

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования  
«Донецкий национальный технический университет»

КАФЕДРА «ОХРАНА ТРУДА И АЭРОЛОГИЯ ИМ. И.М. ПУГАЧА»

КОНСПЕКТ ЛЕКЦИЙ  
по учебной дисциплине

**ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОЙ РАЗРАБОТКИ  
ВЫБРОСООПАСНЫХ ПЛАСТОВ**

Специальность 21.05.04 «Горное дело»  
направленности (профиля) – «Технологическая безопасность и  
горноспасательное дело»

**РАССМОТРЕНО:**  
на заседании кафедры  
«Охрана труда и аэрология им. И. М. Пугача»  
Протокол № 2 от 25.09.2025

Донецк – 2025

УДК 622.272.63:622.867(076)

Тишин Р. А. Проблемы безопасной разработки выбросоопасных пластов / Р. А. Тишин. – Курс лекций, 2025. – 102 стр.

Составитель:

Тишин Р.А. – канд. техн. наук, доцент кафедры «Охрана труда и аэрология им. И. М. Пугача» ФГБОУ ВО «ДонНТУ»

## СОДЕРЖАНИЕ

	ВВЕДЕНИЕ.....	7
1	ПРИРОДА И МЕХАНИЗМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ.....	9
2	СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРИРОДЕ И МЕХАНИЗМЕ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА.....	17
3	ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА. РАЗДЕЛЕНИЕ ПЛАСТОВ НА КАТЕГОРИИ ОПАСНОСТИ ПО ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ЯВЛЕНИЯМ (ГДЯ). ПОРЯДОК ОТРАБОТКИ ПЛАСТОВ, СКЛОННЫХ К ГДЯ.....	25
	3.1 Понятие о газодинамических явлениях, их признаки и виды.....	25
	3.2 Краткие характеристики ГДЯ .....	26
	3.3 Статистические данные о газодинамических явлениях...	30
	3.4 Разделение угольных пластов и пород на категории опасности по газодинамическим явлениям.....	30
4	ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО БОРЬБЕ С ГДЯ. РАССЛЕДОВАНИЕ И УЧЕТ ГДЯ.....	32
	4.1 Общая организация работ по борьбе с газодинамическими явлениями .....	32
	4.2 Статистика травматизма.....	33
	4.3 Системы разработки и технологии ведения горных работ, исключаяющие или уменьшающие опасность возникновения газодинамических явлений.....	34
	4.4 Способы предотвращения внезапных выбросов угля и газа.....	35
	4.5 Пример характерных случаев ГДЯ.....	36
	4.6 Порядок расследования, учёт и документация по ГДЯ....	37
5	ПРОГНОЗ ВЫБРОСООПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ И ПОРОД. СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ВЫБРОСООПАСНОСТЬЮ ПОРОД.....	38
	5.1 Номенклатура нормативных способов прогноза.....	38
	5.2 Виды прогноза.....	38
6	ПРОГНОЗ ВЫБРОСООПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПО ПАРАМЕТРАМ АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА.....	46
	6.1 Теоретические основы способов прогноза газодинамических явлений по параметрам акустического сигнала.....	46
	6.2 Техническое обеспечение прогноза газодинамических явлений по параметрам акустического сигнала.....	47
	6.3 Прогноз выбросоопасности угольных пластов по акустической эмиссии горного массива.....	49
7	ВНЕЗАПНЫЕ ВЫДАВЛИВАНИЯ УГЛЯ.....	51

7.1	Прогноз выбросоопасности пород.....	51
7.2	Прогноз выбросоопасности угольного пласта по сорбционным показателям угля.....	52
7.3	Прогноз опасности внезапных выдавливаний угля на основе параметров акустического сигнала.....	53
8	<b>ПРОГНОЗ УДАРООПАСНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД. СПОСОБЫ БОРЬБЫ С УДАРООПАСНОСТЬЮ ГОРНЫХ ПОРОД. БЕЗОПАСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ.....</b>	<b>54</b>
8.1	Понятие о горном ударе. Механизм горных ударов.....	54
8.2	Прогноз удароопасности горных пород.....	54
8.3	Порядок вскрытия подготовки и отработки удароопасных пластов.....	55
8.4	Системы разработки удароопасных пластов.....	55
8.5	Механизация выемки угля на удароопасных пластах, меры безопасности.....	55
8.6	Порядок вскрытия, подготовки и отработки удароопасных пластов.....	56
9	<b>ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ВСКРЫТИИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ.....</b>	<b>57</b>
9.1	Проведение работ при вскрытии пласта.....	57
9.2	Вскрытие стволами с бурением дренажных скважин.....	59
9.3	Вскрытие пласта стволами с возведением каркасной ограждающей крепи.....	59
9.4	Вскрытие стволами с гидрорыхлением угольного массива.....	60
9.5	Вскрытие пласта полевыми выработками с бурением дренажных скважин.....	61
9.6	Борьба с газодинамическими явлениями при вскрытии угольных пластов квершлагами и другими подготовительными выработками.....	63
9.7	Вскрытие пласта полевой выработкой с гидровывыванием угля.....	64
9.8	Вскрытие пласта полевой выработкой с возведением каркасной крепи.....	65
9.9	Вскрытие пологих пластов комбайнами.....	65
10	<b>СПОСОБ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ БУРЕНИЯ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРЕЖАЮЩИХ СКВАЖИН ПО ПАРАМЕТРАМ АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА.....</b>	<b>66</b>
11	<b>СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ.....</b>	<b>68</b>
11.1	Региональные способы предотвращения газодинамических явлений.....	68
11.2	Опережающая отработка защитных пластов.....	68
11.3	Увлажнение угольных пластов.....	74
11.4	Передовое торпедирование пород кровли пласта.....	74

	11.5 Гидродинамическое воздействие на угольный пласт.....	75
12	ЛОКАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ.....	76
	12.1 Геомеханический анализ локальных способов предотвращения газодинамических явлений.....	77
	12.2 Гидрорыхление угольного пласта.....	77
	12.3 Гидроотжим призабойной части пласта.....	78
	12.4 Образование разгрузочных пазов, щелей.....	78
	12.5 Бурение опережающих скважин.....	79
13	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ВЫЕМКИ УГЛЯ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ, УПРАВЛЕНИЕ КРОВЛЕЙ.....	79
	13.1 Особенности безопасной технологии разработки пластов, склонных к внезапным обрушениям.....	80
	13.2 Регламентация последовательности выполнения технологических процессов и способов предотвращения газодинамических явлений.....	82
	13.3 Разработка пластов, склонных к проявлению выбросов горных пород и газа.....	82
	13.4 Выемка угля в нишах лав выбросоопасных пластов.....	83
	13.5 Зона разгрузки. Краткая характеристика.....	83
	13.6 Управление кровлей в очистных забоях выбросоопасных пластов.....	83
14	СОТРЯСАТЕЛЬНОЕ ВЗРЫВАНИЕ. ИНСТРУКЦИЯ ПО СОТРЯСАТЕЛЬНОМУ ВЗРЫВАНИЮ.....	84
	14.1 Производство взрывных работ.....	84
	14.2 Сотрясательное взрывание.....	84
	14.3 Режим сотрясательного взрывания на пластах опасных по ГДЯ.....	86
	14.4 Меры безопасности при взрывных работах в режиме сотрясательного взрывания.....	87
	14.5 Опасная зона при сотрясательном взрывании.....	87
	14.6 Основные требования безопасности при вскрытии угольных пластов.....	87
	14.7 Инструкция по сотрясательному взрыванию.....	88
15	БЕЗВЗРЫВНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ ВЫРАБОТОК ПО ВЫБРОСООПАСНЫМ ПОРОДАМ.....	90
	15.1 Проведение стволов проходческими комбайнами.....	90
	15.2 Безвзрывное проведение горизонтальных выработок.....	92
	15.3 Безвзрывное проведение тоннелей по выбросоопасным породам.....	93
	15.4 Некоторые принципы автоматизации проходческих комбайнов роторного типа.....	93
16	ТРЕБОВАНИЯ К МАШИНАМ И МЕХАНИЗМАМ. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ И ГРУППОВЫЕ СРЕДСТВА ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ. ДЕЙСТВИЯ РАБОТНИКОВ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ.....	95

16.1	Мероприятия по обеспечению безопасности работников.....	95
16.2	Применение машин и механизмов.....	96
16.3	Индивидуальные и групповые средства жизнеобеспечения.....	96
16.4	Основные правила поведения (действий) работников шахты при авариях.....	97
16.5	Устройство выходов из шахты и горных выработок.....	99
	БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСТОЧНИКОВ.....	102

## ВВЕДЕНИЕ

Донецкий бассейн известен в мировой практике, как уникальное по сложности и разнообразию горно-геологических условий месторождение высококачественных коксующихся и энергетических углей, представленное большим количеством разрабатываемых пластов, более 50 % которых подвержены внезапным выбросам угля и газа. С переходом на более глубокие горизонты количество пластов, склонных к газодинамическим явлениям (далее – ГДЯ), возрастает. Эти явления, как правило, сопровождаются травматизмом работающих, повреждением горных выработок и оборудования, а ликвидация их последствий сопряжена с дополнительными материально-техническими затратами и нарушают ритмичность выполнения основных технологических процессов горного производства. Несмотря на прикладываемые усилия учёных и производителей, количество ГДЯ в бассейне велико и травматизм от них имеет место. Так, из 46 ГДЯ, произошедших за период с 2002 по 2013 гг. в очистных и подготовительных выработках Донбасса при ручном и механизированном воздействии на угольный забой 22 ГДЯ (48% случаев) произошло со смертельным травматизмом работающих. В горной науке известно, что общепринятые три основных фактора (горное давление, газ, физико-механические свойства пластов) в совокупности обуславливают потенциальную опасность ГДЯ. Однако до сих пор нет достаточно надёжных методов прямых определений их количественного значения. Причиной этого является чрезвычайная сложность определения прочностных и деформационных свойств и напряжённости реального углепородного массива и его природной (остаточной) метаноносности. Сложность решения проблемы прогноза ГДЯ (особенно выбросоопасности) и необходимость для практики быстро создать достаточно оперативные и надёжные методы прогноза в этом направлении привели к необходимости поиска таких характеристик, которые интегрально оценивали бы влияние трёх упомянутых факторов по косвенным показателям [1].

В наибольшей степени плодотворным оказалось изыскание и использование газовых характеристик, т.е. показателей, содержащих в большей или меньшей

степени надёжную информацию о значимости газового фактора, так как, с одной стороны, метан (углекислый газ и др.), находящиеся в пустотах углепородного массива, является одной из сил, стремящихся разрушить призабойную часть пласта, а с другой стороны, известно, что дегазация угольного пласта сопровождается увеличением прочности угля. Насыщение газом образцов угля приводит к снижению их прочности. Таким образом, газ (метан, углекислый газ и др.) является не только силовым элементом, но и, находясь в угле (породе), имеет свойства горного массива.

В угольной отрасли до сих пор происходят аварии, связанные с ГДЯ, причиной которых являются несоблюдение технологии и правил безопасности ведения горных работ на пластах, склонных к таким опасным явлениям.



# 1. ПРИРОДА И МЕХАНИЗМ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ И ИХ КЛАССИФИКАЦИЯ

## Общие сведения о газодинамических явлениях

Истоки проблемы борьбы с газодинамическими явлениями (ГДЯ) относятся к 30-м годам XIX века, когда впервые в мировой практике подземной добычи угля в шахте «Исаак» во Франции произошел внезапный выброс угля и газа. В настоящее время мировой опыт подземной добычи угля располагает обширными сведениями о ГДЯ в шахтах, под которыми понимается процесс быстротекающего динамического разрушения угольного или породного массива в окрестностях горной выработки, сопровождающийся отбросом или смещением угля (породы) и повышенным газовыделением. Согласно общепринятой классификации к основным видам ГДЯ относятся: внезапные выбросы угля и газа; внезапные выбросы породы и газа; внезапные выдавливания угля; внезапные обрушения (высыпания) угля; внезапные прорывы газа из почвы выработок и горные удары.

Современные проблемы безопасности в угольных шахтах обусловлены, в значительной мере, нередко происходящими этими явлениями, среди которых к наиболее распространенным и катастрофичным по тяжести последствий являются внезапные выбросы угля и газа, сопровождающиеся зачастую травматизмом работающих и повреждением горных выработок и оборудования. В Донбассе первый внезапный выброс угля и газа произошел в 1906 г. на бывшей шахте «Новая Смолянка» при вскрытии взрывными работами пласта  $\kappa_2$  «Смоляниновский» квершлагом на горизонте 706 м.

К началу Великой Отечественной войны 1941 ÷ 1945 гг. в Донецком бассейне произошло более 1000 внезапных выбросов, но имеющиеся обширные сведения о них ранее не публиковались, а в период оккупации были утрачены, и лишь некоторые из них удалось собрать и воспроизвести по сохранившимся первичным материалам. В послевоенный период по мере восстановления шахт и наращивания объемов угледобычи количество выбросов угля и газа стало

возрастать и к 1951 г. достигло максимума, оказавшегося впоследствии одним из многочисленных локальных повышений частоты выбросов на фоне изменения проявлений выбросоопасности в течение последних более 60 лет.

1951 г. в Макеевском научно-исследовательском институте по безопасности работ в горной промышленности (МакНИИ) была заведена картотека выбросов угля и газа, происходящих в шахтах Донбасса, и начата систематическая их регистрация. Согласно принятой издавна дифференциации выбросов на три группы по условиям их возникновения выделяют:

- собственно внезапные выбросы, происшедшие в забоях, где применялись способы прогноза или предотвращения этих явлений и поэтому возникновение их было неожиданным и представляло реальную опасность поражения работающих;

- выбросы при сотрясательном взрывании;

- выбросы при дистанционном управлении машинами и механизмами, когда способы прогноза и предотвращения выбросов не применялись, но для обеспечения безопасности работающих предусматривалось нахождение их за пределами возможной дальности действия поражающих факторов.

Поскольку выбросы при сотрясательном взрывании и дистанционном управлении добычными или проходческими машинами и механизмами хотя и происходят в безопасных для людей условиях, но ликвидация последствий их сопряжена с издержками, превышающими затраты на выполнение противовыбросных мероприятий, если бы они применялись, то осуществление этих мероприятий в указанных условиях представляется экономически целесообразным.

Всего за период 1951 ÷ 2014 гг. в шахтах Донбасса, расположенных на территории Донбасса, зарегистрировано 7628 выбросов угля и газа, из них внезапных – 1622 (21%), при сотрясательном взрывании – 5289 (69%) и 717 (10%) при дистанционном управлении машинами и механизмами (Рисунок 1.1). Сведения о ГДЯ и травматизме шахтеров за период 2005 ÷ 2014 гг. представлены в таблице 1.1.

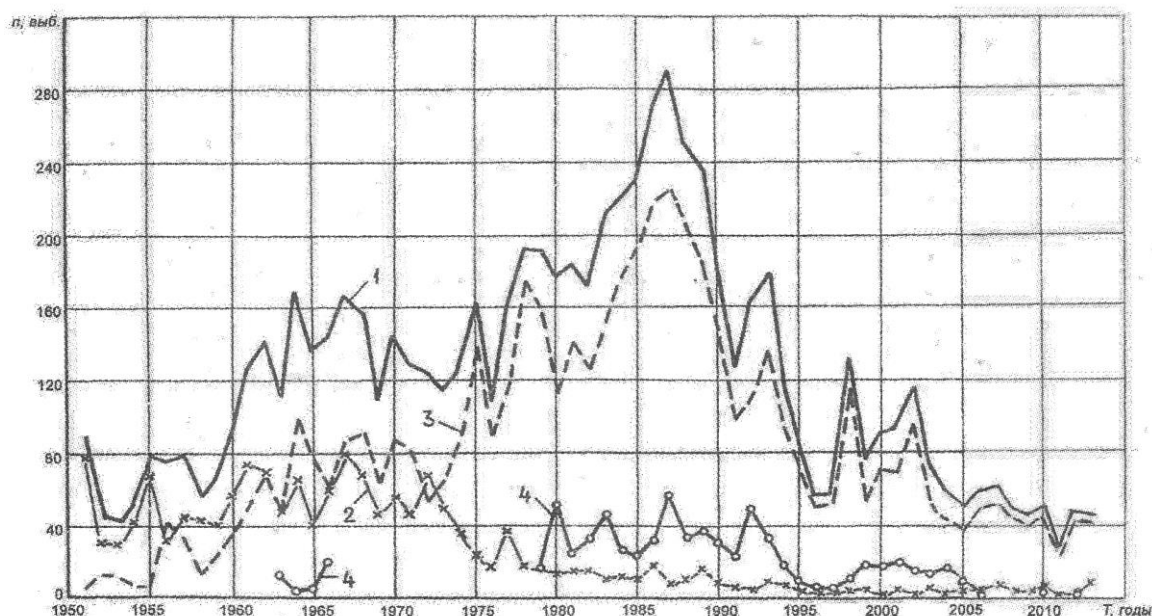


Рисунок 1.1 – Динамика изменения количества выбросов угля и газа ( $n$ , выб.) за период ( $T$ ) с 1951 по 2014 гг.:

1 – общее количество выбросов; 2 – внезапных; 3 – при сотрясательном взрывании; 4 – при дистанционном управлении машинами и механизмами.

Таблица 1.1 – Сведения о ГДЯ и травматизме шахтеров за период 2005–2014 гг.

Год	Внезапные выбросы, выдавливания и обрушения угля	ГДЯ (выбросы угля и газа, выдавливания угля, внезапные прорывы газа из зон ГН) при БВР в режиме СВ	Выбросы при дистанционном управлении выемочной техникой	Выбросы при вскрытии пластов	Выбросы породы	Всего ГДЯ
2005	4 (4)	27	6	-	12	53
2006	4 (3)	30	1	-	24	59
2007	6 (4)	29	-	-	26	62
2008	4 (16)	32	-	-	14	50
2009	4 (14)	35	-	-	5	44
2010	5 (10)	40	2	-	8	55
2011	1 (1)	21	-	-	7	29
2012	1 (-)	40	1 (1)	-	10	52
2013	6 (7)	21	-	-	20	47
2014	2 (2)	9 (7)	-	-	7	18

Примечание. В скобках приведено количество смертельно травмированных шахтеров; ГН – геологические нарушения, БВР в режиме СВ – буровзрывные работы в режиме сотрясательного взрывания.

Так, до 1972 г. количество внезапных выбросов и выбросов при сотрясательном взрывании было примерно одинаковым, а общая численность их определялась суммой тех и других, причем выбросы при дистанционном управлении лишь в отдельные годы выделялись в самостоятельную группу вследствие их

малочисленности и обычно объединялись с происшедшими при сотрясательном взрывании, как в безопасных условиях. К этому времени были проведены обширные исследования по разработке основ теории внезапных выбросов угля и газа. По мере накопления экспериментального материала и практического опыта разработки выбросоопасных пластов высказывались различные взгляды на роль природных и технологических факторов в инициировании и развитии внезапных выбросов. Предложенные до настоящего времени гипотезы можно разделить на три группы:

К первой из них относят наиболее ранние газовые гипотезы Л.И. Быкова, Н.К. Цольвейга, Руффа получившие дальнейшее развитие в работах Р.М. Кричевского, С.А. Христиановича, А.Э. Петроеяна, согласно которым главная роль в возбуждении и развитии внезапных выбросов принадлежит содержащемуся в угольном пласте газу. Энергия свободного или десорбированного газа может быть реализована лишь при определенных условиях: образовании в пласте трещин, пустот, зон измельченного и перетертого угля или участков с резкой изменчивостью газопроницаемости. Согласно этим гипотезам основным принципом предотвращения выбросов является дегазация угольных пластов.

Наиболее многочисленной является вторая группа гипотез, согласно которым к решающим факторам внезапных выбросов относят наличие повышенных напряжений, вызывающих разрушение угольного массива, а отброс угля совершается за счет энергии заключенного в нем газа. В основе гипотез этой группы лежат принципиально различные воззрения на природу повышенных напряжений. Так, в работах И.М. Печука возникновение выбросов объясняется разрушением и дроблением угля в результате высвобождения потенциальной энергии вмещающих пласт пород, накопленной при тектонических процессах. Существование зон повышенных напряжений доказывается и другими исследователями. Согласно же гипотезам А.Я. Некрасовского, В.В. Ходота, В.И. Николина и др. повышенные напряжения возникают вследствие перераспределения сил горного давления в окрестности горных выработок. Исходя из представлений о решающей роли напряжений в возникновении внезапных выбросов, основным

принципом предотвращения этих явлений является разгрузка пласта или приведение угля в массиве в пластическое состояние.

Несколько обособленное место занимают сторонники третьей группы (гипотезы). По их мнению, повышенные напряжения в массиве пласта создаются вследствие действия на стенки пор расклинивающего давления, обусловленного сорбционными силами взаимодействия молекул газа с поверхностью угля («набухания»), а не возможностью расширения последнего в условиях всестороннего сжатия.

Профилактика газодинамических явлений может быть эффективной только при условии строгого соблюдения правил безопасности при ведении работ на пластах, склонных к газодинамическим явлениям.

Газодинамические явления обусловлены изменением (перераспределением) ряда факторов: напряженно-деформированного и газодинамического состояния угольных пластов и вмещающих пород при ведении горных работ; наличием в пластах и породах газа, находящегося под давлением в сотни атмосфер; особенностями структуры и физико-механических свойств угля и пород. Они отличаются между собой степенью их участия в подготовке и протекании процессов в угольно-породном массиве.

**Обрушения угля** относятся к этой группе неправомерно, так как основной причиной обрушения (высыпания) угля является несвоевременное или некачественное крепление нависающего газоносного угольного массива, т.е. спровоцированное нарушением технологии крепления, предусмотренной паспортом ведения очистных работ.

**Выброс угля и газа** можно определить как быстропротекающее разрушение призабойной части пласта, возникающее при перераспределении в нём напряжений, распространяющихся от забоя выработки (скважины) в глубину массива, сопровождающееся отбросом (выбросом) углепородной массы (иногда на сотни метров), характеризующееся повышенным, по сравнению с обычным, газовыделением и образованием в угольном пласте характерной полости причудливой формы.

Установлено, что выбросоопасные зоны составляют  $1 \div 5\%$  площади шахтопласта. В большинстве случаев выбросоопасные зоны приурочены к так называемым активным геологическим нарушениям с препарированным углем. Выбросоопасность этих зон возрастает в зонах повышенного горного давления (ПГД) от ведения горных работ на соседних пластах.

**Возникновению выброса угля и газа** сопутствует обычно воздушный толчок, а протекание его происходит во времени с ориентировочной скоростью разрушения угля примерно 5 т/с. Количество разрушенного и выброшенного угля при выбросе угля и газа оценивается в тоннах и характеризует интенсивность или так называемую силу выброса. Интенсивность (сила) выброса угля и газ изменяется в среднем от 0,5 т до  $60 \div 100$  т и достигает в лавах 2000 т, в подготовительных выработках 1600 т.

