. Забигаило В.Е., Лукинов В.В., Широков А.З. Выбросоопасность горных пород Донбасса. – Киев: Наукова думка. – 1984. – 161 с.

33. Забигаило В.Е., Рудометов Е.П., Лукинов В.В. Соотношение влага-газа в порах как показатель выбросоопасности. // Техника безопасности, охрана труда и горноспасательное дело. Реферативный сборник, ЦНИЭИуголь, М.: – 1973.

34. Забигаило В.Е., Широков В.З. Проблемы геологии газов угольных месторождений. – Киев: Наукова думка. – 1972. – 182 с.

35. Иванов Б.И., Фейт Г.Н., Яновская М.Ф. Механические и физико-химические свойства выбросоопасных угольных пластов. – М.: Наука. – 1979. – 195 с.

36. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, склонных к выбросам угля, породы и газа. – М.: Недра. – 1977. – 162 с.

37. Карпов А.М. Внезапные выделения метана на шахтах Центрального массива района Донбасса. – М.: ГОНТИ. – 1935. – 73 с.

38. Коваленко Ю.Ф. Элементарный акт явления внезапного выброса. Выброс в скважину. - М.: Ин-т пробл. механики АН СССР. – 1980. – 44 с.

39. Колесов О.А., Большинский М.И. Влияние технологии очистных работ на выбросоопасность пластов. // Уголь Украины. – 1988. - № 4. – с. 24-28.

40. Лейбензон Л.С. Нефтепромысловая механика (часть вторая). – М.: Горгеонефтеиздат. – 1934. – с. 310.

41. А.С. № 1460339 СССР. Способ определения местоположения мелкоамплитудного геологического нарушения при разработке газоносного угольного пласта. (Маевский В.С., Большинский М.И., Кременев О.Г., Вайнштейн Л.А.) (4257823) 23-03, заявл. 13.04.87, опубл. 23.02.89, Б.И. № 7.

42. Методика определения природной газоносности пластов, действующих и строящихся шахт Донбасса. Макеевка-Донбасс, МакНИИ. – 1981.

43. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. – М.: Наука. – 1971. – 286 с.

44. Морев А.М., Клойзнер С.М. Внезапные разломы почвы и прорывы метана в выработки шахт. // Уголь Украины, 1983. - № 10. – с. 35-36.

45. Нановская С. Прогноз и средства борьбы с внезапными выбросами угля и газа. София. – 1986. Постоянная комиссия СЭВ по угольной промышленности.

46. Николин В.И., Большинский М.И., Малевич Н.А., Зорин А.Н. Проведение подготовительных выработок по выбросоопасным угольным пластам. // Шахтное строительство. – 1975. - № 3. – с. 18-21.

47. Николин В.И. Представления (гипотезы) о природе и механизме выбросов угля, породы и газа. «Основы теории внезапных выбросов угля, породы и газа». – М.: – 1978. – с. 122-140.

48. Николин В.И., Лысиков Б.А., Ярембаш И.Ф. Выбросоопасные породы больших глубин. – Донецк: Донбасс. – 1968. – 128 с.
49. Николин В.И., Меликсетов С.С., Беркович И.М. Выбросы породы и газа. - М.: – 1967. – 80 с.
50. Николин В.И., Лысиков Б.А., Ярембаш И.Ф. Газоносность пород больших глубин. – Донецк: Донбасс. – 1969. – 132 с.
51. Норель Б.К. Об уровнях связи между напряженными и деформациями газонасыщенного угольного пласта. – Научн.сообщения. Институт горного дела им. А.А. Скочинского. – М.: - 1977, вып. 143, - с. 14-19.
52. Ольховиченко А.Е. Прогноз выбросоопасности угольных пластов. – М.: Недра, - 1982. – 186 с.
53. Петросян А.Э., Иванов Б.М., Крупеня В.Г. Теория внезапных выбросов. – М.: Наука, - 1983. – 210 с.
54. Петухов И.М. Горные удары на угольных шахтах. – М.: Недра, - 1972. – 310 с.
55. Петухов И.М. и др. Горные удары и борьба с ними. – Пермь. – 1969. – 234 с.
56. Петухов И.М., Линьков А.М., Сидоров В.С., Фельдман И.М. Теория защитных пластов. – М.: Недра, – 1970. – 223 с.
57. Проскуряков Н.М. Внезапные выбросы породы и газа в калийных рудниках. – М.: Недра. – 1980. – 263 с.
58. Протоdjяконов М.М., Логунцов В.М. Буримость и крепость горных пород (Вопросы горного дела). – М.: Углетехиздат, - 1958. – 316 с.

59. Ржевский В.В., Новик Г.Я. Основы физики горных пород. – М.: Наука, - 1964. – 208 с.
60. Рейнер М. Реология. – М.: Недра. – 1965. – 312 с.
61. Саранчук В.И., Айруни А.Т., Ковалев К.Е. Надмолекулярная организация, структура и свойства угля. – Киев: Наукова думка. – 1988. – 218 с.
62. Скляр Л.А., Водолазский В.Т., Шерсткин В.В. Прогноз и предупреждение прорывов метана из почвы горных выработок. – М.: ЦНИЭИуголь. – 1984. – 116 с.
63. Управление кровлей в сложных горно-геологических условиях. / Под редакцией К.Ф. Сапицкого/, - Киев: Техника. – 1985. – 168 с.
64. Тетеревенков В.В. Суфляры метана на шахтах Донбасса. – М.: Углетехиздат. – 1952. – 168 с.
65. Финкель В.М. Физика разрушения. – М.: Metallургия. – 1970. – 301 с.
66. Фролов М.А., Бобров А.И. Суфлярные выделения метана в угольных шахтах. – М.: Недра. – 1971. – 160 с.
67. Ходот В.В. Внезапные выбросы угля и газа. – М.: Госгортехиздат. – 1961. – 263 с.
68. Чернов О.И., Рязанцев Е.С. Предупреждение внезапных выбросов угля и газа в угольных шахтах. – М.: Недра. – 1972. – 260 с.
69. Чирков С.В., Норель В.К. О распределении горного давления в призабойной части угольного пласта. – В кн. Напряженное

состояние породных массивов. – Новосибирск: СО АН СССР. – 1987. – с. 14-20.

70. Шавелев Г.А., Кулинич В.С. Буримость, как метод оценки механических свойств выбросоопасных зон в массиве песчаника. // Уголь. – 1974. - № 12. – с. 16-19.

71. Шатилов В.А. Внезапный выброс породы. // Уголь Украины. – 1957. - № 7 – с. 29-31.

72. Эттингер И.Л., Ламба Е.Г., Адамов В.Г. Роль газа, как понизителя прочности каменных углей. – М.: ДАН СССР, т. 113, № 2, 1954.

73. Эттингер И.Л. Свойства углей, влияющие на безопасность труда в шахтах. – М.: Госгортехиздат. – 1961. – 310 с.

74. Яровой И.М. Руководство по разработке пластов, опасных по выбросам угля и газа. – М.: Углетехиздат. – 1949. – 168 с.

75. Ярцев В.Я. О теории и классификации внезапных перемещений угля и пород в шахтах. – В кн.: Сборник статей по горному делу. – Свердловск. – 1956. – с. 95-105.

МОНОГРАФІЯ

АВТОРИ

*Большинський Матвій Йосипович,
Лисіков Борис Артемович,
Каплюхін Олександр Якимович*

ГАЗОДИНАМІЧНІ ЯВИЩА В ШАХТАХ

(російською мовою)