**Поражающими факторами** при выбросах угля и газа являются механическое воздействие разрушенного угля, воздушная ударная волна, удушающее и отравляющее действие выделяющегося газа – гипоксия или кислородное голодание клеток головного мозга, происходящее при снижении содержания кислорода ниже 16% вследствие его замещения метаном и его гомологами. Локальное и случайное расположение зон выбросоопасности шахтопластов и относительная «мгновенность» возникновения и протекания выброса угля и газа придают особое значение знанию предупредительных признаков внезапных выбросов угля и газа, позволяющее работающим в забое своевременно покинуть его и таким образом обеспечить свою безопасность. Это непосредственно относится к горным работам на пластах, склонных и опасных по ГДЯ, и проводимых без прогноза выбросоопасности.

Из **предупредительных признаков** наиболее информативными и достоверными являются:

- выдавливание угля призабойной части пласта, создающее эффект движения забоя на работающего;
- отскакивание мелких кусочков угля от забоя, создающее эффект шелушения и переливания забоя;

– повышенный выход штыба и газа при бурении скважин (шпуров), заклинивание бурового инструмента, выдувание штыба.

**Выдавливания (отжимы) угля** с повышенным газовыделением происходит в основном при механизированной выемке угля в лавах пологих пластов. Классификация выдавливания угля в большинстве случаев не вызывает затруднений. В отличие от выброса угля и газа при выдавливании угля полость ориентирована параллельно линии очистного забоя и глубина ее незначительна (всегда меньше длины и ширины) [2].

Как внезапные выбросы угля и газа, так и **горные удары** (с английского языка *rock burst*) могут происходить (и происходят) только начиная с определенной глубины ведения горных работ при достижении горным массивом предельного или критического напряженного состояния. В этом главная (природная и технологическая) общность явлений.

По месту возникновения горные удары можно разделить на три группы.

**Первая группа.** Классические горные удары, происходящие в над- подштрековых и других охранных целиках, в том числе оставленных в выработанных пространствах.

**Вторая группа.** Горные удары характеризующиеся разрушением части угольного (породного) массива не в забое, а на каком-то, иногда значительном расстоянии от него.

**Третья группа.** Горные удары характеризуются разрушением краевой части пласта действующих забоев и классифицировать их следует с позиций рассмотрения основополагающих факторов, определяющих выбросо- и удароопасность.

Весомость различных видов ГДЯ в структуре природно-техногенных явлений в шахтах Донбасса показывает, что выбросы угля и газа при сотрясательном взрывании по углю составляют – 59,3%; выбросы угля и газа – 18,2%; внезапные обрушения угля и газа с повышенным газовыделением – 3,2%; внезапные выдавливания угля с повышенным газовыделением – 4,3% и внезапные выбросы угля и газа 2,7%.

Решение проблемы выбросов угля и газа в большинстве угледобывающих стран сводилось главным образом к прекращению разработки выбросоопасных пластов. Если это необходимо и позволяют горно-геологические условия, традиционно применяется опережающая отработка защитных пластов, сотрясательное взрывание (которое рассматривается как провоцирование выброса угля и газа), дегазация пласта, бурение опережающих разгрузочно-дегазирующих скважин. Выбросы угля и газа происходят при разработке пластов углей всех марок Д, Г, Ж, К, ОС, Т и А, причем наиболее выбросоопасными являются пласты наиболее ценных коксующих углей.

Применение опережающей отработки защитных пластов для предотвращения выбросов угля породы и газа практически исчерпано в связи с отработкой сближенных пластов. Способ бурения опережающих скважин для разгрузки угольно-породного массива, хотя и является нормативным, практически не применяется из-за низкой эффективности и высокой вероятности внезапного выброса (при бурении разгрузочных скважин различного технологического назначения произошло 192 внезапных выброса угля и газа).



## 2 СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ПРИРОДЕ И МЕХАНИЗМЕ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА

Теории (гипотезы) выбросов угля и газа следует рассматривать как совокупность знаний о природе формирования выбросоопасности и механизма возникновения и протекания выбросов. Знания о природе выбросоопасности являются научной основой разработки способов прогноза выбросоопасности, а знания о механизме возникновения и протекания выбросов – научной основой создания способов предотвращения выбросов [1].

Для объяснения процесса возникновения и развития ГДЯ под действием тектонических сил может, применена т.н. тектонофизическая теория выбросов твердого ископаемого или породы. Согласно этой теории «выбросы возникают там, где в приповерхностной части земной коры под действием внутри и общепланетарных факторов действуют современные силы, ориентированные в наиболее прочных породах и твердых ископаемых в плоскости напластований (в горизонтальной плоскости)». Под влиянием этих сил в породах формируются зоны, отличающиеся от соседних реологическими свойствами\*, а вследствие этого — повышенным напряженным состоянием. Это приводит к неравномерному метаморфизму горных пород, вследствие чего образуются в массиве пород локальные зоны повышенной хрупкости, большей пористости, меньшей прочности, повышенных напряжений и величин давления флюидов. Дополнительное влияние на формирование выбросоопасности в этих зонах при разработке месторождения оказывают горнотехнические факторы [2].

\*\*\*\*\*

**\*Реологические свойства** — это свойства тел, связанные с течением и деформацией.

Некоторые важнейшие реологические свойства:

• **Вязкость.** Способность жидкости оказывать сопротивление перемещению одной её части относительно другой под действием внешней силы.

• **Упругость.** Способность тел мгновенно восстанавливать свою форму и объём после прекращения действия внешних сил.

• **Пластичность.** Способность тела сопротивляться изменению формы под действием внешних воздействий.

\*\*\*\*\*

Быков Л.Н. — наиболее убежденный сторонник газовой теории, — тем не менее, допускал возможность возникновения внезапных выбросов угля и газа в

результате разрядки значительных тангенциальных напряжений, вызванных современными движениями земной коры в толще.

Существуют представления о химической природе внезапных выбросов угля и газа (В.Т. Пальвелев, Р.Л. Мюллер, В.С. Попов, Э.И. Гайко и др.), которые рассматривали выбросы, возникающие по причине химических превращений в угольном веществе.

Акад. А.А. Скочинским еще в середине XX в. определены основные факторы, под влиянием которых происходит инициирование и развитие процессов ГДЯ: горное давление, содержащийся в угольном пласте газ, физико-механические свойства пласта и вес угля в призабойной зоне (на крутом падении). Это воззрение получило всеобщее признание.

И.М. Петухов и А.М. Линьков баланс энергии при явлениях динамического типа, выразили уравнением, в котором левая часть представляет выделяющуюся энергию, а правая — ее поглощение:

$$W_d + W_m + (-\Delta \mathcal{E}) = W_p + \Delta K + W_B + W_c + W_V, \quad (2.1)$$

где  $W_d$  — энергия расширения газа;

$W_m$  — энергия разрушаемого материала;

$\Delta \mathcal{E}$  — энергия из вмещающих пород;

$W_p$  — энергия, расходуемая на разрушение материалов;

$\Delta K$  — энергия, расходуемая на придание разрушаемому материалу кинетической энергии;

$W_B$  — энергия, поглощаемая боковыми породами;

$W_c$  — энергия в форме сейсмических колебаний;

$W_V$  — энергия на образование ударной волны.

Много сторонников у теории возникновения внезапных выбросов угля и газа за счет распространения волны дробления (разрушения), или послойного отрыва (С.А. Христианович, И.М. Петухов, А.М. Линьков, С.В. Кузнецов, А.А. Никольский и др.). В её основе лежит положение о том, что у свободной поверхности угольного пласта при газовыделении в очень тонком слое угля образуется и поддерживается большой перепад давления газа. Если он достаточен

для разрушения слоя угля, волна дробления перемещается вглубь массива, вызывая последовательное его разрушение в виде внезапного выброса угля и газа.

По мнению В.И. Николина, внезапный выброс представляет собой разрушение в определенных условиях (выбросоопасные зоны) ограниченного объема призабойной части пласта под влиянием деформаций расширения в сторону выработанного пространства вследствие процессов упругого восстановления, упругого последействия и обратной ползучести пласта. Из-за перераспределения напряжений в пласте может произойти новое разрушение, т.е. этот процесс носит лавинообразный характер. Газ, содержащийся в поровом объеме угольного пласта, при этом повышает склонность угля к разрушению и выполняет часть работы по отбросу и транспортированию разрушенного угля по выработке.

На третьей Всесоюзной конференции по борьбе с внезапными выбросами (1955 г.) акад. А.А. Скочинский предложил концепцию внезапных выбросов, согласно которой три фактора в совокупности обуславливают формирование выбросоопасности:

$$B = f(\sigma, \chi, M), \quad (2.2)$$

где  $\sigma$  — напряженность пласта;

$\chi$  — газоносность пласта;

$M$  — физико-механические свойства угля.

На международном симпозиуме по выбросам угля, породы и газа (г. Донецк, 1974 г.) В. И. Николин (МакНИИ) предложил считать, что потенциальную выбросоопасность формируют в совокупности два фактора – горное давление и физико-механические свойства газоносного пласта. Дальнейшие исследования МакНИИ и ДонНТУ позволили разработать физическую модель выбросоопасного угольного пласта, которая совместно с установленными закономерностями связи выбросоопасности угольных пластов со степенью метаморфизма углей, является обоснованием единства механизма выбросов угля, породы и газа, и составляют основу современных представлений о природе формирования выбросоопасности и механизма возникновения и протекания выбросов.

Экспериментально было доказано, что аналитическая (материнская) влажность угля в выбросоопасных зонах в два раза превосходит аналитическую

влажность угля невыбросоопасных зон. Из этого сформулирован вывод: **для наличия выбросоопасной зоны необходима не только более высокая природная газоносность, но и более высокая материнская влажность угля.**

На основании результатов экспериментального изучения свойств воды, находящейся в капиллярах угольного пласта размером менее  $7 \div 10$  мкм, определена локальность проявления выбросов может быть объяснена с позиций наличия метана в них в квазитвердом состоянии. Особенность молекул воды, отличающая их от всех других твердых тел и жидкостей, заключается в их дипольности. Вода и метан, находящиеся в капиллярах размером менее  $7 \div 10$  мкм, образуют под действием Ван-дер-Ваальсовых сил на поверхности капилляра молекулярные слои (на стенках вода, внутри метан). Микрополости превращают воду в твердое тело с совершенно аномальными свойствами по сравнению со свойствами воды в макроусловиях. Такая физическая модель выбросоопасного пласта позволяет:

- объяснить локальность выбросоопасности, так как молекулы метана, оказавшиеся в «плёну» аномально жестких дипольных молекул воды, не смогут уравнивать природную газоносность;

- объясняет изменение деформационных характеристик угольного выбросоопасного массива при изменении водо-метаноносности, приводящее к охрупчиванию при разрушении от разгрузки, вследствие увеличения склонности к разрушению от деформаций упругого восстановления, последствия и обратной ползучести, являющихся по своей сущности деформациями растяжения;

- такая трактовка физической модели хорошо объясняет инструментально установленные задержки деформаций (сближения пород почвы и кровли пластов) в лавах крутых пластов перед выбросами.

Первые доказательства зависимости выбросоопасности от степени метаморфизма углей ( $V^{daf}$ , %) основывались на анализе статистических данных и потребовали вскрытия природной сущности этой зависимости. В целом графическое представление закономерности связи выбросоопасности со степенью метаморфизма углей показано на рисунке 2.1. Изучение физической сущности зависимости глубины первых выбросов от степени метаморфизма углей позволило

установить, что она определяется глубиной зоны газового выветривания. Чем выше степень метаморфизма угля, тем более прочны и менее пористы породы их вмещающие, а потому меньше глубина зоны газового выветривания, следовательно, и глубина, на которой могут происходить первые выбросы. Природное формирование выбросоопасности угольных пластов закономерно и в параболической зависимости определяется степенью метаморфизма углей.

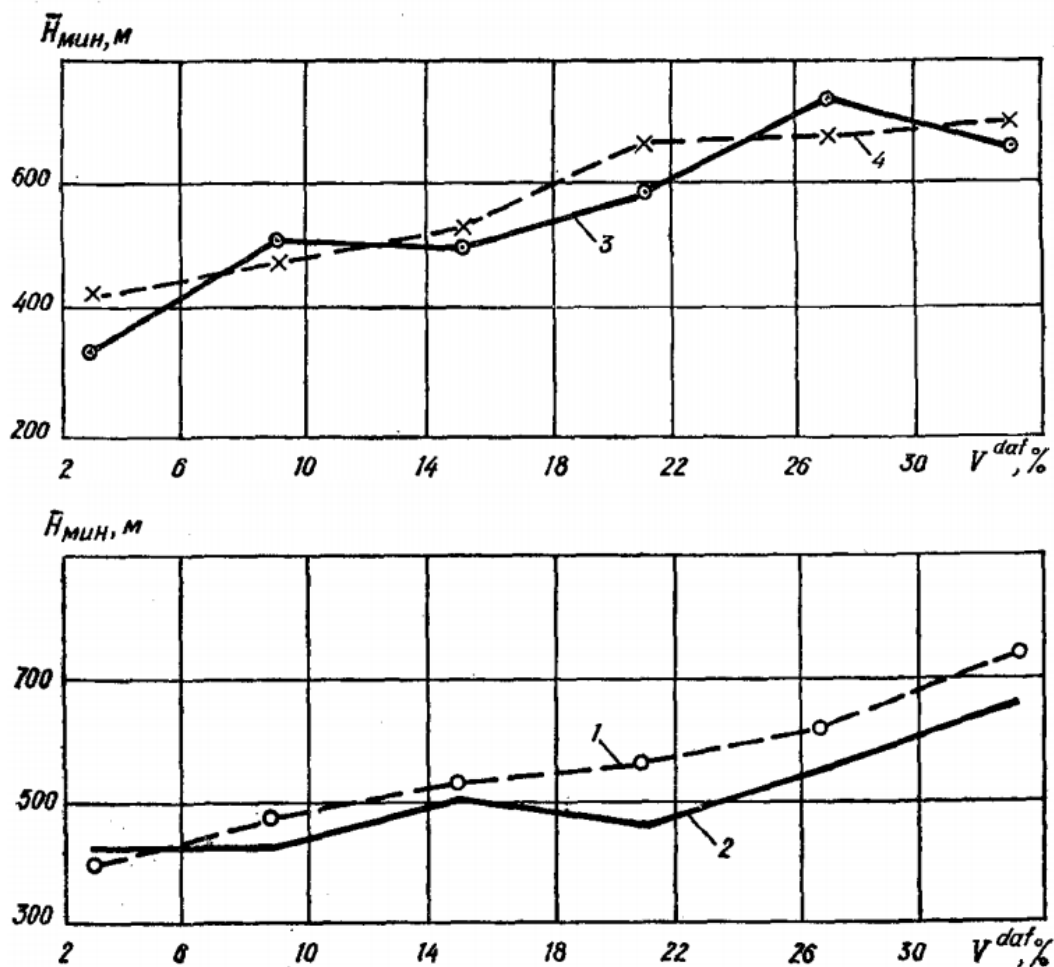


Рисунок 2.1 – Зависимости средней минимальной глубины  $\bar{H}_{мин}$  от степени метаморфизма углей для пластов отдельных свит.

Если угольные шахтопласты характеризуются  $V^{daf}$  более 35 % или  $lg p$  менее 3,3, то выбросоопасность не осуществляется и пласты разрабатываются как невыбросоопасные (Таблица 2.1).

Таблица 2.1 – Показатели, определяющие выбросоопасность шахтопласта

$V^{daf}, \%$	$lg p$	$x, \text{м}^3/\text{т}$	Глубина, с которой осуществлялся прогноз, м
35—27	$> 6$	400	500
26—18	—	$> 8$	300
17—9	—	$> 10$	250
9	3,3	$> 20$	150

Это доказывается совпадением максимальной вероятности возникновения выбросов, соответствующей  $V^{daf} = 20 \%$  с максимальными (минимальными) значениями основных свойств угля:

— минимум прочности и пористости угля приходится на  $V^{daf} = 20 - 24\%$ ;

— максимум природной газоносности, отнесенной к объёму пор, приходится на  $V^{daf} = 20\%$ ;

— максимальное давление газа выбросоопасных угольных пластов и максимальное содержание высших углеводородов в них приходится на  $V^{daf} = 22\%$ .

При достижении области  $V^{daf} = 20\%$ , снижение вероятности возникновения выбросов при разработке выбросоопасных пластов объясняется тем, что физико-химические превращения органических веществ сопровождаются генерированием метана и его гомологов до области  $V^{daf} \approx 19 - 21\%$ . По мере роста степени метаморфизма угля, метан и его гомологи не генерируются, а «расходуется», а их физико-химическое взаимодействие с углем (органическими и неорганическими соединениями) при наличии материнской влаги, приводит к росту пористости.

Комплекс разносторонних лабораторных и шахтных экспериментов позволил отечественным специалистам прийти к выводу о единстве природы выбросов угля и газа, породы (песчаников) и газа. Закономерно возникает вопрос о наличии газа в песчаниках при природной газоносности выбросоопасных песчаников  $(2,6 \pm 0,4) 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ , невыбросоопасных  $(2,6 \pm 0,4) 10^{-3} \text{ м}^3/\text{кг}$ .

Установлено, что давление газа в выбросоопасных слоях песчаников достигает 10 МПа и отличается в несколько раз от давления в выбросоопасных уголь-

ных пластах. Давления газов и их состав в камерах одних и тех же скважин не одинаковы, а содержание газов и состав водных растворов различаются иногда на один и даже на два порядка. Размеры угольных включений в песчаниках Донбасса изменяются от десятков микрон до десятков сантиметров. Если из крупных включений отбор проб угля для определения  $V^{daf}$  (%) не представляет сложности, то степень метаморфизма мелкорассеянной органики можно определить из-за малости навески угля только по данным об отражательной способности витринита\*.

.....  
**\*Витринит углей** — это группа микрокомпонентов (мацералов) углей, сложенных ге-  
 лифицированными остатками растительных тканей. Название происходит от лат. vitrum —  
 «стекло».

**Внешний вид:** витринит имеет блестящий вид, напоминающий стекло. В проходящем  
 свете цвет изменяется в зависимости от стадии катагенеза — от красно-оранжевого до красно-  
 го, красно-коричневого, бурого. Тощих углей и антрацитов в шлифах витринит непрозрачен.  
 .....

Результаты определения отражательной способности угольных включений размером менее 3 мм в песчаниках привели к выводу, что с уменьшением размеров включений отражательная способность увеличивается, свидетельствуя о росте темпа метаморфизма органических веществ, т.е. о росте скорости физико-химических превращений. Полученные результаты позволили следующим образом объяснить, почему становятся возможными выбросы песчаника, происшедшие в геолого-промышленных районах Донбасса, где ранее не происходили выбросы угля и газа. На стадии метаморфизма угольных пластов, характеризующейся  $M > 27,7$  у.е., уровень их газоносности, обусловленный невысокой степенью метаморфизма, недостаточен для возникновения выбросов угля и газа. Но в этих, же горно-геологических условиях из-за того, что темп метаморфизма мелкорассеянной органики выше, чем в угольных пластах, создаются условия, в которых метан и его гомологи в песчаниках генерируются интенсивнее.

Рассмотрим группы метаморфизма (по состоянию на 1970÷1990 гг.) [5, с. 15-20].

Внезапные выбросы угля и газа на шахте «Александровская» ПО Артемуголь (**I группа метаморфизма**) произошли при разработке пластов трех свит: кайенской ( $k^7, k_5^2, k_3$ ), алмазной ( $l_5, l_4, l_3$ ) и горловской ( $m_3$ ). Диапазон

изменения глубин, на которых произошли эти выбросы, значителен и характеризует не только шахту в целом, но и пласты одной и той же свиты. Например, для пластов  $\kappa_5^2$  и  $\kappa_3$  это глубины соответственно 286 и 401 м.

Анализ опыта разработки шахтопластов **II группы метаморфизма** привел к следующим результатам.

На шахте «Юнком» диапазон изменения минимальных глубин  $H_{мин}$ , на которых произошли первые выбросы при разработке разных пластов, составил 340 м (256 и 596 м). Он также значителен для пластов различных свит: каменной — 340 м (256 и 596 м), смоляниновской — 120 м (476 и 596 м). Для двух пластов алмазной свиты минимальные глубины первого выброса оказались одинаковыми. Но на шахте «Булавинская» для трех пластов этой, же свиты диапазон изменений  $H_{мин}$  составил 70 м (420 и 490 м), а на шахте «Углегорская» для пяти пластов каменной свиты — 360 м (340 и 700 м).

Диапазон изменений минимальных глубин, на которых произошли первые внезапные выбросы угля при разработке различных пластов, таков:

**III группа метаморфизма:** на шахтах им. Карла Маркса — 250 м, «Красный Октябрь» — 350 м, «Красный Профинтерн» — 450 м, «Кондратьевка» — 360 м; при этом по пластам каменной свиты шахты им. Карла Маркса этот диапазон изменений составил 250 м, шахты «Красный Профинтерн» — 450 м, а по пластам алмазной свиты шахты им. Артема — 238 м; **IV группа метаморфизма:** на шахте им. Карла Маркса — 625 м, «Красный Октябрь» — 470 м, «Красный Профинтерн» — 213 м, им. Гаевого — 313 м; по пластам каменной свиты шахты им. Карла Маркса этот диапазон изменений составил 250 м, шахты им. Гаевого — 219 м; по пластам алмазной свиты на шахте им. Карла Маркса — 500 м, по пластам горловской свиты на шахте «Красный Профинтерн» — 218 м, им. М.И. Калинина — ПО, им. Карла Маркса — 500 м, «Красный Октябрь» — 470 м.

Статистическая зависимость средней минимальной глубины первых выбросов ( $H_{мин}$ , м) от степени метаморфизма углей оказалась практически функциональной:

$$\bar{H}_{мин} = 322,8 + 10,6V^{daf} \text{ при } \eta = 0,98. \quad (2.4)$$



Определив зависимость глубины (минимальную в каждой из шести групп), на которой произошли первые выбросы, от степени метаморфизма углей, получили статистическую зависимость:

$$H_{\text{мин}} = 27,0 + 13,8V^{daf} \quad \text{при } \gamma_i = 0,98. \quad (2.5)$$

Это позволяет оценивать пласты по категории выбросоопасности более надежно, чем по нормативным значениям показателей, по которым проводилась категоризация шахтопластов (степень метаморфизма углей;  $x$  — природная газоносность, м<sup>3</sup>/т и  $H_{\text{мин}}$  — минимальная глубина разработки (м)).

### 3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ. ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА. РАЗДЕЛЕНИЕ ПЛАСТОВ НА КАТЕГОРИИ ОПАСНОСТИ ПО ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ЯВЛЕНИЯМ (ГДЯ). ПОРЯДОК ОТРАБОТКИ ПЛАСТОВ, СКЛОННЫХ К ГДЯ

#### 3.1 Понятие о газодинамических явлениях, их признаки и виды

Газодинамические явления являются сложнейшими природными и технологическими явлениями в подземных выработках угольных шахт. Это одна из форм газосиловых явлений, в которых участвуют упругие силы предельно напряженных горных пород, сжатого газа и силы тяжести. К ним относятся внезапные выбросы угля и газа, породы и газа, обрушения угля, отжим угля, горные удары, прорывы газа из почвы выработок. Характерным и обязательным условием газодинамических явлений является выделение большого количества газа метана [3, 6].

Угольные пласты и породы, на которых происходили или могут произойти ГДЯ, относятся к *склонным к газодинамическим явлениям*. Горные выработки, в которых происходили или могут произойти внезапные прорывы газа из почвы этих выработок, относятся к *опасным по прорывам газа*. Шахты, ведущие горные работы на выбросоопасных угольных пластах и породах, относятся к *категории опасных по внезапным выбросам угля породы и газа*. Угольные пласты, склонные к внезапным выбросам угля и газа, внезапным обрушениям (высыпаниям) угля, внезапным выдавливаниям угля (отжикам) угля и к горным ударам подразделяются на *опасные и угрожаемые* по этим видам ГДЯ. В отдельных случаях выделяют **особовыбросоопасные шахтопласты** или участки шахтопластов. К выбросоопасным относят пласты в пределах шахтного поля, на которых произошли внезапные выбросы угля и газа, или выбросоопасность установлена текущим прогнозом.

К угрожаемым относят пласты в пределах шахтного поля, потенциальная выбросоопасность которых с определенной глубины установлена прогнозом по геологоразведочным данным, и разработка которых с этой глубины ведется с те-

кущим прогнозом выбросоопасности. К особо выбросоопасным относят шахтопласты или участки в зонах активных по выбросам тектонических нарушений;

- в зонах повышенного горного давления (ПГД), осложненных геологическими нарушениями;

- при переходе створов с краевыми частями целиков или остановленных забоев;

- на пластах с незащищенной нижней частью этажа.

При этажном способе подготовки шахтного поля границы выбросоопасности устанавливают с изогипсы, расположенной на 100 м выше первого выброса или опасной зоны, установленной прогнозом и экспертной оценкой, но не ниже отметки вентиляционного (верхнего) штрека. При панельном или погоризонтном способах подготовки шахтопласт считают выбросоопасным с изогипсы, проходящей на расстоянии 100 м по пласту выше отметки первого выброса угля и газа или опасной зоны, установленной прогнозом и экспертной оценкой.

### 3.2 Краткие характеристики ГДЯ

**Выброс угля и газа** – это явление скачкообразного перехода упругой энергии предельно напряженного массива вокруг горной выработки и сжатого газа, в результате его мгновенного расширения, в работу сдвижения и разрушения горных пород. [1].

**Выбросу предшествуют** предупредительные явления: удары, треск различной силы и частоты в массиве; отскакивание кусочков породы (угля), шелушение; усиление давления на крепь, прогиб пород кровли; изменение скорости газовыделения; зажатие бурового инструмента и т. д. Поражающими факторами являются газ и механическое воздействие разрушенной горной массы (Рисунок 3.1, 3.2) [8].

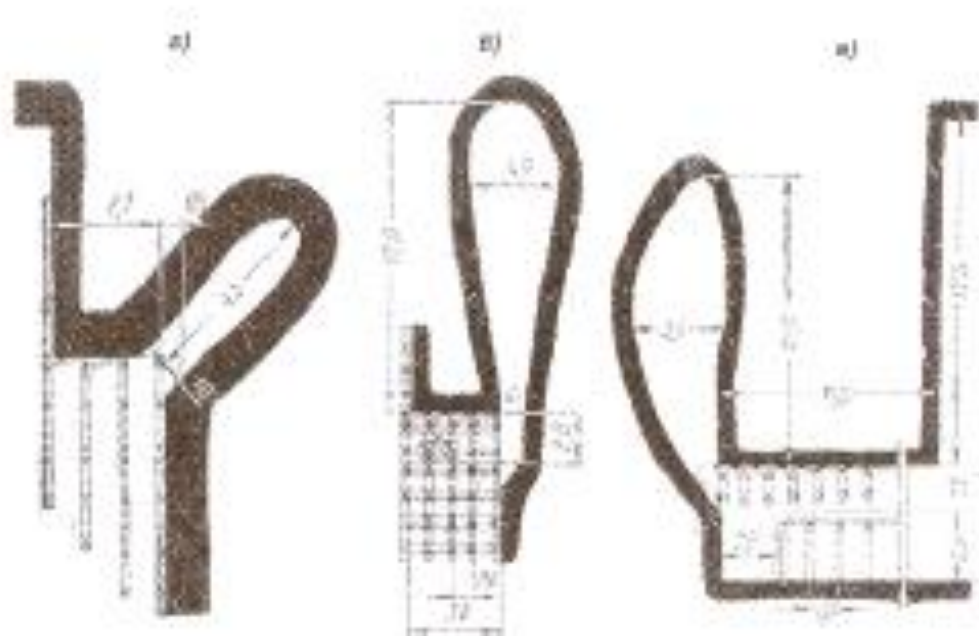


Рисунок 3.1 – Типовые полости, образовавшиеся в угольном массиве вследствие выброса угля и газа в забоях крутых и крутонаклонных пластов:

а, б – в потолкоуступных лавах; в – в подготовительной выработке.

**Перед выбросом угля и газа** характерны: появление пылевого облака, выдавливание угля из забоя, зажатие бурового инструмента, выбрасывание штыба из буровой скважины. Для выброса характерно: отброс породы, угля за пределы угла естественного откоса; тонкое измельчение угольно-породной массы; повышенное газовыделение; образование характерной полости, а для пород – увеличение площади сечения выработки.

**Выброс породы и газа** – это быстропротекающее разрушение призабойной части породного массива, заключающееся в разрушении горных пород вследствие нарушения неустойчивого равновесия предельно напряженного породного массива под воздействием технологических факторов (удар инструментом, бурение, взрыв и т.д.), природных сил (сейсмоколебания, гравитация и т.д.).

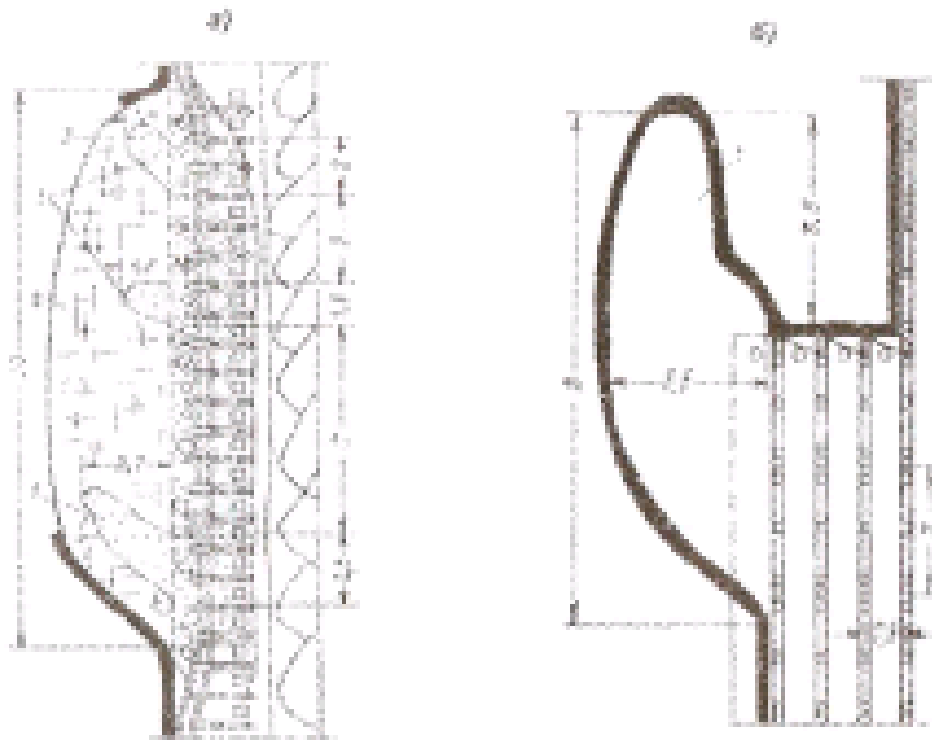


Рисунок 3.2 – Типовые схемы полостей, образовавшихся в угольном массиве вследствие внезапных выбросов угля и газа в очистном забое пологого и наклонного пластов (а) и потолкоуступной лаве крутого и крутонаклонного пластов (б):

1 – полости, образованные выбросом; 2 – разрушенный и выдавленный уголь; 3 – контур полости.

**Внезапное обрушение угля** – это быстро протекающее разрушение нависающего угольного массива; полость ориентирована по восстанию пласта; разрушенный уголь располагается под углом, близким к углу естественного откоса; относительное газовыделение меньше разности между природной и остаточной газоносностью обрушившегося угля.

**Поражающий фактор** – механическое воздействие обрушившегося угля.

**Предупредительные признаки** – Как правило, отсутствуют. Иногда наблюдается отслаивание и осыпание угля.

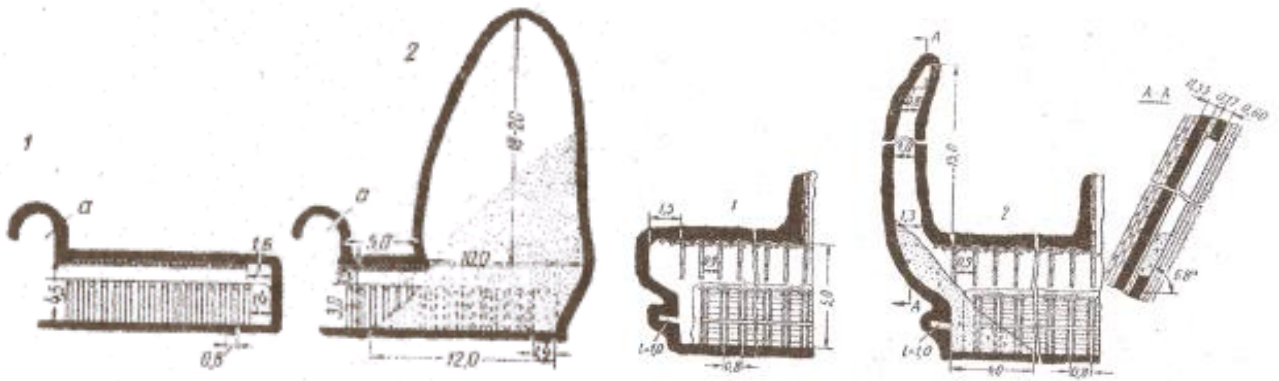


Рисунок 3.3 – Типовые схемы внезапных обрушений (высыпаний) угля в забоях подготовительных выработок крутых и крутонаклонных пластов:

1 – положение забоя перед внезапным обрушением угля; положение забоя после обрушения; а – полость предыдущего внезапного обрушения.

**Внезапное выдавливание угля** – это быстропротекающее смещение угольного массива в выработку без отброса угля, образование полости, заполненной крупно-кусковатым углем, глубина которой меньше ее ширины, наличие пустот, зияющих трещин и щели между кровлей и пластом, относительное газо-выделение меньше разности между природной и остаточной газоносностью выдавленного угля.

**Поражающим фактором** является механическое воздействие отжатого угля.

**Влияющие факторы** – горное давление и физико-механические свойства угля и вмещающих пород.

**Условия возникновения** – зоны ПГД от целиков на соседних пластах, зоны влияния геологических нарушений, участки зависания кровли.

**Предупредительные признаки** отсутствуют, в отдельных случаях наблюдается повышенное давление на призабойную крепь, звуковые эффекты в массиве, зажатие бурового инструмента.

**Внезапный прорыв газа из почвы выработок** – это быстропротекающее разрушение почвы выработки, заключающееся в разрушении горных пород вследствие разрушения породного массива между почвой выработки и газоносными пластами (прослойками) угля или углистого сланца.

### **3.3 Статистические данные о газодинамических явлениях**

В 2012 г. на опасных по газодинамическим явлениям шахтопластах добыто 11,7 млн. т. угля пройдено 39,6 км подготовительных и нарезных (монтажных) выработок. На угрожаемых шахтопластах – 15,5 млн.т. угля и 65,5 км выработок, соответственно. Всего на склонных к ГДЯ шахтопластах Донбасса в 2012 г. добыто 27,2 млн.т. угля и пройдено 104,8 км подготовительных выработок.

### **3.4 Разделение угольных пластов и пород на категории опасности по газодинамическим явлениям**

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

Угольные пласты в пределах шахтного поля, при разработке которых произошли или могут произойти ГДЯ, относят к склонным к ГДЯ.

Горные выработки в пределах шахтного поля (крыла), в которых происходили или по результатам прогноза могут произойти внезапные прорывы газа из почвы этих выработок, относят к опасным по прорывам газа.

Если по всем указанным показателям выбросоопасности получена оценка «опасно», то угрожаемый угольный пласт в установленном порядке должен быть переведен в категорию выбросоопасных.

Если такая же оценка получена в зоне на выбросоопасном пласте, то переход этой зоны горными работами должен осуществляться с применением противовыбросных мероприятий или БВР в режиме сотрясательного взрывания (далее – в режиме СВ).

Если хотя бы по одному из показателей получена оценка «неопасно», то проведение подготовительной выработки или ведение очистных работ следует осуществлять БВР в режиме СВ или с применением противовыбросных мероприятий на протяжении не менее 15 м подвигания забоя и через каждые 3 м следует повторять оценку выбросоопасности по всем показателям, указанным ранее.

Принятые комиссией перечни и порядок отработки пластов утверждают совместным приказом угледобывающего предприятия и органом исполнительной власти в области промышленной безопасности и охраны труда, а последующие изменения и дополнения к нему вносят по согласованию с упомянутой комиссией.

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



## **4 ОРГАНИЗАЦИЯ РАБОТ ПО БОРЬБЕ С ГДЯ. РАССЛЕДОВАНИЕ И УЧЕТ ГДЯ**

### **4.1 Общая организация работ по борьбе с газодинамическими явлениями**

Техническую политику и руководство работами по борьбе с внезапными выбросами угля, породы и газа осуществляют Министерство угля и энергетики – технические директора (главные инженера) государственных предприятий (компаний, шахтостроительных комбинатов, трестов и т.п.) и главного горняка по борьбе с выбросами этих объединений – главные инженеры шахт (шахтостроительных управлений). Рассмотрение вопросов, не предусмотренных нормативными документами, осуществляет Центральная комиссия по борьбе с газодинамическими явлениями по представлению технического директора (главного инженера) и заключения МАКНИИ. Разрешение на ведение работ в соответствии с рекомендациями комиссии выдает Федеральная служба по экологическому, Технологическому и атомному надзору государственной услуги по выдаче разрешений на право ведения работ в области Использования атомной энергии работникам объектов Использования атомной энергии [2, 8]. На шахтах ведение прогноза и контроль эффективности противовыбросных мероприятий осуществляет служба (группа) прогноза участков ВТБ, подчиненная непосредственно главному инженеру шахты. На должность руководителя службы прогноза заместителя начальника участка ВТБ по прогнозу и контролю за газодинамическими явлениями) назначается лицо с высшим горнотехническим образованием со стажем подземной работы на выбросоопасных пластах, прошедшее обучение в специализированных образовательных учреждениях. Основной персонал службы прогноза состоит из прошедших обучение горных мастеров по прогнозу, а если шахта оборудована сейсмопрогнозом, то из операторов сейсмопрогноза и электрослесарей по обслуживанию оборудования. За службой прогноза приказом по шахте закрепляется геолог. Способы предотвращения внезапных выбросов угля, породы и газа выполняют участки ПР по ТБ или же эксплуатационные и подго-

товительные участки. Для выполнения локальных способов предотвращения внезапных выбросов угля и газа и сотрясательного взрывания на шахте выделяется специальная смена. Проекты строительства и реконструкции шахт и подготовки новых горизонтов с выбросоопасными и угрожаемыми пластами, а также с выбросоопасными породами должны содержать раздел с техническими решениями по предотвращению внезапных выбросов угля, породы и газа. На каждый выбросоопасный и угрожаемый пласт ежегодно составляется Комплекс мер по борьбе с внезапными выбросами угля и газа. На основании комплекса мер для каждой вскрывающей выработки разрабатывается Паспорт вскрытия пласта (пропластка), а на каждую подготовительную или очистную выработку «Мероприятия по борьбе с газодинамическими явлениями» для включения их в паспорт выемочного участка или паспорт проведения и крепления выработки. Зоны ПГД от целиков и краевых частей угольного массива соседних пластов и зоны тектонических нарушений указывают на плане горных работ и выкопировке из него, прилагаемой к паспорту выемочного участка и паспорту проведения и крепления выработок. На участках должен вестись планшет (эскиз) подвигания очистных и подготовительных работ с привязкой их к маркшейдерскому знаку в масштабе 1:200 с несением геометрических параметров прогноза, способов предотвращения внезапных выбросов угля и газа, контроля их эффективности и др. Служба (группа) прогноза шахты ежесуточно согласовывает безопасную глубину выемки в очистных и подготовительных забоях по данным текущего прогноза выбросоопасности или контроля эффективности способов предотвращения внезапных выбросов. Каждое газодинамическое явление расследуется в установленном порядке. На каждое газодинамическое явление составляется акт по специальной форме и, кроме выбросов при сотрясательном взрывании, карточка регистрации.

## **4.2 Статистика травматизма**

За период 2003 ÷ 2012 гг. на шахтах Донбасса произошло 559 газодинамических явлений.

Газодинамические явления и травматизм за 2003 ÷ 2012 гг. приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 — Газодинамические явления и травматизм

Год	Кол-во шахт, разрабатывающих опасные пласты	Внезапные выбросы, выдавливания и обрушения (число смерт. травм.)	ГДЯ (выбросы угля и газа, выдавливания угля, внеаппные прорывы газа из зон ГН) при БВР в режиме СВ	Выбросы при дистанции	Выбросы при вскрытии пластов	Выбросы породы	Всего ГДЯ
1	2	3	4	5	6	7	8
2003	46	5(5)	54	14	1	15	89
2004	45	3(3)	34	17	1	16	71
2005	45	4(4)	27	6	—	12	49
2006	47	4(3)	30	1	—	24	59
2007	40	6(4)	29	—	—	26	62
2008	42	4(16)	32	—	—	14	50
2009	44	4(14)	35	—	—	5	44
2010	43	5(10)	40	2	—	8	55
2011	42	1(1)	21	—	—	7	29
2012	41	1 (—)	40	—	—	10	51

Как следует из таблицы 4.1, за период 2008 ÷ 2012 гг. по сравнению с пятью предыдущими 2003 ÷ 2007 гг. общее число газодинамических явлений на шахтах Донбасса уменьшилось в среднем в 1,44 раза. Данная тенденция объясняется сокращением за этот период количества разрабатываемых выбросоопасных шахтопластов (в среднем на 21%) и числа очистных и подготовительных забоев на них (на 23% и 10% соответственно). При этом число шахт, разрабатывающих выбросоопасные пласты (в т.ч. опасные и по другим видам ГДЯ), уменьшилось незначительно, в среднем на 5%.

### **4.3 Системы разработки и технологии ведения горных работ, исключаящие или уменьшающие опасность возникновения газодинамических явлений**

Разработку незащищенных выбросоопасных угольных шахтопластов необходимо производить столбовыми системами. В случаях, когда по горно-геологическим условиям не представляется возможным применить столбовую систему разработки, допускается применение сплошной или комбинированной системы разработки. При применении сплошной системы разработки на незащищенных выбросоопасных крутых и крутонаклонных пластах забой откаточного штрека должен опережать очистной забой (считая от первого уступа лавы или нижнего сопряжения лавы со штреком) не менее чем на 100 м. Просеки (нижние печи) должны опережать очистной забой не менее чем на 20 м. На пологих и наклонных пластах при сплошной системе разработки допускается проведение откаточного (конвейерного) штрека по углю одним забоем с лавой или с опережением не менее 100 м. В отдельных случаях по заключению МАКНИИ опережение конвейерного штрека может устанавливаться менее 100 м в зависимости от горнотехнических условий.

### **4.4 Способы предотвращения внезапных выбросов угля и газа**

Способы предотвращения внезапных выбросов угля и газа разделяются на **региональные** и **локальные**. При этом в категории локальных способов, отдельно следует выделять способы предотвращения выбросов угля и газа при вскрытии пластов [3, 6, 8].

**Региональные способы** позволяют заблаговременно устранить выбросоопасность участка пласта до начала ведения на нем очистных или подготовительных работ. Кроме опережающей разработки защитных пластов к нормативным региональным способам относятся дегазация угольных пластов и увлажнение угольных пластов через длинные скважины, пробуренные впереди очистного забоя.

**Достоинством** этих и других региональных способов является то, что работы по выполнению способов практически не влияют на ведение горных работ.

**Основным недостатком региональных способов**, который в силу специфики не относится к защитной отработке, является то, что при относительно большой площади обработки пласта не учитывается локальность выбросоопасности.

**Локальные способы** предназначены для приведения призабойной части угольного массива в невыбросоопасное состояние и осуществляются со стороны очистных или подготовительных забоев.

**К локальным способам относятся:** гидрорыхление, образование разгрузочных пазов и щелей, торпедирование угольного массива, бурение опережающих скважин, гидроотжим пласта, образование разгрузочной щели по длине очистного забоя, вибрационное воздействие на призабойную часть пласта.

**Достоинство локальных способов** – возможность их выполнения в реально выбросоопасных зонах, установленных текущим прогнозом выбросоопасности.

**Основным недостатком** способов является необходимость остановки забоя для их выполнения, как правило, с выделения специальной смены, что сдерживает ведение горных работ.

#### 4.5 Пример характерных случаев ГДЯ

Авария, произошедшая на ПАО «ДТЭК Шахта «Комсомолец Донбасса» [2].

30.12.2012 г. при проведении комбайновым способом конвейерного штрека 2 западной лавы пласта блока № 5 гор. 810 м в 18 ч 20 мин произошло внезапное выдавливание угля с повышенным газовыделением интенсивностью более 11 т угля и более 2100 м<sup>3</sup> метана.

##### **Обстоятельства, предшествующие аварии.**

Для затяжки кровли на участке забойной рамы крепи необходимо было произвести подрубку пород кровли комбайном КСП-32 в верхней части выработки. С

целью выполнения этой операции производилось перемещение исполнительного органа комбайна с правой нижней части забоя в его верхнюю левую часть, при этом произошёл удар исполнительного органа комбайна (вращение его отсутствовало) по угольному пласту со стороны его почвы, что и спровоцировало развязывание ГДЯ. Из-за повышения концентрации метана в забое выработки до 9,0 % работавшие в забое выработки люди, были выведены на свежую струю воздуха.

#### **4.6 Порядок расследования, учёт и документация по ГДЯ**

О каждом ГДЯ руководитель предприятия сообщает руководителю объединения [8]. Расследование производится комиссиями согласно «Порядка расследования и ведения учёта несчастных случаев, профзаболеваний и аварий на производстве».

## **5 ПРОГНОЗ ВЫБРОСООПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ И ПОРОД. СПОСОБЫ БОРЬБЫ С ВЫБРОСООПАСНОСТЬЮ ПОРОД**

### **5.1 Номенклатура нормативных способов прогноза**

Необходимость проведения прогноза выбросоопасности, обусловлено по сути тремя факторами [1, 2]:

- различием шахтопластов по степени (категории) выбросоопасности;
- природной локальностью (зональностью) выбросоопасности пластов;
- наличием разгруженных и дегазированных участков пластов, примыкающих к ранее отработанным этажам (ярусам) и подготовительным выработкам.

Поэтому прогноз выбросоопасности угольных пластов производится практически на всех этапах освоения шахтного поля:

- при ведении геологоразведочных работ;
- при вскрытии пластов;
- при проведении подготовительных выработок и ведении очистных работ.

### **5.2 Виды прогноза**

На пластах склонных к ГДЯ применяют следующие методы текущего прогноза выбросоопасности: по начальной скорости газовыделения из шпуров, прочности угольного пласта, акустической эмиссии (АЭ) горного массива с использованием аппаратуры ЗУА (звукоулавливающая аппаратура), по параметрам акустического сигнала (АПСС), амплитудно-частотным характеристикам (АЧХ) акустического сигнала и т.д. Допускается применение этого метода в сочетании с другими методами прогноза для уточнения границ выбросоопасных зон по длине очистного забоя. Область, условия применения, параметры и алгоритм методов прогноза указывают в паспорте ведения горных работ.

#### **Прогноз выбросоопасности при вскрытии угольных пластов**

Перед вскрытием угрожаемых и опасных по выбросам угля и газа пластов квершлагами, стволами и другими выработками должен применяться прогноз

выбросоопасности в местах вскрытия по данным начальной скорости газовыделения, и одному показателю и коэффициенту крепости угля.

Прогноз выбросоопасности участка шахтопласта в месте вскрытия его полевой выработкой осуществляют работниками службы прогноза шахты при оказании научно-технической помощи МАКНИИ. При подходе вскрывающей выработки к пласту или пропластку мощностью не менее 0,2 м, начиная с 10 м по нормали к предполагаемому их залеганию, производится бурение разведочных скважин глубиной не менее 5 м для уточнения положения пласта (пропластка). На расстояние не менее 3 м по нормали к пласту бурят две скважины для измерения начальной скорости газовыделения при условии пересечения пласта за контур от 1,0 до 1,5 м.

#### **Прогноз выбросоопасности по начальной скорости газовыделения**

Измерение начальной скорости газовыделения для текущего прогноза выбросоопасных зон в подготовительных и очистных забоях производят контрольными шпурами Ø 42-43 мм на интервалах бурения 1,5 м, 2,5 м, 3,5 м при длине измерительной камеры 0,5 м по методике с помощью технических средств – расходомера газа ПГ-2МА, газозатвора ЗГ-1 или ГШМ. Результаты заносят в журнал. Шпуры бурят: в подготовительных забоях, нишах лав, нижних просеках (печах) крутых пластов на расстоянии 0,5 м от кутков или от стенок выработки через 2 м, а в очистных забоях не более чем через 2,7 м их подвигания.

#### **Прогноз выбросоопасности угольных пластов по прочности угольного пласта**

Прочность угля определяется прочностемером П-1: производится зачистка пласта на 5 – 30 см; торец ствола прочностемера прижимают к поверхности забоя и с помощью спускового рычага пружинного механизма ударяют по конусному пуансону, глубину внедрения которого в угольный пласт определяют по шкале указателя перемещения его от исходного положения.

#### **Прогноз выбросоопасности по акустической эмиссии горного массива**

Прогноз выбросоопасности по акустической эмиссии (АЭ) горного массива производят с помощью звукоулавливающей аппаратуры ЗУА. Сущность метода состоит в следующем: механические колебания звуковой частоты, возникающие



в горном массиве вследствие перераспределения напряжений в процессе ведения горных работ, с помощью сейсмоприёмника (подземного блока), установленного в выработке преобразуется в электрические колебания, которые по проводной линии связи передаются на поверхность и регистрируются на магнитный носитель.

### **Прогноз выбросоопасности угольных пластов по параметрам акустического сигнала (АПСС)**

Прогноз выбросоопасности заключается в регистрации, обработке и анализе спектра сигнала, возбуждаемого в горном массиве технологическим воздействием на него очистных, проходческих или буровых машин и механизмов. Прогноз осуществляется с помощью аппаратуры передачи сейсмоакустического сигнала (АПСС) и вычислительного комплекса. АПСС состоит из подземного блока, содержащего сейсмоприемник, и наземного блока. Вычислительный комплекс представляет собой персональный компьютер с принтером и предназначен для регистрации, обработки и анализа параметров акустического сигнала по специальной программе и выдаче заключения о результатах прогноза.

При ведении очистных работ на расстоянии до 10 м от ранее отработанных лав и при длине очистного забоя до 120 м допускается установка одного сейсмоприемника в конвейерном штреке. Основным прогностическим показателем акустического сигнала является коэффициент выбросоопасности, равный отношению верхней к нижней амплитуде высокочастотной и низкочастотной составляющих. Текущие значения коэффициента выбросоопасности сравниваются с их критическими значениями. Критические значения прогностических параметров определяются по выборке разведочных наблюдений в 30 циклах подвигания забоя выработки в неопасной по выбросам зоне. Прогноз выбросоопасности осуществляется автоматически компьютером путём сравнения текущих значений прогностических параметров акустических сигналов с их критическими значениями. Прогноз «опасно» выдаётся, если в шести циклах подвигания забоя, не менее чем в двух из них текущие значения прогностических параметров акустических сигналов превышают критические. В очистных забоях нередко весьма

важным является уточнение границ опасной зоны по длине лавы. Для этого применяют одним из следующих способов.

### **Прогноз внезапных обрушений (высыпаний) угля**

Прогноз внезапных обрушений (высыпаний) угля производится по акустической эмиссии горного массива использованием аппаратуры ЗУА (звукоулавливающая аппаратура) на основе персонального компьютера с соответствующим программным обеспечением. Для прогноза обрушений угля рассчитывают характеристики АЭ (акустической эмиссии). Прогноз «опасно по обрушению угля» определяют по правилу «двух точек» и выдают в случае снижения суточной активности до критических значений или устойчивого снижения среднесуточных активностей в течение двух суток подряд по мере подвигания забоя на 20 % и более при 10 имп/сут и меньше или на 10 % и более при 10 имп/сут и больше.

### **Прогноз внезапных прорывов газа из почвы выработок**

Источниками газовыделения, которые могут вызывать внезапные прорывы газа в горные выработки, являются зоны дизъюнктивных геологических нарушений протяженностью до 110 м по нормали от плоскости смесителя и газоносные пласты (прослойки) угля или углистого сланца, расположенные в почве выработки на расстоянии до 25 м по нормали к наслоению пород. Прогноз выполняют с помощью компьютерной программы: определяют два показателя – глубину разрушения пород в почве выработки и расстояние до источника газовыделения. Если глубина разрушения пород (м) равна или больше расстояния до источника газовыделения (м), то выработку относят к опасной по внезапным прорывам газа и проведение её осуществляют с текущим прогнозом опасности прорыва газа и применения способов предотвращения этих явлений.

### **Способы прогноза по эффективной поверхностной энергии (ЭПЭ)**

Для прогноза по эффективной поверхностной энергии (ЭПЭ) отбирают пробы из части керна не менее 200 мм на участке деления его на диски или наличия кольцевых и из участка, где диски и кольцевые трещины отсутствуют. Из каждой пробы изготавливают не менее трех образцов для определения ЭПЭ и вычисляют средние значения для каждой пробы. Прогноз выбросоопасности песчаника определяют по безразмерному показателю  $B_{эпэ}$  по формуле [1, с. 187]:

$$B_{\text{эпэ}} = \frac{(3\rho_H g_{\text{сн}} H)^2}{A_n E_1 \gamma_1} - \frac{\gamma_2}{\gamma_1}, \quad (5.1)$$

где  $H$  — глубина залегания пород, м;

$g_{\text{сн}}$  — ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

$\rho_H$  — объёмный вес вышележащих пород, т/м<sup>3</sup>;

$A_n$  — удельная поверхность разрушенного материала, м<sup>2</sup>;

$E_1$  — модель упругости песчаника на участке деления керна на диски или наличия кольцевых трещин, т/м<sup>2</sup>;

$\gamma_1$  и  $\gamma_2$  — среднее значение ЭПЭ по пробам керна на участках наличия дисков или кольцевых трещин или отсутствия их соответственно, м·с<sup>2</sup>.

Критерий выбросоопасности  $B_{\text{эпэ}} > 1$  — песчаник выбросоопасный,  $B_{\text{эпэ}} < 1$  — песчаник невыбросоопасный.

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

Выбросоопасность песчаника (слоя) устанавливают по безразмерному комплексному критерию, который рассчитывается по сумме рангов всех показателей по формуле [1, с. 188]:

$$B = \frac{(B_1 + B_2 + B_3 + B_4 + B_5 + B_7)}{12 +} + \frac{B_6}{2}, \quad (5.2)$$

где  $B_1 \dots B_7$  — ранги прогностических показателей выбросоопасности.

При  $B \leq 0,35$  песчаник относят к невыбросоопасным. Если  $B = 0,36 \dots 0,39$ , то необходимо дополнительное опробование. При  $B \geq 0,4$  песчаник относят к выбросоопасным. Заключение о результатах прогноза выбросоопасности пород подписывают геолог и руководитель службы прогноза

шахты, согласовывают с соответствующим разработчиком способа прогноза и утверждают главным инженером шахты.

### **Прогноз выбросоопасности угольных пластов и пород по геолого-физическим данным**

Прогноз производится геологоразведочными организациями, в том числе по данным геологоразведочных скважин, пробуренных с поверхности. В остальных случаях с глубины, определяемой данными таблицы 6.1, осуществляется прогноз выбросоопасности шахтопластов. Шахтопласт относится к невыбросоопасным независимо от глубины разработки и природной газоносности, если комплексный показатель степени метаморфизма  $M > 27,7$  у.е. или  $lg \rho < 3,3$ , а также, значений, указанных в таблице 5.1. Расчет комплексного показателя, если для углей конкретной степени метаморфизма природная газоносность или глубина разработки меньше  $M$  производится при  $V^{daf} = 9-29\%$  по формуле  $M = V^{daf} - 0,16$  у.е., при  $V^{daf} > 29\%$  по формуле:

$$M = \left[ \frac{4V^{daf} - 91}{y + 2,9} + 24 \right], \text{ у.е.}, \quad (5.3)$$

где  $y$  – толщина пластического слоя угля при спекании, мм (для неспекающихся углей  $y = 0$ ).

Таблица 5.1 – Показатели отнесения пластов к угрожаяемым по внезапным выбросам угля и газа

Выход летучих веществ, $V^{daf}$ , % ( $lg \rho$ )	Комплексный показатель степени метаморфизма угля, $M$ , у.е.	Природная газоносность пласта, $X$ , $\text{м}^3/\text{тс. б. м.}$	Глубина, с которой осуществляют прогноз, м
От 9,0 и более	от 26,6 до 27,7	8 и более	410
	от 24,1 до 26,5	8 и более	400
	от 22,0 до 24,0	9 и более	390
	от 17,0 до 21,9	10 и более	370
	от 12,8 до 16,9	12 и более	340
	от 9,0 до 12,7	15 и более	300
Менее 9,0 (но $lg \rho \geq 3,3$ )	—	16 и более	150

При ведении геологоразведочных работ геологоразведочные организации осуществляют прогноз выбросоопасности угольных пластов и пород (песчаников) на основании анализа проб, отбираемых из кернов на участках пересечения геологоразведочными скважинами угольных пластов с глубин 150 – 400 м, а песчаников – с глубин не менее 600 м.

### **Предотвращение и локализация внезапных выбросов породы и газа**

Проведение полевых выработок по выбросоопасным песчаникам без применения дополнительных мероприятий допускается при условии опережения забоем отрабатываемого защитного угольного пласта забоя полевой выработки на величину не менее мощности пород междупластья. В незащищённых зонах – проведение выработок уменьшенным сечением с последующим увеличением его до проектного, использования оптимальных параметров БВР, возведение заградительных перемычек, образование разгрузочных пазов (щелей). Эти мероприятия предотвращают, локализуют и ограничивают объём выбрасываемых песчаников.

## **6 ПРОГНОЗ ВЫБРОСООПАСНОСТИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ ПО ПАРАМЕТРАМ АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА**

### **6.1 Теоретические основы способов прогноза газодинамических явлений по параметрам акустического сигнала**

В Макеевском научно-исследовательском институте ведения работ в горной промышленности (МАКНИИ) разработаны способы прогноза газодинамических явлений по параметрам акустического сигнала, основанные на регистрации и обработке акустического сигнала, возникающего при воздействии выемочных/проходческих машин на забой в процессе выемки угля. Акустический сигнал при помощи аппаратуры типа АПСС передается из забоя на поверхность, где он обрабатывается в реальном времени на персональном компьютере по специальной программе. Обработка информации, ее анализ и заключение о степени опасности забоя выполняется программой автоматически, за счёт чего достигается объективность получаемых результатов. Создание такого способа стало возможным в результате установленных зависимостей изменения параметров акустического сигнала от напряженно-деформированного состояния призабойной части массива.

Поглощение энергии упругих волн в горных породах неоднозначно зависит от частоты колебаний. Так затухание колебаний, обусловленное диссипативными потерями, увеличивается с увеличением частоты. Затухание энергии за счёт рассеивания зависит от соотношения между размерами неоднородностей и длиной волны.

Вариация значений частоты спектра акустического сигнала и напряженного состояния призабойной области пласта в коротком временном интервале связана с поведением пород кровли, на силовое воздействие которой угольный пласт реагирует или не реагирует отжимом угля в выработанное пространство.

Особенность формирования акустического сигнала в слоистом массиве заключается в следующем. Если в горной выработке нанести удар по кровле, состоящей из трех слоев различных пород, зафиксировать акустический отклик на

такое импульсное возбуждение массива и исследовать его спектральный состав, то окажется, что он представлен суперпозицией трёх резонансных частот.

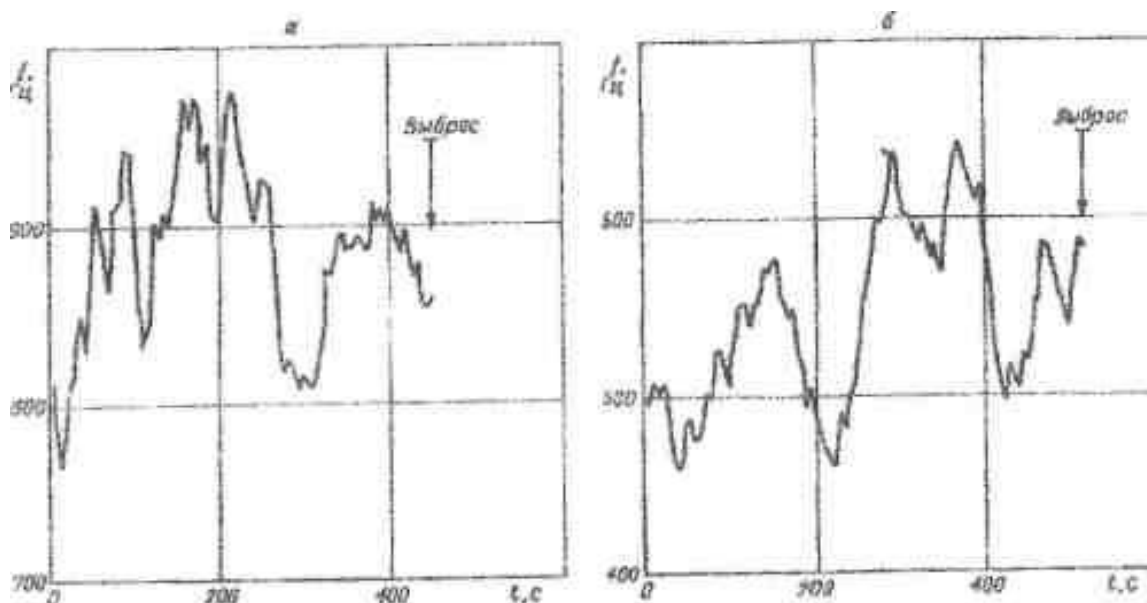


Рисунок 6.1 — График средней частоты колебаний, возбуждаемых работой отбойного молотка, перед внезапными выбросами угля и газа:

а — пласт Толстый, гор. 740 м шахты им. М.И. Калинина; б — пласт Толстый, гор. 740 м шахты им. А.И. Гаевского

Связь резонансной частоты  $c$  с мощностью слоя  $h$  описывается следующей формулой [«Поле упругих колебаний как исследовательский инструмент в горном деле», Гликман А.Г., 1984]:

$$f_p = \frac{c}{h}, \quad (6.1)$$

где  $c$  — фазовая скорость поперечных волн (2500 м/с).

Из формулы следует, что частота резонансных колебаний обратно пропорциональна мощности слоя, в котором они возникают, и не зависит ни от каких других факторов. Фактически слои горных пород выступают в роли камертона.

В процессе изгиба толщи пород происходит ее разрушение (скалывание) по продольной плоскости, близкой к середине, так как вдоль неё возникают максимальные касательные напряжения (Рисунок 6.2).

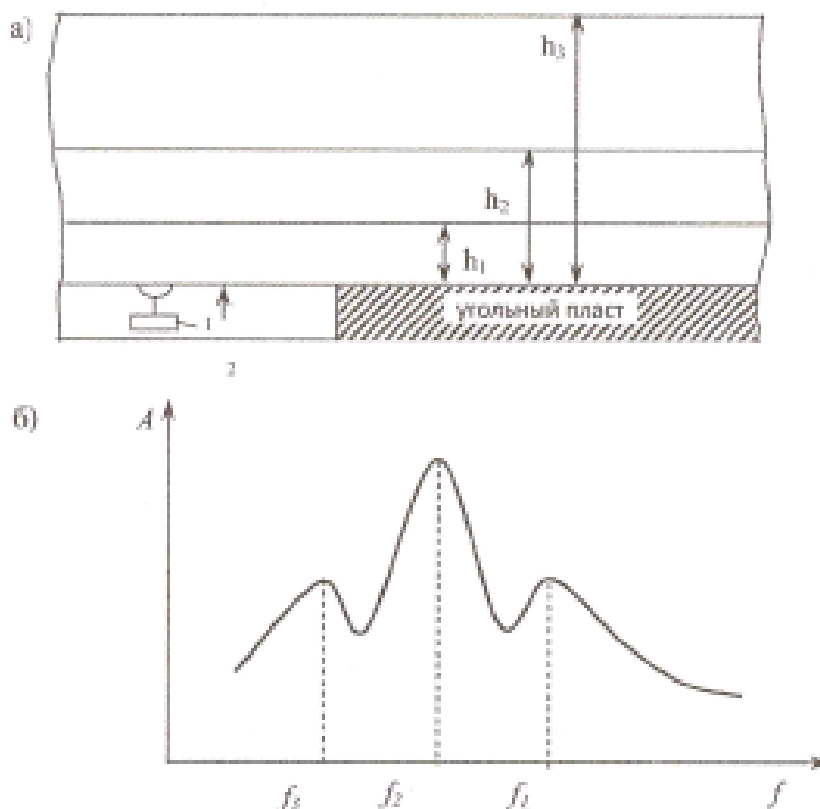


Рисунок 6.2 – Схематическое строение пород кровли (а) и соответствующий ему спектр акустического сигнала при импульсном возбуждении массива в точке 1 (2 — регистратор акустического сигнала).

В процессе активного деформирования при выемке угля в одном цикле, как показали шахтные исследования, вовлекаются слои пород на расстоянии до 40-60 м. При этом установлено наличие ослабленных контактов на расстоянии 20; 10; 5; 2,5 м от угольного пласта. Расслоение пород кровли происходит последовательно, начиная с разрушения мощных слоев пород, затем в этот процесс вовлекаются слои в два раза меньшей мощности.

## 6.2 Техническое обеспечение прогноза газодинамических явлений по параметрам акустического сигнала

В МАКНИИ разработаны и внедрены на шахтах Донбасса следующие способы прогноза газодинамических явлений, основанные на обработке и анализе акустического сигнала:



1. Прогноз выбросоопасности угольного пласта в очистных и подготовительных забоях по параметрам техногенного акустического сигнала.
2. Прогноз внезапных выдавливаний угольного пласта.
3. Определение параметров напряженно-деформированного состояния призабойной части горного массива.
4. Текущий прогноз прорывов метана из почвы горной выработки.
5. Оперативное управление процессом гидрорыхления выбросоопасного угольного пласта.
6. Опережающее отключение электроэнергии в начальной стадии внезапного выброса угля и газа.
7. Контроль и оценка эффективности бурения опережающих скважин.

Для выполнения локального контроля состояния горного массива и прогноза выбросоопасности пласта по длине очистного забоя или вдоль пройденной подготовительной выработки, разработан шахтный цифровой регистратор (Рисунок 6.3), позволяющий с помощью акустического зондирования пород кровли оперативно решать указанные задачи. Регистратор представляет собой электронное устройство, состоящее из сеисмоприемника и блока регистрации, которое принимает и дописывает в энергонезависимую память акустический сигнал. В месте проведения исследований, по обе стороны от него, на расстоянии 2 – 3 м ударом молотка (10-12 ударов) по породам кровли, или по угольному пласту возбуждаются упругие колебания, и акустический отклик массива посредством сеисмоприемника записывает шахтный регистратор. Дальнейшая обработка данных осуществляется на поверхности с помощью специальных программ на персональном компьютере [1].

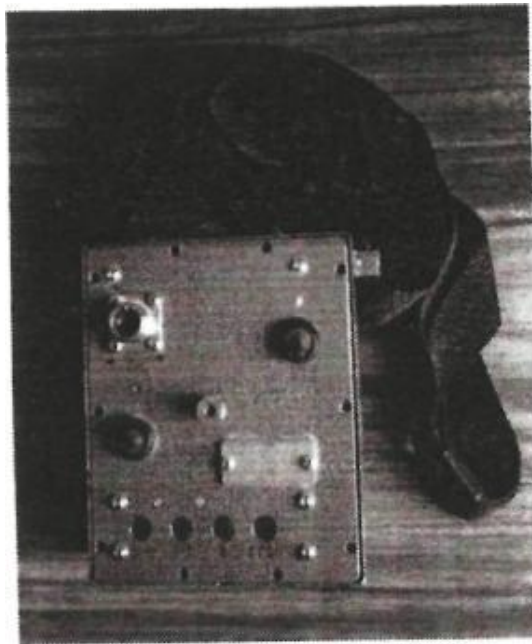


Рисунок 6.3 – Общий вид шахтного цифрового регистратора

Техногенный сигнал обрабатывают в течение всего цикла работы комбайна по забою. О начале цикла горный мастер через переговорное устройство сообщает оператору.

### **6.3 Прогноз выбросоопасности угольных пластов по акустической эмиссии горного массива**

Наблюдения за АЭ горного массива организовывается следующим образом [1]:

- передача информации об АЭ должна осуществляться по самостоятельному каналу связи, параметры и пригодность к эксплуатации которого определяются специализированным институтом не реже двух раз в год и при вводе в действие каждого канала;

- на поверхности пункт регистрации активности АЭ состоит из помещения для размещения аппаратуры ЗУА площадью не менее  $15 \text{ м}^2$  на каждые два самостоятельные канала регистрации, подсобного помещения и комнаты руководителя службы прогноза;

## 7 ВНЕЗАПНЫЕ ВЫДАВЛИВАНИЯ УГЛЯ

### 7.1 Прогноз выбросоопасности пород

Прогноз выбросоопасности пород при проведении горных выработок осуществляют по делению кернов на диски и наличию кольцевых трещин, по эффективной поверхности энергии (ЭПЭ) или по геолого-геофизическим данным. Выбросоопасность пород определяют на основании анализа кернового материала, полученного при бурении скважин диаметром от 59 мм до 76 мм. Длина скважин не ограничивается, но неснижаемое опережение их впереди забоя выработки должно быть не менее 2 м. Керновые скважины бурят в направлении продвижения выработки и располагают [1]:

Выбросоопасность пород определяют на основании анализа кернового материала при бурении скважин  $\varnothing$  59-76мм, при условии обеспечения неснижаемого опережения забоя выработки - не менее 2м. Критерий выбросоопасности –  $30 \div 40$  и более выпукло-вогнутых дисков в 1 м керна – степень выбросоопасности высокая, при 30 и менее – степень выбросоопасности средняя, при выходе кернов длиной  $150 \div 200$  мм и более, опоясанных кольцевыми и перемежающимися единичными дисками – степень выбросоопасности низкая, при отсутствии дисков и кольцевых трещин песчаник относят к невыбросоопасным. Вместе вскрытия прогноз производят с расстояния не менее 3 м от забоя выработки до песчаника по нормали.

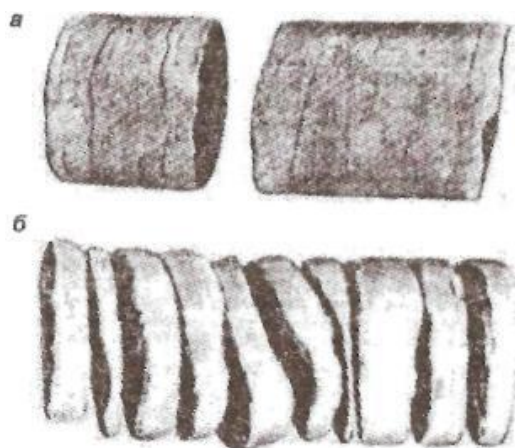


Рисунок 7.1 — Характер деления кернов песчаника на диски и образования кольцевых трещин:

а – в невыбросоопасной зоне; б – в выбросоопасной зоне.

**Степень выбросоопасности пород** определяют по интенсивности деления кернов на диски и образованию кольцевых трещин:

- при наличии от 30 до 40 и более выпукло-вогнутых дисков в 1,0 м керна: высокая степень выбросоопасности;
- при наличии в 1,0 м керна не более 30 дисков, перемежающихся участками керна длиной от 50 мм до 100 мм с характерными кольцевыми трещинами: средняя степень выбросоопасности;

## **7.2 Прогноз выбросоопасности угольного пласта по сорбционным показателям угля**

**Сорбционные показатели угля** – серия определений давления десорбированного газа в герметичном пробозаборнике из пробы угля, отобранной во время бурения контрольного шпура. Данные определения давления используются для вычисления прогностического параметра выбросоопасности  $\Delta P$  [1].

Прогноз выбросоопасности угольного пласта осуществляется путём сопоставления текущего значения прогностическими параметрами  $\Delta P$  с его критическим значением  $\Delta P_k$ .

Критические значения прогностических параметров определяют как средние с учётом среднеквадратичного отклонения по выборке разведочных наблюдений по 30 измерениям на каждом из интервалов в неопасной по выбросам зоне, установленной другим методом текущего прогноза выбросоопасности, или на участке ведения горных работ с применением способа предотвращения внезапных выбросов угля и газа.

Значение  $\Delta P_k$  рассчитывается по формуле:

$$\Delta P_k = \overline{\Delta P} + k \cdot \delta, \quad (7.1)$$

где  $\overline{\Delta P}$  – среднее значение прогностического параметра.

$$\Delta P_k = \frac{1}{n} \sum \Delta P_i, \text{ мм. рт. ст.} \quad (7.2)$$

где  $n$  – количество определений (не менее 30);

$\Delta P_i$  – значение прогностического параметра в каждом цикле измерений;

$\delta$  – среднеквадратическое отклонение, которое характеризует естественный разброс значений в безопасной зоне;

$k$  – коэффициент, учитывающий горно-геологические условия залегания пласта и технологию проведения горных работ.

Результаты прогноза горный мастер службы прогноза заносит в наряд-путёвку горного мастера эксплуатационного (подготовительного) участка.

### 7.3 Прогноз опасности внезапных выдавливаний угля на основе параметров акустического сигнала

Прогноз «опасно» выдаётся компьютером, если текущее значение показателя равно или превышает его критическую величину, установленную на стадии разведочных наблюдений по методике и программе МАКНИИ. Критическое значение показателя вносят в паспорта выемочного или проходческого участка.

Уровень проявления внезапных выдавливаний угля существенно ниже уровня проявления других видов ГДЯ. Поэтому нормативная база по безопасной разработке пластов, склонных к внезапным выдавливаниям, была создана только в конце 2004 г [2].

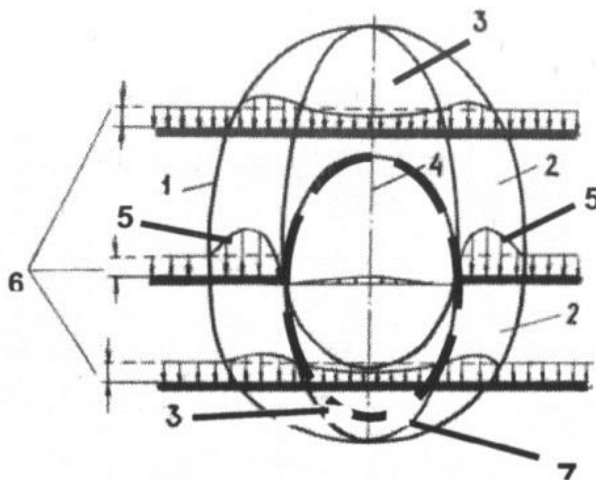


Рисунок 7.2 – Геомеханические зоны влияния очистной выработки

Как установлено исследованиями, перед явлением происходит переход от жёсткого режима нагружения к «мягкому», т.е. проявлению в породах кровли многочисленных ослабленных контакт (ОК).

## **8 ПРОГНОЗ УДАРООПАСНОСТИ ГОРНЫХ ПОРОД. СПОСОБЫ БОРЬБЫ С УДАРООПАСНОСТЬЮ ГОРНЫХ ПОРОД. БЕЗОПАСНАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ВЕДЕНИЯ ГОРНЫХ РАБОТ**

### **8.1 Понятие о горном ударе. Механизм горных ударов**

**Горный удар** – это мгновенное хрупкое разрушение целика или краевой части массива угля с отбросом или без выноса угля в выработку; образование или отсутствие полости; при образовании полости – ширина больше глубины; преобладание в разрушенном угле крупных кусков; наличие щели между пластом и кровлей [3].

**Поражающими факторами являются** механическое воздействие разрушенного угля и ударная волна. Влияющими факторами являются: напряжённое состояние горных пород; высокие прочностные и деформационные свойства угля и боковых пород.

**Условиями, способствующими возникновению горных ударов,** являются: отработка оставленных целиков угля; ведение горных работ встречными и догоняющими забоями; проведение выработок в зонах влияния очистных забоев, зонах ПГД и в зонах влияния геологических нарушений.

**Предупредительными признаками являются:** толчки в углепородном массиве; отскакивание кусочков угля, породы; повышенное горное давление; повышенный выход буровой мелочи и зажатие бурового инструмента.

### **8.2 Прогноз удароопасности горных пород**

Прогноз удароопасности участков осуществляют по выходу буровой мелочи (л/м, кг/м) при бурении контрольных шпуров Ø 42-43 мм по угольному пласту в забоях подготовительных и очистных выработок. Данные заносятся в журнал. Степень удароопасности определяется по номограмме, разделённой на 3 участка: I – участок повышенной опасности; II – участок опасный; III – участок неопасный.

### **8.3 Порядок вскрытия подготовки и отработки удароопасных пластов**

Вскрытие опасных и угрожаемых по горным ударам пластов производят по породам или неопасным пластам. Полевые штреки и квершлагги проводят в разгруженной зоне с отставанием от очистных работ. Подготовка шахтного поля должна обеспечивать отработку пластов без оставления целиков. В этих условиях выработки проводятся широким ходом с выкладкой бутовых полос, с минимальным числом опережающих выработок. В качестве способа управления кровлей рекомендуется полное или частичное обрушение и закладка. В зоне геологических нарушений осуществляют меры предупреждения горных ударов.

### **8.4 Системы разработки удароопасных пластов**

При разработке удароопасных пластов рекомендуется применять системы разработки, при которых не проходятся наклонные выработки по пласту впереди очистных забоев. Эти выработки следует располагать по породе или по неудароопасному пласту. Не применяются системы разработки с встречными и догоняющими забоями. Пласты, опасные по горным ударам, рекомендуется отрабатывать прямолинейными забоями. На крутых пластах как исключение допускается потолкоуступная форма очистного забоя. Управление кровлей рекомендуется полным или частичным обрушением.

### **8.5 Механизация выемки угля на удароопасных пластах, меры безопасности**

Пласты, опасные по горным ударам, рекомендуется отрабатывать прямолинейными забоями. На крутых пластах как исключение допускается потолкоуступная форма очистного забоя. Управлять комбайнами необходимо с применением дистанционного включения и выключения с расстояния не менее 15м. Не

допускается нахождение людей у работающих машин. Запрещается применять ручные инструменты для выемки угля.

## **8.6 Порядок вскрытия, подготовки и отработки удароопасных пластов**

Вскрытие опасных и угрожаемых по горным ударам пластов производят по породам или неопасным пластам. Полевые штреки и квершлагги проводят в разгруженной зоне с отставанием от очистных работ. Подготовка шахтного поля должна обеспечивать отработку пластов без оставления целиков. В этих условиях выработки проводятся широким ходом с выкладкой бутовых полос, с минимальным числом опережающих выработок.



## 9 ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ ПРИ ВСКРЫТИИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

### 9.1 Проведение работ при вскрытии пласта

Вскрытие полевыми выработками и стволами выбросоопасных и угрожаемых пластов и пропластков мощностью более 0,3 м осуществляют сотрясательным взрыванием или проходческими комбайнами (комплексами) с дистанционным управлением в следующей последовательности [3]:

- разведка положения пласта (пропластка) относительно забоя вскрываемой выработки;
- введение режима сотрясательного взрывания или дистанционного управления;

Сотрясательное взрывание или дистанционное управление вводят независимо от результатов прогноза выбросоопасности при приближении забоя выработки к пласту и отменяют после удаления от пласта на расстояниях по нормали к пласту соответственно не менее 4 и 2 м. При этом величина обработанной зоны пласта за контуром выработки должна составлять не менее 4 м. Обнажение пластов и пересечение пропластков взрывными работами производят при наличии породной пробки между выработкой и крутым пластом (пропластком) не менее 2 м, пологим, наклонным и крутонаклонным – не менее 1 м по нормали к пласту. При вскрытии пластов стволами прогноз и способы предотвращения выбросов могут, не применяться при условии обнажения и пересечения пласта с помощью буровзрывных работ за один прием, а стволов, проводимых способом бурения при условии дистанционного управления комплексом с поверхности. Вскрытие пластов промежуточными квершлагами и породными скатами (ортами) производят, как правило, проведение сбойки с заранее пройденной по пласту выработкой, а вскрытие крутого пласта углеспускными скатами производят на участке пласта, обработанного противовыбросными мероприятиями из забоя нижней печи. В забой вскрываемой выработки с расстояния 4 м по нормали к пласту одновременно допускается не более 3-х человек, а в забой ствола – с расстоянием

6 м из расчета возможности подъема всех людей за один прием. Перед началом проведения вертикального ствола в пределах его проектного сечения производится разведка всей пересекаемой толщи пород разведочной скважиной. В углубляемых стволах разведку скважиной осуществляют с расстояния 10 м. Для предотвращения внезапных выбросов при вскрытии пластов стволами может применяться бурение дренажных скважин, возведение каркасной крепи, гидрообработка угольного массива или сочетание этих способов.

Для предотвращения ГДЯ при вскрытии угольных пластов стволами производят бурение дренажных скважин, возведение каркасной крепи, гидрообработку угольного массива, а в сложных горно-геологических условиях – сочетание этих способов [1].

При вскрытии стволами с гидрорыхлением угольного массива нагнетание воды в пласт осуществляют через скважины диаметром от 43 до 60 мм, пробуренные с расстояния не менее 3 м по нормали к пласту. В середине забоя по оси ствола бурят контрольную скважину диаметром до 80 мм. При диаметре ствола 6 м бурят 5-6 скважин для нагнетания воды; при диаметре ствола 8 м бурят 7÷8 скважин (Рисунок 9.1). Герметизацию скважин осуществляют цементным раствором на величину породной толщи между забоем ствола и пластом.



Рисунок 9.1 – Схема расположения скважин для гидрорыхления крутого и крутонаклонного пласта из забоя ствола:

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 – скважины для гидрорыхления угольного массива; 9 – контрольная скважина; I, II – циклы обработки.

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

## 9.2 Вскрытие стволами с бурением дренажных скважин

Сущность способа заключается в том, что в направлении проведения ствола бурят скважины для снижения природной метаноносности и устранения выбросоопасности. Эффективность способа достигается за счет образования вокруг скважины зоны неупругих деформаций, оцениваемой радиусом эффективного влияния скважины  $R_{эф}$ , в пределах которого пласт разгружен и дегазирован до уровня устранения выбросоопасности. Ориентируют скважины таким образом, чтобы эти зоны накладывались или соединялись, т. е. чтобы точки выхода скважин из пласта были удалены друг от друга не более чем на  $2R_{эф}$ . При этом точки выхода скважин из пласта должны быть расположены в пределах необходимой зоны его обработки на расстоянии не более  $R_{эф}$  от контура этой зоны.

## 9.3 Вскрытие пласта стволами с возведением каркасной ограждающей крепи

Сущность способа заключается в том, что в направлении проведения ствола бурят систему скважин диаметром  $42 \div 80$  мм, в которых затем закрепляют (цементируют) металлические стержни диаметром  $36 \div 38$  мм или трубы диаметром  $40 \div 50$  мм.

Скважины для каркасной крепи бурят с расстояния 2 м от пласта по нормали и располагают радиально через  $0,3 \div 0,5$  м, считая по точкам входа скважин в пласт. Угол наклона скважин должен быть таким, чтобы в плоскости забоя любой заходки они располагались на расстоянии не менее 1,5 м от проектного контура ствола при бурении скважин по углу. Крепь должна опережать забой ствола не менее чем на 2 м. Свободные концы стержней (труб) заделывают в постоянную крепь ствола на длину не менее 2 м.

## 9.4 Вскрытие стволами с гидрорыхлением угольного массива

Способ основан на применении высоконапорного режима нагнетания, обеспечивающего разрушение угольного пласта (гидрорыхление), которое приводит не только к разгрузке необходимого участка пласта, но и к его интенсивной дегазации. С учетом необходимости разрушения пласта примерно по оси выработки бурят контрольную (компенсационную) скважину диаметром 100 мм – своеобразную плоскость обнажения, на которую рассчитывают произвести разрушение на первом этапе нагнетания.

Эффективный радиус нагнетания воды в пласт составляет  $R_{эф} \leq 0,8l_r$ , а расстояние между скважинами не должно превышать  $2R_{эф}$  [2].

Выемку угля после гидрорыхления допускается производить не более чем на глубину  $l_r$ .

Количество воды  $Q$  в метрах кубических, нагнетаемой в одну скважину определяют по формуле:

$$Q = \frac{2 \times R_{эф} \times q_{ж} \times m \times \gamma_y (l_r + l_n)}{1000}, \quad (9.1)$$

где  $q_{ж}$  – удельный расход воды, л/т;

$m$  – мощность пласта, м;

$\gamma_y$  – удельный вес угля, т/м<sup>3</sup>.

Давление нагнетаемой воды в мегапаскалях принимают согласно формуле:

$$P_H = (0,75 \dots 1,0) \gamma H, \quad (9.2)$$

где  $\gamma$  – удельный вес пород, кг/см<sup>3</sup>;

$H$  – глубина разработки пласта, м.

Темп нагнетания должен составлять не менее 3 л/мин.

Число скважин и схемы их расположения принимают в зависимости от ширины полосы угольного массива, подлежащего гидрорыхлению, и  $R_{эф}$ .

Ширину обрабатываемой полосы в метрах в подготовительных выработках определяют по формуле:

$$C_0 = B_y + 2 \times b_0, \quad (9.3)$$

где  $B_y$  – ширина угольного забоя, м;

$b_0$  – ширина обрабатываемой полосы за контуром выработки, принимая не менее  $(R_{эф} - 1)$ , м.

Для конкретных условий применения гидрорыхления глубину герметизации скважин, длину фильтрующей части их (величину неснижаемого опережения) и удельный расход воды, по которым рассчитывают остальные параметры, определяют на основании опытных нагнетаний, проведённых во вновь вводимых забоях, а затем не более, чем через 250 м подвигания их или при изменении горно-геологических условий ведения горных работ (мощности пласта, его строения, угла залегания, невозможности пробурить или загерметизировать скважину на требуемую глубину, преждевременных прорывах воды в забой и пр.).

## **9.5 Вскрытие пласта полевыми выработками с бурением дренажных скважин**

При подходе вскрывающей выработки к пласту с расстояния не менее 10 м по нормали из забоя выработки на пласт бурят разведочные скважины для уточнения месторождения, угла падения и мощности пласта. При подходе выработки на расстояние не менее 3 м по нормали к пласту бурят две – три контрольные скважины (шпуры) диаметром 42-43 мм для определения значений показателей выбросоопасности пласта в месте вскрытия (Рисунок 9.2). Отбор проб угля с разделением их по угольным пачкам производят колонковой трубой или с помощью керноотборника. Скважины для отбора проб угля должны пересекать пласт на расстоянии от 1,0 до 1,5 м за контуром выработки, при этом расстояние между скважинами (шпурами) в плоскости пласта должно быть не менее 2 м [1].

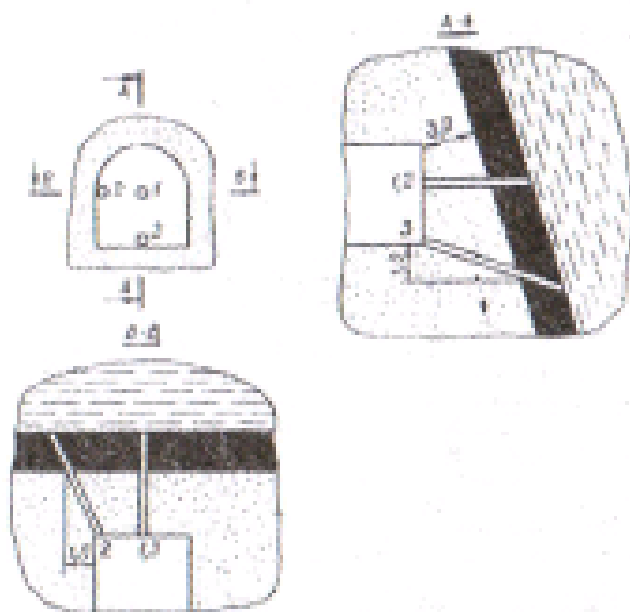


Рисунок 9.2 – Схема расположения контрольных скважин (шпуров) при выполнении прогноза выбросоопасности угольного пласта перед вскрытием:

1,2,3 контрольные скважины (шпуры).

После окончания бурения, буровую штангу извлекают, вводят в скважину (шпур) газозатвор типа ЗГ-1 (или гибкого шлангового затвора типа ГШМ) с перфорированной насадкой и герметизируют измерительную камеру. Качество герметизации проверяется попыткой извлечь газозатвор из скважины. Если он остаётся неподвижным, то герметизация считается надёжной и к газозатвору резиновой трубкой подсоединяют расходомер газа типа ПГ-2МА, с помощью которого измеряют скорость газовыделения.

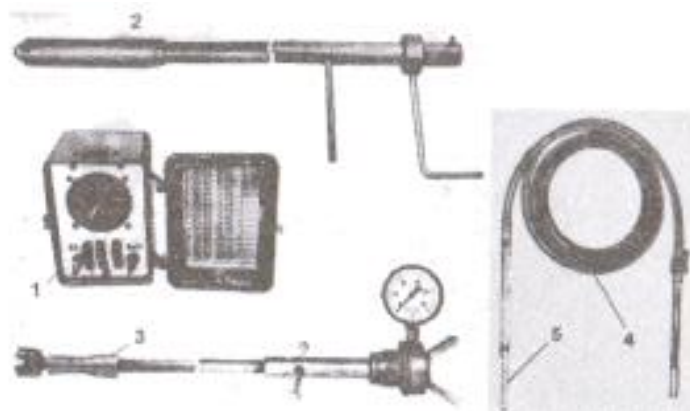


Рисунок 9.3 – Технические средства для прогноза выбросоопасных зон в угольных пластах:

1 – расходомер газа типа ПГ-2МА; 2 – газозатвор ЗГ-1; 3 – крепостемер ПК-1; 4 – герметизатор скважин ГШМ; 5 – перфорированная насадка.

Определение йодного показателя и коэффициента крепости угля производят в лабораторных условиях по пробам, отобранным из угольного керна (каждой угольной мощностью 0,2 м) при бур-

нии контрольных скважин (шпуров). Если разделение проб угля по пачкам невозможно, то  $\Delta J$  и  $f$  определяют по общей пробе. Коэффициент крепости угля  $f$  по шкале М.М. Протодяконова определяют методом толчения угольных проб с помощью прибора ПОК по Методике определения разрушаемости и коэффициента крепости угля. К учёту принимают максимальное значение начальной скорости газовыделения ( $g_H$ ), йодного показателя ( $\Delta J$ ) и минимальное значение коэффициента крепости пород по М.М. Протодяконова ( $f$ ). Ситуацию перед вскрытием оценивают как не выбросоопасную при одновременном выполнении трёх условий:

$$g_H \leq 2,0 \frac{\text{л}}{\text{мин}}, \quad \Delta J \leq 3,5 \frac{\text{мг}}{\text{г}}, \quad f \geq 0,6.$$

Если величина хотя бы одного из трёх показателей не соответствует указанному условию, ситуацию считают опасной и вскрытие пласта осуществляют при прогнозе «опасно».

## **9.6 Борьба с газодинамическими явлениями при вскрытии угольных пластов квершлагами и другими подготовительными выработками**

Вскрытие пластов квершлагами и другими выработками за пределами околоствольного двора осуществляют после проведения вентиляционной сбойки на вышележащий горизонт для обеспечения проветривания нового горизонта за счёт общешахтной депрессии. Проветривание тупиковой части вскрываемой выработки производят вентилятором местного проветривания [1].

При вскрытии крутых и крутонаклонных пластов гидрорыхление производят через 5–6 скважин, расположенных по схеме, показанной на рисунке 9.4. В середине забоя по оси квершлага бурят контрольную скважину диаметром не более 80 мм.

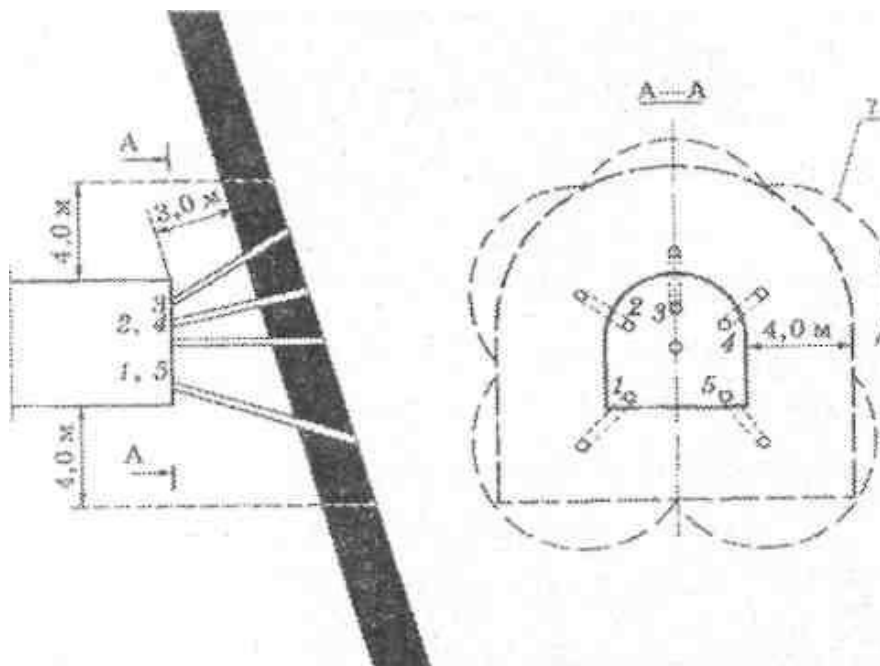


Рисунок 9.4 – Схема расположения скважин для гидрорыхления перед вскрытием крутого и крутонаклонного угольных пластов:

1, 2, 3, 4, 5 – скважины для гидрорыхления пласта; 6 – контрольная скважина; 7 – контур обработанной части пласта

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

### 9.7 Вскрытие пласта полевой выработкой с гидровывыванием угля

Вскрытие с гидровывыванием может применяться на крутых и пологих пластах при наличии мягких пачек с коэффициентом крепости угля  $f < 1$  и боковых породах средней устойчивости. Сущность способа заключается в том, что из забоя квершлага через породный целик (пробку) на угольный пласт бурят несколько скважин, которыми его перебуривают на всю мощность. Затем в определенной последовательности в скважинах высоконапорной струей воды угольный пласт размывается (вымывается). Для удержания нависающего угольного массива на пластах с неустойчивыми углями возводят металлический каркас по своду выработки, предварительно вымывают нависающую часть массива с последующим тампонирующим цементным раствором для создания искусствен-



ного свода или тампонируют всю вымытую полость с таким расчетом, чтобы при пересечении пласта вокруг выработки образовалось предохранительное кольцо толщиной не менее 1 м.

### **9.8 Вскрытие пласта полевой выработкой с возведением каркасной крепи**

Вскрытие пласта полевой выработкой с возведением каркасной крепи аналогично с вскрытием угольных пластов стволами. Металлическая каркасная крепь применяется при вскрытии крутых пластов, как правило, представленных мягкими, сыпучими углями и слабыми боковыми породами. Для возведения каркасной крепи через породную толщу по периметру выработки на расстоянии в среднем 0,3 м бурят скважины с таким расчетом, чтобы они пересекали пласт и входили в порода кровли (почвы) пласта не менее чем на 0,5 м.

### **9.9 Вскрытие пологих пластов комбайнами**

При вскрытии пологих пластов проходческими комбайнами приближение, пересечение и удаление от пласта осуществляют после выполнения прогноза выбросоопасности и способов предотвращения выбросов в опасных зонах. Проведение выработки на участке вскрытия, может производиться с образованием разгрузочных щелей, гидрорыхлением угольного массива в сочетании с ограничением скорости проходки выработки до 1 м/смену и скорости внедрения коронки исполнительного органа в массив 0,5 м/мин.

## 10 СПОСОБЫ КОНТРОЛЯ БЕЗОПАСНОСТИ БУРЕНИЯ И ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОПЕРЕЖАЮЩИХ СКВАЖИН ПО ПАРАМЕТРАМ АКУСТИЧЕСКОГО СИГНАЛА

**Опыт проведения подготовительных выработок по пластам, опасным по газодинамическим явлениям, на ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько»**

В 2004-2005 гг. для условий АП «Шахта им. А. Ф. Засядько» специалистами МАКНИИ разработан способ контроля безопасности бурения и оценки эффективности опережающих скважин по параметрам акустического сигнала. Способ согласован Центральной комиссией по вопросам вентиляции, дегазации и борьбы с ГДЯ в шахтах [2].

Проведение пластовых подготовительных выработок по выбросоопасным угольным пластам  $l_7$  и  $m_3$  бурением опережающих скважин производилось в соответствии с «Руководством по применению способов контроля бурения и оценки эффективности опережающих скважин по параметрам акустического сигнала в условиях ПАО «Шахта им. А.Ф. Засядько», разработанном МАКНИИ, ПАО «Шахта им. А. Ф. Засядько» и ООО «ЗУА».

Основное принципиальное отличие предложенного способа бурения опережающих скважин по сравнению с нормативным заключалось в следующем.

1. Изменены основные параметры способа бурения опережающих скважин: величина неснижаемого опережения  $l_H$  и минимальная длина скважин  $l_{min}$ .

2. Применён постоянный контроль безопасности в процессе бурения опережающих скважин на основе параметров акустического сигнала.

Угольный пласт  $l_1$  «Семеновский» мощностью от 1,70 до 1,98 м сложного строения, марки «К» имеет нарушенную структуру. Угол падения —  $10 \div 12^\circ$ . Природная метаноносность —  $22 \div 24 \text{ м}^3/\text{т с.б.м.}$  Пласт опасен по пыли, газу, сульфурным выделениям метана.

Реализация способа контроля процесса бурения опережающих скважин осуществляется на базе текущего прогноза выбросоопасности по параметрам акустического сигнала с применением аппаратуры передачи сейсмоакустическо-

го сигнала АПСС1 и специализированного программного обеспечения РКООМ024.0.

Бурение скважин считается эффективным, если по всем из них значения коэффициента пригрузки не превышает 2,0 или ниже по мере увеличения количества скважин (Рисунок 10.1).



Рисунок 10.1 – Коэффициент пригрузки в зависимости от длины скважины

Меры безопасности при проведении пластовых подготовительных выработок по особовыбросоопасным угольным пластам:

–при появлении сообщения «Опасная ситуация» бурение скважины осуществлять с дистанции 30 м при отсутствии людей на расстоянии 50 м от забоя. При сообщении «Опасно по зажатию бурового инструмента» снизить подачу для расштыбовки скважины;

–интервалы бурения с прогнозом «Опасно» наносить на планшет;

–при невозможности пробурить опережающие скважины на проектную длину проведение выработки следует проводить буровзрывным способом в режиме сотрясательного взрывания;

–при возникновении предупредительных признаков выбросоопасности бурение скважины прекращается, горный мастер на месте запрещает ведение работ и сообщает диспетчеру шахты.

Положительный опыт применения способа контроля безопасности бурения и оценки эффективности опережающих скважин имеется также на ГП УК «Шахта «Краснолиманская», ПАО «Краснодонуголь», Шахтоуправление «Суходольское-Восточное», ПАО «Шахтоуправление «Покровское».

## **11 СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ**

### **11.1 Региональные способы предотвращения газодинамических явлений**

Способы предотвращения ГДЯ разделяют на региональные и локальные [2].

К **региональным** относят способы предотвращения ГДЯ, осуществляемые извне действующих забоев — из других выработок разрабатываемого пласта, соседних пластов или с земной поверхности.

Предотвращение ГДЯ при применении региональных способов:

- 1) опережающая отработка защитных пластов;
- 2) дегазация надрабатываемых крутых пластов в зонах разгрузки.

Региональные способы предотвращения газодинамических явлений выполняются заблаговременно или предварительно до начала очистных и подготовительных работ, локальные выполняются в забоях во время их эксплуатации. К региональным способам относятся: опережающая отработка защитных пластов; дегазация надрабатываемых крутых выбросоопасных пластов в зонах разгрузки; увлажнения угольных пластов; передовое торпедирование пород кровли пласта; гидродинамическое воздействие на угольный пласт [3].

### **11.2 Опережающая отработка защитных пластов**

Применение опережающей разработки защитных пластов является обязательным и первоочередным требованием предотвращения внезапных выбросов. По сути, отработка защитных пластов относится к региональному, причем самому эффективному способу предотвращения выбросов. Защите подлежат пласты опасные и угрожаемые по ГДЯ и слои выбросоопасных пород. В свите пластов первоочередной отработке подлежит наименее опасный пласт. Механизм защитного действия заключается в том, что по мере отработки защитного пласта вслед за выемкой угля развиваются деформации упругого восстановления, упругого

последствия и обратной ползучести вмещающих пород, сопровождающиеся расслоением (обрушением) пород кровли и приводящие к изменению напряженного состояния горного массива, в том числе находящихся в зоне влияния угольных пластов. Краевые части и целики, оставленные на соседних пластах, создают зоны ПГД, которые являются участками повышенной опасности по ГДЯ. Построение границ зон ПГД выполняют в соответствии с рисунком 11.1.

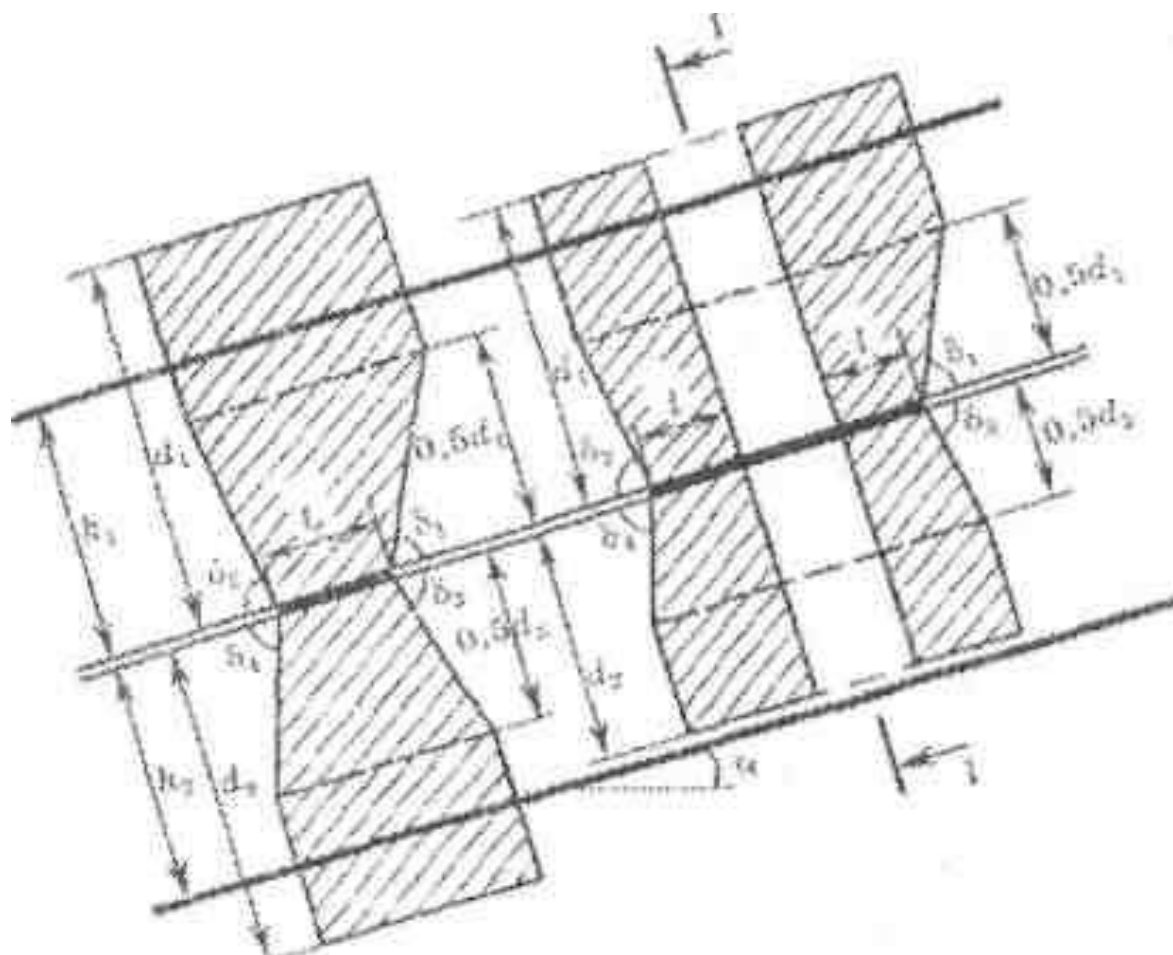


Рисунок 11.1 – Схемы к построению зон ПГД:  
 а – на разрезе вкрест простиранию пластов; б – на разрезе по простиранию пластов.

Изменения напряженного состояния горного массива, прослеживаются на более значительное расстояние над защитным пластом, чем под ним. Минимально допустимую мощность  $h_{min}$  междупластья при подработке, с точки зрения технологической возможности последующей разработки опасного по выбросам пласта, определяется по формулам:

$$h_{min} \geq K_r m \cos \alpha \text{ при } \alpha < 60^\circ, \quad (11.1)$$

$$h_{\min} \geq K_r m \sin \frac{\alpha}{2} \text{ при } \alpha \geq 60^\circ, \quad (11.2)$$

где  $m$  — мощность защитного пласта (слоя), м;

$\alpha$  — угол падения, град;

$K_r$  — коэффициент, учитывающий геологические и горно-технические условия разработки защитного пласта ( $K_r = 4$  при разработке защитного пласта с закладкой выработанного пространства;  $K_r = 6$  при разработке тонких и средней мощности пластов с полным обрушением кровли;  $K_r = 8$  при разработке мощного пласта щитовой системой с обрушением кровли при интенсивном перепуске пород с вышележащего горизонта;  $K_r = 10$  при разработке мощного пласта длинными столбами по простиранию или щитовой системой с обрушением кровли при затрудненном перепуске пород с вышележащего горизонта).

Для построения границ защищенных зон, в соответствии со схемами, показанными на рисунке 11.2 и 11.3.

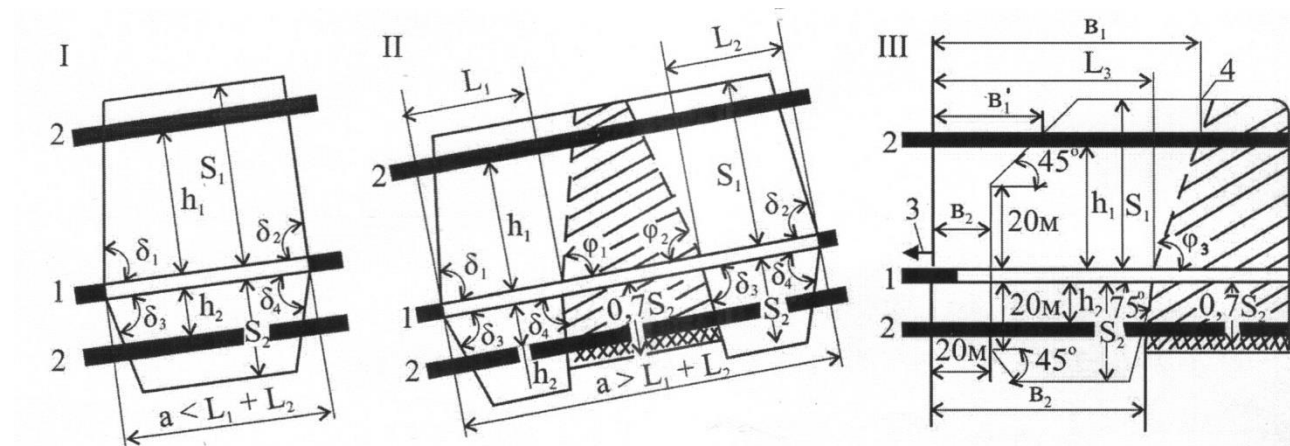


Рисунок 11.2 — Схема к построению защищенной зоны при отработке защитного пласта:

столбам по простиранию I — сечение вкрест простиранию при  $a < L_1 + L_2$ ; II — тоже при  $a > L_1 + L_2$ ; III — сечение по простиранию; 1 — защитный пласт; 2 — защищаемый пласт; 3 — направление подвигания очистного забоя защитного пласта;  $h_1$  и  $h_2$  — мощность пород междупластья над и под защитным пластом;  $\eta$  — содержание песчаников в составе междупластья, %;  $a$  и  $b$  — размеры выработанного пространства на защитном пласте соответственно по падению и простиранию; НЗ — область восстановления опасных нагрузок; НЗУ — незащищенный участок.

Влияние способа управления кровлей учитывается введением понятия эффективной мощности защитного пласта, при полном обрушении:

$$m_{\text{эф}} = m, \quad \text{м}, \quad (11.3)$$

а в случае применения закладки выработанного пространства:

$$m_{\text{эф}} = K_3 m, \quad \text{м}, \quad (11.4)$$

где  $K_3$  — коэффициент, учитывающий компрессионные свойства закладочного материала ( $K_3 = 0,2$  при гидравлической закладке,  $K_3 = 0,3$  при других видах закладки). Для пластов крутого падения принимают  $K_3 = 0,35$  — при гидрозакладке,  $K_3 = 0,45$  — при других видах закладки,  $K_3 = 0,7$  — при управлении кровлей удержанием на кострах,  $K_3 = 1$  — при управлении кровлей полным обрушением или плавным опусканием. Размеры защищенной зоны в кровлю (над пластом)  $S_1$  и в почву (под пластом)  $S_2$  определяют по схемам (Рисунок 11.2 и 11.3).

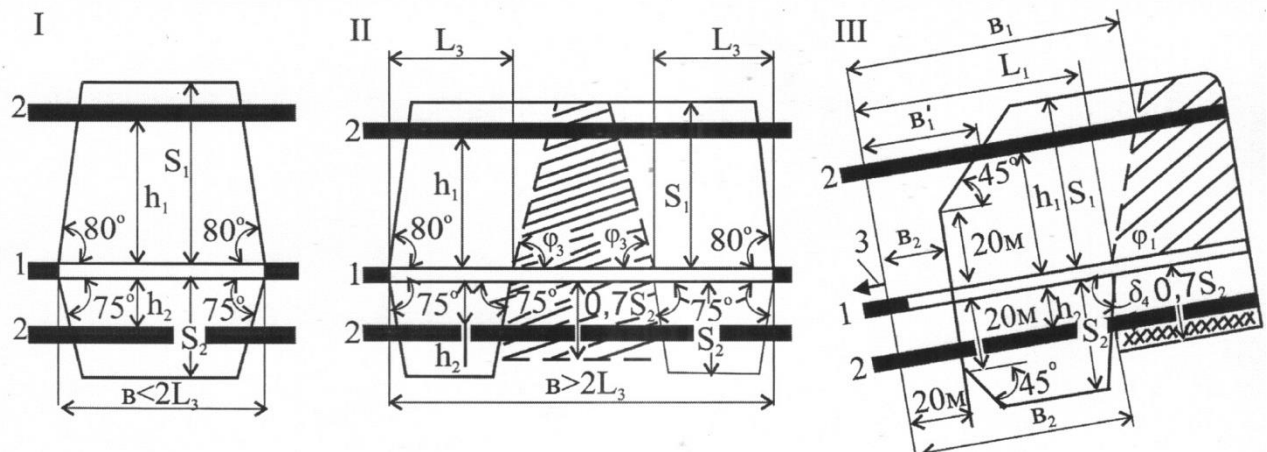


Рисунок 11.3 — Схема к построению защищенной зоны при отработке защитного пласта:

столбами по падению I — сечение по простиранию при  $b < 2L_3$ ; II — тоже при  $b > 2L_3$ ; III — сечение вкрест простиранию; 1 — защитный пласт; 2 — защищаемый пласт; 3 — направление подвигания очистного забоя защитного пласта; 3 — защищенная зона; НЗ — область восстановления опасных нагрузок; НЗУ — незащищенный участок.

Расчет производят по формулам:

$$S_1 = \beta_1 \beta_2 S'_1 \text{ и } S_2 = \beta_1 \beta_2 S'_2, \text{ м}, \quad (11.5)$$

где значения  $S'_1$  и  $S'_2$  берут из таблиц 11.1 и 11.2 [1].

Таблица 11.1 — Значения  $S'_1$  для различных глубин разработки

Глубина работ Н, м	Значения $S'_1$ , м							
	Наименьший размер а или в выработки в плане, м							
	50	75	100	125	150	175	200	≥250
1	2	3	4	5	6	7	8	9
300	70	100	125	148	172	190	205	220
400	58	85	112	134	155	170	182	194
500	50	75	100	120	142	154	164	174
600	45	67	90	109	126	138	146	155
800	33	54	73	90	103	117	127	135
1000	27	41	57	71	88	100	114	122
1200	24	37	50	63	80	92	104	113

Таблица 11.2 — Значения  $S'_2$  для различных глубин разработки

Глубина работ Н, м	Значения $S'_2$ , м						
	Наименьший размер а или в выработки в плане, м						
	50	75	100	125	150	200	≥250
300	56	67	76	83	87	90	92
400	40	50	58	66	71	74	76
500	29	39	49	56	62	66	68
600	24	34	43	50	55	59	61
800	21	29	36	41	45	49	50
1000	18	25	32	36	41	44	45
1200	16	23	30	32	37	40	41

Коэффициент  $\beta_1$ , учитывающий значение  $m_{эф}$ , рассчитывается по формуле:

$$\beta_1 = \frac{m_{эф}}{m_{0 \leq 1}}, \quad (11.6)$$

где  $m_0$  — критическое значение мощности защитного пласта.

Коэффициент  $\beta_2$ , учитывающий процентное содержание песчаников в составе пород междупластья определяется по формуле:

$$\beta_2 = 1 - \frac{0,4\eta}{100}. \quad (11.7)$$



Если для лав защитного пласта длиной больше 80 м в результате расчетов получено  $S_2 < 20$  м, то следует принимать  $S_2 = 20$  м.

Если  $h_1 < S_1$  при подработке или  $h_2 < S_2$  при надработке (Рисунок 11.3), то необходимо завершить построение защищенной зоны со стороны границ выработанного пространства и выделить участки, характеризующие восстановление опасных нагрузок. Для этого используются углы защиты  $\delta_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ) и углы давления  $\varphi_i$  ( $i = 1, 2, 3$ ), значения которых в функции от угла падения  $\alpha$  приведены таблице 11.3 [3].

Таблица 11.3 — Значения углов защиты и давления для различных углов падения

Угол падения $\alpha$ , град.	Угол защиты, град				Угол давления, град.		
	$\delta_1$	$\delta_2$	$\delta_3$	$\delta_4$	$\varphi_1$	$\varphi_2$	$\varphi_3$
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
0	80	80	75	75	64	64	64
10	77	83	75	75	62	63	63
20	73	87	75	75	60	60	61
30	69	90	77	70	59	59	59
40	65	90	80	70	58	56	57
50	70	90	80	70	56	54	55
60	72	90	80	70	54	52	53
70	72	90	80	72	54	48	52
80	73	90	78	75	54	46	50
90	75	80	75	80	54	43	48

Дальность эффективной защиты в почву в области восстановления опасных нагрузок составляет  $0,7S_2$ . Область восстановления опасных нагрузок включается в зону, защищенную от выбросов.

### 11.3 Увлажнение угольных пластов

Увлажнение угольного пласта производят путём нагнетания воды через длинные скважины, пробуренные по пласту из подготовительных выработок впереди очистного забоя, и применяют для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, внезапных выдавливаний угля и горных ударов. Для повышения эффективности увлажнения применяют водные растворы с добавками поверхностно-активных веществ (ПАВ) [1].

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

Результаты контроля и учёта работ по нагнетанию воды в пласт заносят в специальный журнал. Выемку угля в пределах увлажнённого участка пласта производят с текущим контролем эффективности увлажнения для предотвращения внезапных выбросов и выдавливаний угля.

#### **11.4 Передовое торпедирование пород кровли пласта**

Сущность способа, заключается в разгрузке и дегазации угольных пластов, опасных по внезапным выбросам, внезапным выдавливаниями угля и горным ударам путём торпедирования пород кровли скважинами зарядами заблаговременно, до начала ведения очистных работ.

Места заложения и направления скважин задаёт геолого-маркшейдерская служба угледобывающего предприятия [1].

Расстояние между линиями скважин определяют в зависимости от величины зоны разгрузки пласта и ширины захвата выемочного механизма. Величину зоны разгрузки определяют по динамике газовыделения из контрольных шпуров на расстоянии от 10 до 15 м откаточного штрека (ниши) не менее чем в трёх циклах контроля при пяти контрольных шпурах в одном цикле. Подвигание очистного забоя за период контроля составляет не менее 5 м.

#### **11.5 Гидродинамическое воздействие на угольный пласт**

Сущность гидродинамического воздействия заключается в многократном нагнетании и сбросе давления воды в скважине, что вызывает разупрочнение и дегазацию угольного пласта с использованием сил горного давления и находящегося в углепородном массиве газа. Нагнетательные скважины для гидродинамического воздействия на пласт бурят из полевой выработки согласно схемам, при-

ведённым на рисунке 11.4, до пересечения пласта на полную мощность [1].

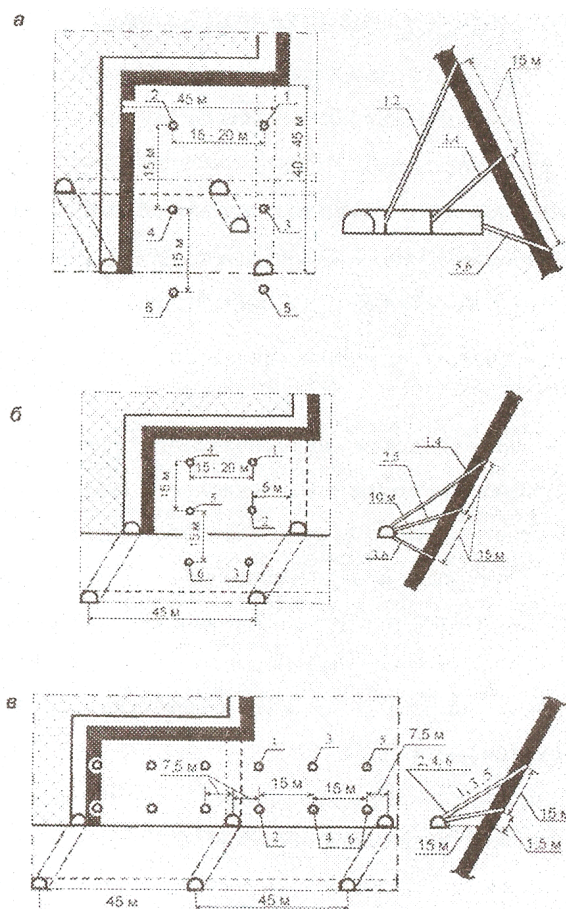


Рисунок 11.4 – Схемы гидродинамического воздействия:  
(а, б, в) на угольный пласт: 1, 2, ...6 – номера скважин.

$$M_{min} = 5 \cdot 10^{-3} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot m \cdot \gamma_y, \quad (11.8)$$

где  $D$  – диаметр зоны, обработанной одной скважиной, м;

$m$  – мощность угольного пласта, м;

$\gamma_y$  – плотность угля, т/м<sup>3</sup>.

Нагнетательные скважины обсаживаются стальной трубой с наружным диаметром 102 ÷ 114 мм с приваренными по её длине центрирующими направлениями, а затрубное пространство тампонируется цементным раствором. При слабоустойчивых трещиноватых породах скважина обсаживается на всю длину в породной толще.

## 12 ЛОКАЛЬНЫЕ СПОСОБЫ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ЯВЛЕНИЙ

### 12.1 Геомеханический анализ локальных способов предотвращения газодинамических явлений

На современных глубинах ведения горных работ ( $800 \div 1400$  м) призабойные зоны угольных пластов и породы, вмещающие выработки, во многих случаях находятся в запредельном состоянии, из которого следует, что если деформирование пласта за пределом прочности осуществляется в мягком режиме, т.е. модуль спада пород меньше модуля спада угольного пласта  $M_n < M$ , то в боковых породах при нагружении краевой части угольного пласта накапливается избыток потенциальной энергии по отношению к энергии, требуемой для разрушения пласта на пределе прочности (заштрихованный участок). Локальные способы предотвращения выбросоопасности выполняются в забоях во время их эксплуатации. К локальным способам относятся: гидрорыхление угольного пласта, гидроотжим призабойной части пласта, образование разгрузочных пазов, образование разгрузочной щели во вмещающих породах, бурение опережающих (разгрузочных) скважин, торпедирование угольного массива, образование разгрузочной щели по длине очистного забоя.

### 12.2 Гидрорыхление угольного пласта

Гидрорыхление угольного пласта осуществляется путём высоконапорного нагнетания воды в угольный пласт через скважины, пробуренные из забоя горной выработки, и применяется для предотвращения внезапных выбросов угля и газа и горных ударов. Для конкретных условий применения гидрорыхления глубину герметизации, длину фильтрующей части, удельный расход воды, расстояние между скважинами определяют на основании опытных нагнетаний. Диаметр скважин для нагнетания воды –  $42 \div 43$  мм,  $l = 4 \div 8$  м, глубина герметизации –  $3 \div 6$  м. Величина неснижаемого опережения равна длине фильтрующей скважи-

ны и составляет  $1,0 \div 2,0$  м. Количество скважин должно быть не менее 2-х. При бурении скважин определяют величину зоны разгрузки призабойной части пласта по динамике начальной скорости газовыделения или по параметрам акустического сигнала. Нагнетание считается эффективным, если давление воды по показаниям манометра снизится не менее чем на 30% от максимального, зарегистрированного в процессе нагнетания, и выхода воды на забой выработки, что будет свидетельствовать о завершении процесса гидрорыхления.

### **12.3 Гидроотжим призабойной части пласта**

Гидроотжим осуществляется путём высоконапорного нагнетания воды в призабойную часть угольного пласта через шпур, скважины и применяется для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, горных ударов в очистных и подготовительных выработках за исключением восстающих выработок с углом наклона более  $25^\circ$  и очистных почвоуступных, потолкоуступных забоях на крутых и крутонаклонных пластах.

### **12.4 Образование разгрузочных пазов, щелей**

**Разгрузочные пазы** — это щелевидные полости, образованные в угольном пласте с помощью специальных механизмов с дистанционным управлением и применяются для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, а в сочетании с опережающей крепью, вводимой в паз (технологические пазы), для предотвращения внезапных обрушений угля на крутых пластах в подготовительных и в очистных выработках.

На пластах пологого падения паз в нише нарезается на расстоянии 0,5 м от стенок ниши.

**Разгрузочные щели** — это полости, образованные в пласте с помощью щеленарезной машины с исполнительным органом бурового типа. Разгрузочные щели нарезают по длине очистного забоя.

Способ применяют в очистных забоях на пологих и наклонных пластах с устойчивыми кровлями. Высота разгрузочной щели –  $70 \div 120$  мм. Глубина щели – ширина комбайновой полосы плюс неснижаемое опережение не менее 0,2 м. запрещается совмещать операции образования разгрузочной щели с выемкой угля комбайном.

Образование разгрузочной щели осуществляют без выхода щели за контур выработки следующей последовательности выполнения технологических процессов выемки исполнительным органом применяемого в данном забое комбайна (нет необходимости применения комбайна типа 4ПП-2Щ):

– в пределах контура выработки параллельно угольному пласту на расстоянии не менее 0,5 м от него создают разгрузочную щель путём выемки комбайном породы кровли или почвы пласта на глубину, равную сумме подвигания забоя за цикл проходки и требуемого неснижаемого опережения щели:

$$l_n = 0,27(h + m), \quad (12.2)$$

где  $h$  – мощность породного слоя между щелью и угольным пластом, м;

$m$  – мощность породного пласта, м.

## 12.5 Бурение опережающих скважин

Бурение опережающих скважин применяют для предотвращения внезапных выбросов угля и газа, выдавливания угля и горных ударов в подготовительных и очистных выработках на пластах любой мощности. Расстояние между шпурами – 0,5 м,  $\varnothing 43 \div 45$  мм,  $l_{ш} = 5 \div 7$  м,  $n = 5$  шт., герметизация – не менее 2,0 м, измерительная камера  $l_k = 1,0$  м, диаметр скважин  $80 \div 250$  мм, неснижаемое опережение – 5 м.

## 13 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ВЫЕМКИ УГЛЯ В ОЧИСТНЫХ ЗАБОЯХ, УПРАВЛЕНИЕ КРОВЛЕЙ

### 13.1 Особенности безопасной технологии разработки пластов, склонных к внезапным обрушениям

Внезапные обрушения угля по сравнению с другими видами ГДЯ в большей мере зависят от технологии разработки угольных пластов. Это объясняется характером факторов, влияющих на развязывание внезапных обрушений угля (гравитационные силы, снижение прочности под влиянием газа) [1].

Исходя из этого, технологические решения, лежащие в основе разработки пластов, склонных к внезапным обрушениям угля, должны предусматривать:

—исключение (или снижение до минимума) участков с нависающим массивом угля; в общем случае под нависающим следует понимать не только массив, расположенный со стороны восстания пласта, но любой массив, располагающийся под углом менее  $45^\circ$  к линии падения пласта со стороны, противоположной обнажению;

—при разработке свит пластов обеспечение (при возможности) эффективной или неэффективной защиты, исключение выемки угля на участках ПГД от соседних в свите пластов.

При комбайновой выемке уровень внезапных обрушений угля выше, чем при других технологиях. Однако дистанционное управление комбайнами исключает непосредственное воздействие ГДЯ в случае их возникновения на горнорабочих. Поэтому комбайновая выемка угля рекомендуется к применению на пластах, склонных к внезапным обрушениям и другим видам ГДЯ.

Лавы с почвоуступной формой забоя (Рисунок 13.1, а) характеризуются отсутствием нависающего массива угля, менее напряженным состоянием краевой части пласта. По данным МАКНИИ, величина разгруженной и дегазированной зоны в призабойной части пласта в почвоуступных лавах составляет  $1,8 \div 3,5$  м, в то время как в потолкоуступных лавах —  $0,8 \div 1,6$  м.

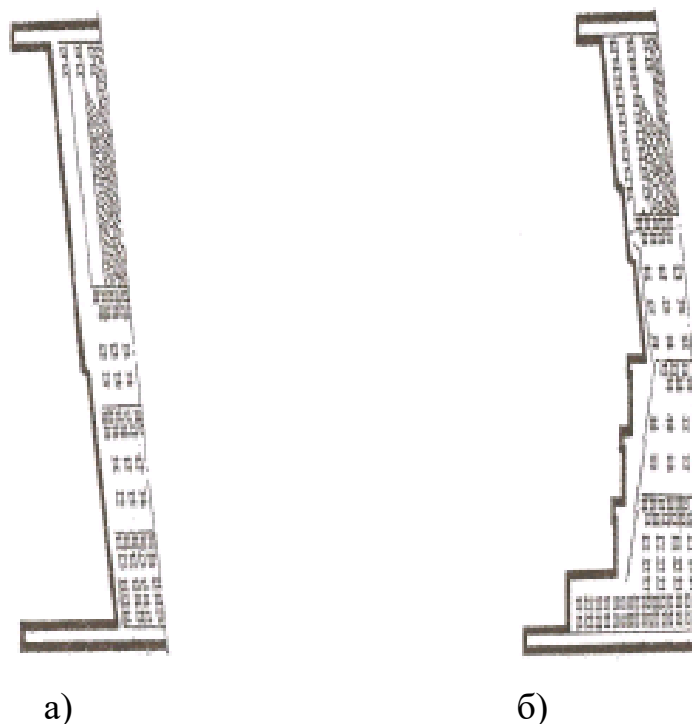


Рисунок 13.1 – Разработка пласта почвоуступным (а) и комбинированным (почво- и потолкоуступным) (б) забоями.

Наиболее безопасной в отношении проявлений внезапных обрушений угля является технология разработки крутых и крутонаклонных пластов широкими полосами по падению с выемкой угля щитовыми агрегатами, получила широкое распространение во второй половине прошлого века. Несомненным достоинством этой технологической схемы является отсутствие в забое нависающего массива угля: направление выемки угля совпадает с линией падения пласта.

В процессе совершенствования этой технологии щитовые агрегаты прошли большой путь развития, доведены до промышленного применения и в конце прошлого столетия обеспечивали 33% всей добычи угля в Центральном районе Донбасса.

В основе конструктивных особенностей щитовых агрегатов лежит принцип передвижки секции крепи.

Локальные способы предотвращения внезапных выбросов угля и газа, широко применяемые при разработке пологих и крутых пластов лавами по простиранию: гидрорыхление угольного пласта, бурение опережающих скважин, нарезка разгрузочных пазов и др. — в условиях щитовых забоев невыполнимы



или неэффективны. Региональные способы предотвращения до настоящего времени не получили промышленного использования.

Можно сформулировать следующие перспективные направления совершенствования разработки крутых пластов щитовыми агрегатами:

Применение эффективных региональных способов предотвращения внезапных выбросов угля и газа:

- гидравлического воздействия на угольный пласт;
- увлажнения угольного массива через скважины;
- бурения разгрузочной скважины на всю высоту этажа в месте будущего расположения вентиляционного гезенка.

На проявление внезапных обрушений угля значительное влияние оказывает расположение плоскостей кливажа угольного пласта относительно плоскости забоя, характеризуемое углом встречи. К учёту принимают наиболее четко выраженную систему плоскостей кливажа. Угол встречи кливажа  $\beta$  представляет собой острый угол между линией восстания пласта и линией пересечения плоскости кливажа с плоскостью пласта (Рисунок 13.2).

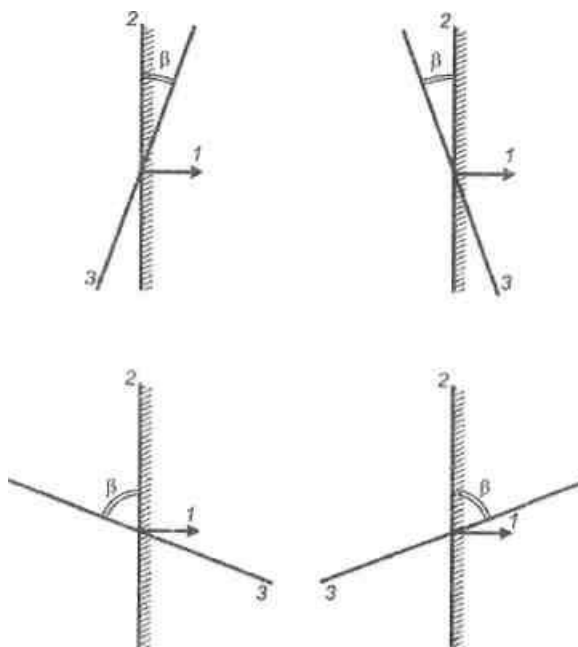


Рисунок 13.2 – Схема определения угла встречи кливажа угольного пласта:  
1 – направление подвигания забоя; 2 – линия забоя лавы; 3 – линия плоскости кливажа.

Для исключения (или уменьшения) степени влияния кливажа на проявление внезапных обрушений угля необходимо забой лавы располагать таким образом,

чтобы угол встречи кливажа был более  $30\div 45^\circ$ . При невозможности выполнения этого требования — при углах встречи кливажа  $\beta < 30^\circ$  — на пластах, склонных к внезапным обрушениям угля, необходимо выполнение следующих мероприятий:

— в лавах и нижних просеках — мероприятия по предотвращению внезапных обрушений угля;

— в углеспускных и вентиляционных гезенках при щитовой выемке — применение усиленных крепей согласно способам и средствам предотвращения ГДЯ.

### **13.2 Регламентация последовательности выполнения технологических процессов и способов предотвращения газодинамических явлений**

Контроль последовательности выполнения технологических процессов в очистных и подготовительных забоях может осуществляться с помощью звукоулавливающей аппаратуры согласно рекомендациям специализированного института [2].

### **13.3 Разработка пластов, склонных к проявлению выбросов горных пород и газа**

Разработка упомянутых пластов производится с использованием методов, обеспечивающих безопасность работ [3, 7].

**Первый метод** — метод с предварительной отработкой защитного пласта. В этом случае выработку по выбросоопасному песчанику можно проводить без применения дополнительных мероприятий по борьбе с выбросами.

**Вторым методом** — методом ограничивающий объём выбросов за счёт уменьшения сечения выработок с последующим увеличением, применения оптимальных параметров БВР, возведения заградительных перемычек из металлических балок, образования разгрузочных щелей, пазов.

### **13.4 Выемка угля в нишах лав выбросоопасных пластов**

При пересечении очистными забоями геологических нарушений необходимо применять: в нишах лав, отрабатываемых по системе «лава – штрек», торпедирование угольного пласта или сотрясательного взрывания; в нишах лав, отрабатываемых по столбовой системе противовыбросные мероприятия или прогноз, которые применялись при нормальных условиях залегания пласта (гидрорыхление, гидроотжим пласта, прогноз по начальной скорости газовыделения, по параметрам акустического сигнала (АПСС), по АЧХ акустического сигнала), предусмотрев дополнительное количество шпуров для оценке эффективности мероприятий или прогноза (по начальной скорости газовыделения, по параметрам акустического сигнала).

### **13.5 Зона разгрузки. Краткая характеристика**

Величина выемки угля по простиранию угольного пласта определяется зоной разгрузки. Разгруженной зоной пласта является его призабойная часть до конца интервала, на котором увеличение начальной скорости газовыделения (если она по абсолютной величине не менее 0,8л/мин) сменяется уменьшением. При максимальной скорости газовыделения до 0,8л/мин величину зоны разгрузки считают равной длине шпура плюс 1м.

### **13.6 Управление кровлей в очистных забоях выбросоопасных пластов**

Управление кровлей в очистных забоях на пластах, опасных по ГДЯ, должно производиться полным обрушением или полной закладкой выработанного пространства.

## **14 СОТРЯСАТЕЛЬНОЕ ВЗРЫВАНИЕ.**

### **ИНСТРУКЦИЯ ПО СОТРЯСАТЕЛЬНОМУ ВЗРЫВАНИЮ**

#### **14.1 Производство взрывных работ**

При ведении горных работ на пластах, опасных по ГДЯ, а также опасных зонах, выявленных текущим прогнозам на угрожаемых пластах, если региональные способы предотвращения этих явлений не применялись, то взрывные работы по углю должны проводиться в режиме сотрясательного взрыва (СВ). Проведение подготовительных выработок с помощью БВР по выбросоопасным породам в опасных зонах, выявленных прогнозом, также осуществляют в режиме СВ [1].

Очистные и подготовительные забои, в которых применяют СВ, должны быть оснащены аппаратурой АКМ с передачей телеизмерений на самопишущий прибор. Мастер-взрывник, лицо надзора и рабочие, направляемые для производства СВ, должны быть обеспечены сигнализаторами метана, совмещёнными с головными светильниками.

#### **14.2 Сотрясательное взрывание**

Впервые сотрясательное взрывание, в целях провоцирования выброса угля и газа, применили в 1890 г. во Франции, в отечественной практике – в 1917 г. в шахте «Красный Профинтерн» (г. Енакиево) при вскрытии пласта «Дерезовка» на горизонте 340 м, которое сопровождалось выбросом угля и газа интенсивностью 200 т [2].

**Сотрясательное взрывание** – взрывные работы на пластах, опасных и угрожаемых по внезапным выбросам угля и газа, а также в выработках, проводимых по выбросоопасным породам, выполняемые в определённом режиме, направленном на защиту людей от последствий выбросов угля, породы и газа.

**Опасная зона при сотрясательном взрывании** – все выработки шахты, расположенные по ходу движения исходящей вентиляционной струи воздуха от

места взрывания, а также все выработки с поступающей струёй воздуха, которые в результате возможного при сотрясательном взрывании выбросе угля, породы и газа могут быть засыпаны горной массой или загазированы метаном.

**Водораспылительная завеса** – водяная завеса, создаваемая в призабойном пространстве выработки при взрывных работах путём распыления воды из расположенных соответствующим образом легкоразрушаемых полиэтиленовых сосудов взрывом размещённого в каждом из них предохранительного взрывчатого вещества, инициируемого предохранительными электродетонаторами мгновенного действия.

**Водовоздушная завеса длительного действия** – завеса с заданным временем непрерывного действия, создаваемая с помощью механических распылителей воды в выработке в месте ведения взрывных работ (в 4 – 5 м от взрываемого забоя).

**Аэрозольные (порошковые) завесы** – предохранительная среда, создаваемая в призабойном пространстве при взрывных работах посредством взрывающегося распыления порошкового ингибитора из размещённых определённым образом легкоразрушаемых полиэтиленовых сосудов (пакетов).

Сотрясательное взрывание проводится в соответствии с требованиями Единых правил безопасности при взрывных работах и разработанной на их основе отраслевой Инструкции по применению сотрясательного взрывания в угольных шахтах.

На время сотрясательного взрывания во всех выработках шахты, в которые может попасть метан после взрывания, электроэнергия отключается, кроме пусковой аппаратуры вентиляторов местного проветривания и аппаратуры автоматического контроля содержания метана.

После взрывания осмотр выработки разрешает руководитель сотрясательного взрывания с поверхности исходя из информации о содержании метана (не более 2%), но не ранее чем через 30 мин после взрывания. Осмотр забоя выполняют лицо технического надзора и мастер-взрывник.

Для сотрясательного взрывания применяют ВВ IV класса. При определенных условиях взрывных работ по выбросоопасным песчаникам разрешается

применение ВВ III класса. Исследования МАКНИИ показали, что слой воды толщиной 5 мм полностью увеличивает стойкость взрывчатых веществ по отношению к механическим воздействиям путём смешения их с жидкими или пластическими веществами (т.е. флегматизирует продукты взрыва).

После проведения сотрясательного взрывания и уборки угля (горной массы) высока вероятность провоцирования, так называемых «запоздалых выбросов угля и газа», вызванных воздействием на «свежообнаженную» призабойную часть угольного пласта с высоким уровнем концентрации напряжений (особенно в кутках забоя).

Поэтому после сотрясательного взрывания по угольному или смешанному забою не допускается любое воздействие на угольный пласт. Уборка угля вблизи угольного забоя должна производиться только вручную – лопатами. Если не достигнуто достаточное разрушение угля и не получена требуемая конфигурация забоя, то следует провести повторное сотрясательное взрывание по его оконтуриванию.

### **14.3 Режим сотрясательного взрывания на пластах опасных по ГДЯ**

Сотрясательное взрывание применяется для отбойки угольного массива на выбросоопасных пластах независимо от результатов прогноза эффективности выполненных противовыбросных мероприятий: на угрожаемых пластах в зонах, где текущим прогнозом получены значения «опасно»; при проведении выработок по выбросоопасным пластам; при вскрытии выбросоопасных пластов и пропластков; при вскрытии песчаников на глубине 600 м и более, если прогнозом установлена его выбросоопасность; при проведении выработок по выбросоопасным песчаникам; при проведении выработок по углю горизонтальных, наклонных (сверху вниз) и восстающих выработок с углом наклона до 10 град. включительно; в очистных выработках на пологих и наклонных пластах; в щитовых забоях, в мотажных печах щитовых лав и комбайновых нишах на крутонаклонных и крутых пластах; при камуфлетном взрывании; при пластовом и внепластовом торпедировании, предназначенном для предотвращения внезапных выбросов уг-

ля и газа. Расстояние от забоя до места укрытия мастера-взрывника при взрывании не менее 600 м на свежей струе воздуха и не менее 200 м от сопряжения выработок со свежей струёй воздуха с выработками с исходящей струёй воздуха.

#### **14.4 Меры безопасности при взрывных работах в режиме сотрясательного взрывания**

Выемочные участки и тупиковые выработки должны быть оснащены аппаратурой АКМ с передачей сигналов на поверхность (на стойки АГЗ или на КАГИ). Работники должны иметь метан-сигнализаторы совмещённые с головными светильниками. Параметры паспортов буровзрывных работ (БВР), проводимых выбросоопасным угольным пластам и породам, должны обеспечивать полную отбойку угля (породы) по всему сечению выработки. Запрещается оформлять забой после сотрясательного взрывания машинами, механизмами или ручным инструментом ударного действия.

#### **14.5 Опасная зона при сотрясательном взрывании**

Для каждого забоя определяют опасную зону, в которую включают все выработки шахты, расположенные по ходу движения исходящей струи от места взрывания, а также выработки с поступающей струёй воздуха, которые могут быть загазированы при возможном выбросе.

#### **14.6 Основные требования безопасности при вскрытии угольных пластов**

Вскрытие угольных пластов сотрясательным взрыванием, кроме мощных крутых пластов, разрешается проводить полным проектным сечением. Участок породной пробки непосредственно перед пластом необходимо ликвидировать за одно взрывание

## 14.7 Инструкция по сотрясательному взрыванию

Взрывные работы при вскрытии пластов, а также в очистных и подготовительных выработках в пределах защищенных зон допускается проводить без соблюдения режима, предусмотренного для сотрясательного взрывания [9].

Выбор параметров паспорта буровзрывных работ для выработок, проводимых по угольным пластам и породам, опасным по внезапным выбросам, должен обеспечивать полную отбойку угля (породы) по всей площади сечения выработки. Если при сотрясательном взрывании не достигнута требуемая конфигурация забоя, следует провести повторное сотрясательное взрывание по оконтуриванию выработки.

В местах геологических нарушений взрывание по углю и породе должно проводиться одновременно.

Проведение выработок смешанным забоем с опережающей взрывной отбойкой угля разрешается при отставании породного забоя не более 5 м.

**Запрещается применять машины, механизмы и ручные ударные инструменты для оформления забоя после сотрясательного взрывания.**

Перед началом заряжания во всех выработках шахты, расположенных в пределах опасной зоны, электроэнергия должна быть отключена. Включение электроэнергии допускается только после проверки содержания метана в атмосфере выработок после взрывания и отсутствии повреждений электрооборудования и кабелей.

Не допускается при проведении сотрясательного взрывания отключать вентиляторы местного проветривания, а также приборы автоматического контроля содержания метана и датчики, используемые для контроля выбросоопасных зон угольных пластов.

Выработка, в которой проводится сотрясательное взрывание, перед взрывными работами должна быть освобождена на протяжении не менее 100 м от забоя от вагонеток и других предметов, загромождающих ее более чем на 1/3 площади поперечного сечения.



Лицо технического надзора, замеряющее содержание метана, при продвижении к забою для осмотра его после сотрясательного взрывания должно находиться на расстоянии 3 м впереди мастера-взрывника. При обнаружении концентрации метана 2% и более они обязаны немедленно возвратиться в выработку со свежей струей воздуха.

На случай возможного выброса угля (породы) и газа руководителем шахты заблаговременно должны быть утверждены мероприятия по разгазированию выработок.

При составлении паспортов буровзрывных работ в случае использования опережающей крепи верхний ряд шпуров необходимо располагать на расстоянии не менее 0,5 м от опережающей крепи.

Бурение шпуров по углю для сотрясательного взрывания следует проводить только вращательным способом. Бурение шпуров по породе допускается с применением ударных и ударно-вращательных инструментов.

## **15 БЕЗВЗРЫВНОЕ ПРОВЕДЕНИЕ ВЫРАБОТОК ПО ВЫБРОСООПАСНЫМ ПОРОДАМ**

### **15.1 Проведение стволов проходческими комбайнами**

В процессе проходки вертикальных стволов ими периодически пересекаются выбросоопасные угольные пласты и породы. Обычно при вскрытии как одиночных, так и свиты выбросоопасных пластов вертикальными стволами применяются такие способы предотвращения выбросов угля и газа, как: бурение дегазационных скважин, возведение каркасной крепи, гидрорыхление угольного массива. В особо сложных горно-геологических условиях могут применяться комбинации этих способов [1].

Для безопасного проведения ствола предусмотрена такая очередность выполнения работ при пересечении забоем выбросоопасного пласта:

- разведка положения пласта относительно забоя вскрывающей выработки;
- введение режима сотрясательного взрывания в стволе;
- удаление от пласта.

Выбросоопасные пласты вскрываются комбайном и пересекаются без присутствия людей в забое, при этом управление комбайном и контроль работы его механизмов осуществляется с пульта управления, который в этом случае располагается на поверхности на безопасном (заданном) расстоянии от копра. Рассматриваемый нами проходческий комплекс СК-1У предназначен для механизированной проходки вертикальных шахтных стволов глубиной до 1000 м. Комбайн подвешивается в стволе через гидроуравнительную систему по полиспастной схеме на четырех лебедках ЛАЭ-46/1300 на металлическом проходческом или постоянном башенном железобетонном копре. Все механизмы комбайна смонтированы в его трехэтажном каркасе. Контроль концентрации газа при проведении ствола по выбросоопасному песчанику может выполняться, например, с помощью датчиков ДМТ, аппаратуры АМТ-КУ, приборов СШ-2 и ШИ-3.

Технологической схемой предусмотрены следующие расчетные технико-экономические показатели: подвигание забоя за цикл — 3,9 м; скорость проходки — 100 м/мес.; производительность труда рабочего — 10,9 м<sup>3</sup>/чел. см.

Скорость проходки комбайна по выбросоопасным породам согласно нормативным требованиям должна составлять: по породам высокой степени выбросоопасности — 0,5, средней степени выбросоопасности — 1,0 м/ч.

Разведочные шпуров бурятся молотками ПР-30, диаметром 52÷56 мм. Пласт, встреченный шпуром, перебурируется не менее чем на 0,5 м. В процессе бурения горный мастер осуществляет контроль содержания метана в стволе, расположение и направление шпуров, а также следит за появлением предупредительных признаков внезапного выброса. Скипоклеть в это время находится на комбайне для обеспечения возможности срочной посадки и выезда работающих на поверхность.

Технологическая схема проходки ствола разработана применительно к стволопроходческому комплексу СК-1У (Рисунок 15.1), состоящему из роторного комбайна, механизированной опалубки, проходческих скипоклетевых подъемных сосудов, оборудования для ведения буровзрывных работ при проходке отдельных участков крепких пород, а также комплекса оборудования поверхности.

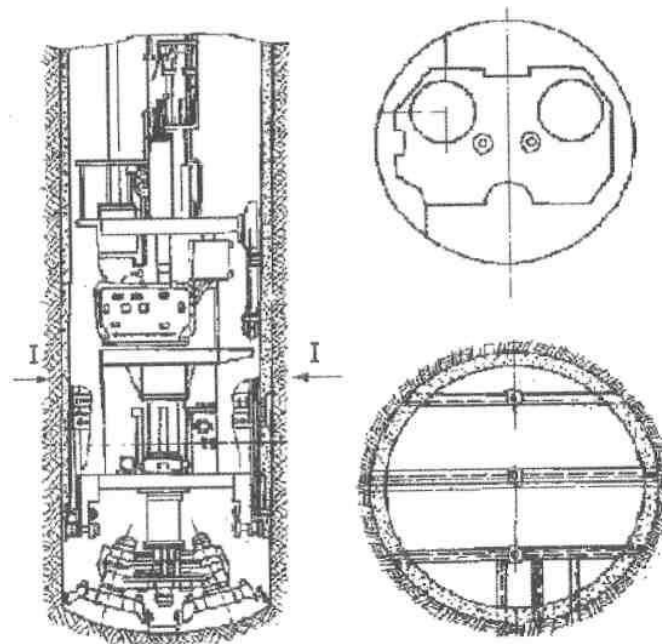


Рисунок 15.1 — Технологическая схема проходки вертикального ствола по выбросоопасным породам комбайнами роторного типа

Внедрение технологической схемы обеспечивает безопасность работ при проведении стволов по выбросоопасным пластам, позволяет повысить производительность труда, устранить ручной труд, совместить основные технологические процессы во времени, позволяя вести непрерывную проходку ствола и иметь большое социальное значение.

## 15.2 Безвзрывное проведение горизонтальных выработок

Безопасная скорость проходки выработки безвзрывным способом по породам различной крепости и степени выбросоопасности для глубин 800-1500 м определена А.Н. Зориным с помощью основных положений теории размерностей. Разложением функции в степенной ряд после преобразований получаем эмпирио-аналитическую зависимость:

$$v \frac{1}{rtg\alpha} = \left( \frac{R_{сж}}{n\gamma H} \right)^b, \quad (15.1)$$

где  $\gamma H$  – действующие в массиве напряжения;

$R_{сж}$  – прочность пород при одноосном сжатии;

$n$  – степень выбросоопасности пород;

$h(h = rtg\alpha)$  – глубина разрушений пород в забое;

$\alpha$  – угол скола разрушенной пород и время образования зоны разрушенных пород.

Значительную область применения имеет комбайн с рабочим органом, обеспечивающим изменяющуюся глубину и кривизну. Такой орган изготавливается в виде четырех секций, которые в зависимости от свойств среды, характера разрушения и скорости проходки при помощи гидродомкратов вдвигаются или выдвигаются, изменяя форму забоя. Результаты проведенных исследований позволяют уменьшить энерговооруженность и металлоемкость комбайнов при проектировании.

При разработке технологии комбайнового проведения подготовительных выработок по выбросоопасным породам и пластам необходимо учитывать следующие требования:

- проходческий комбайн должен иметь регулируемую скорость подачи исполнительного органа на забой в зависимости от состояния горного массива;
- исполнительный орган комбайна должен иметь возможность образовывать полусферическую, выпуклую вглубь массива форму забоя, при этом глубина полусферы должна изменяться в пределах от 0 до 0,33 диаметра проходимой выработки в зависимости от степени выбросоопасности пород.

### **15.3 Безвзрывное проведение тоннелей по выбросоопасным породам**

Для проведения тоннеля в выбросоопасных породах была разработана инструкция, в которой рекомендованы следующие мероприятия по борьбе с выбросами: возведение канатных заградительных перемычек, проведение тоннеля с опережающей выработкой уменьшенного сечения, введение режима сотрясательного взрывания. Согласно этой инструкции в проходческом цикле выполнялись работы, обеспечивающие безопасность их проведения [1]:

1. Бурение опережающей разведочной скважины для разведки термальных вод длиной 32,5 м, диаметром 52 мм без отбора керна.
2. Бурение опережающей разведочной керновой скважины длиной 32,5 м для определения выбросоопасности пород.
3. Бурение и взрывание четырех семиметровых камуфлетных скважин диаметром 52 мм.

### **15.4 Некоторые принципы автоматизации проходческих комбайнов роторного типа**

Основные требования, предъявляемые к разрабатываемой аппаратуре для автоматизации проходческих комбайнов, заключаются в следующем. По ком-

плексу устройств совместно с механизмами комбайна, которые должны выполнять такие функции [1]:

- управление с местного пульта основными механизмами комбайна;
- дистанционное управление механизмами комбайна с безопасного (порядка 200 м) расстояния;

Технологическая и функциональная схемы размещения средств автоматизированного управления проходческим комбайном для проведения выработок в выбросоопасном забое приведена на рисунке 15.2.

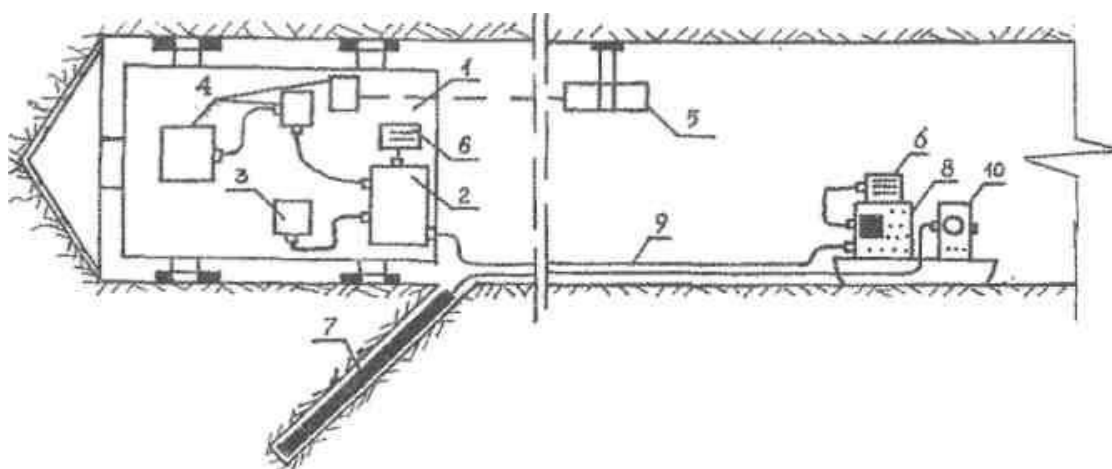


Рисунок 15.2 – Технологическая схема размещения средств автоматизированного управления проходческим комбайном в выбросоопасном забое:

1 — комбайн; 2 — блок автоматического управления; 3 — пульт управления местный; 4 — датчики контроля параметров комбайна; 5 — указатель направления лазерный; 6 — акустический излучатель; 7 — сейсмодатчик; 8 — блок управления штрековый; 9 — кабель связи; 10 — устройство контроля параметров безопасности забоя.

## **16 ТРЕБОВАНИЯ К МАШИНАМ И МЕХАНИЗМАМ. ИНДИВИДУАЛЬНЫЕ И ГРУППОВЫЕ СРЕДСТВА ЖИЗНЕОБЕСПЕЧЕНИЯ. ДЕЙСТВИЯ РАБОТНИКОВ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

### **16.1 Мероприятия по обеспечению безопасности работников**

Опыт разработки пластов, склонных к ГДЯ, показывает, что, несмотря на предпринимаемые усилия науки и производства по совершенствованию и внедрению способов прогноза и предотвращения ГДЯ, не удаётся обеспечить устранение этих явлений при выполнении как собственно мер борьбы с ГДЯ, так и основных технологических операций добычного или проходческого цикла. Исключить в полной мере причины ГДЯ и травматизма от них за счёт усиления организационно-технологических мероприятий, направленных на повышение технологической дисциплины, квалификации работников, совершенствование средств контроля и пр., практически невозможно. Поэтому независимо от применяемых противовыбросных мероприятий кардинальной мерой предотвращения травматизма, работающих на пластах, склонных к ГДЯ, во всех случаях может быть лишь вывод людей за пределы зоны возможного поражения выбрасываемым углём и осуществление дистанционного управления забойными машинами и механизмами. С этой целью все машины и механизмы, предназначенные для выемки угля, бурения скважин, образования разгрузочных пазов, щелей, полостей, т.е. разрушения угля механическим или гидравлическим способом, при использовании их на пластах, опасных по ГДЯ, должны оснащаться средствами дистанционного управления, позволяющими осуществлять весь комплекс функциональных мероприятий с безопасных расстояний. Эти расстояния должны устанавливаться дифференцированно в зависимости от горно-геологических и горнотехнических условий, включающих угол падения пласта, степень его выбросоопасности, вид работ в забое, способ разрушения угля и максимально возможную при этом интенсивность выбросов [1].

К мероприятиям по обеспечению безопасности работающих, относятся:

- производство взрывных работ (ВР) в режиме сотрясательного взрывания (СВ);
- регламентация последовательности выполнения технологических процессов и способов предотвращения ГДЯ при работе в опасных зонах.

## **16.2 Применение машин и механизмов**

Вновь создаваемые машины и механизмы для выемки угля, проведения подготовительных выработок и применения способов предотвращения ГДЯ, (нарезки разгрузочных пазов, щелей, бурения скважин по углю диаметром свыше 80 мм) на опасных по ГДЯ пластах, а также в опасных зонах на угрожаемых пластах, должны быть оснащены средствами дистанционного управления. Места расположения стационарных пультов дистанционного управления должны быть оборудованы средствами жизнеобеспечения людей [1].

## **16.3 Индивидуальные и групповые средства жизнеобеспечения**

Все рабочие и должностные лица на шахтах, разрабатывающих склонные к ГДЯ пласты, должны иметь при себе изолирующие самоспасатели. На незащищённых и не обработанных региональными способами борьбы с ГДЯ пластах на шахтах, использующих пневмоэнергию, очистные участки должны быть оборудованы трубопроводами сжатого воздуха, подведенными со стороны откаточного и вентиляционного горизонтов. На крутых и крутонаклонных пластах в потолкоуступных (почвоуступных) забоях эти трубопроводы должны быть соединены (закольцованы) [1].

Все устройства аварийного жизнеобеспечения должны быть окрашены в оранжевый или красный цвет.



## **16.4 Основные правила поведения (действий) работников шахты при авариях**

1. Все работники шахты должны твердо знать правила поведения в аварийной обстановке, места, где располагаются средства противоаварийной защиты и самоспасения, и уметь пользоваться ими.

2. Люди, находящиеся в шахте и заметившие признаки аварии, обязаны немедленно сообщить об этом горному диспетчеру или сменному инженерно-техническому работнику.

3. Внезапное изменение направления вентиляционной струи служит сигналом к выходу на поверхность.

4. Все работники шахты обязаны твердо усвоить следующие основные правила личного поведения при авариях [10].

### **Пожар, взрыв газа и (или) угольной пыли**

При обнаружении дыма необходимо немедленно включиться в самоспасатель и двигаться по ходу вентиляционной струи к ближайшим выработкам со свежей струей воздуха, к запасным выходам. Изменение направления вентиляционной струи во время движения свидетельствует, что пожар произошёл в основных воздухоподающих выработках или надшахтных зданиях воздухоподающих выработок, и произведено общешахтное реверсирование вентиляционной струи. В этом случае движение навстречу реверсированной свежей струе воздуха, не выключаясь из самоспасателя, необходимо продолжать до ствола (шурфа, штольни).

При обнаружении очага пожара, находясь со стороны свежей струи воздуха, необходимо включиться в самоспасатель (респиратор) и начать тушение первичными средствами пожаротушения. При горении электропусковой аппаратуры, силовых кабелей необходимо отключить электроэнергию на аварийные агрегаты.

### **Внезапный выброс угля и газа, горный удар**

Необходимо немедленно включиться в изолирующий самоспасатель, выйти кратчайшим свободным путём на свежую струю и отключить напряжение на электроаппаратуру, находящуюся в зоне выброса.

Для предотвращения взрыва запрещается пользоваться переключателями устройствами светильника (если свет погас, светильник **не включать!**).

### **Обрушение**

Люди, застигнутые обрушением, должны принять меры к освобождению пострадавших, находящихся под завалом, установить характер обрушения и возможность безопасного выхода через купольную часть выработки. Если выход невозможен, следует установить дополнительную крепь и приступить к разборке завала. В случае, когда это невозможно, ждать прихода горноспасателей, подавая сигналы по коду ударами о металлические (твёрдые) предметы: при обрушении в подготовительных выработках – редкие удары по количеству находящихся за обрушением людей; при обрушении в лаве крутого падения – первые удары – номер уступа, а затем с перерывом – количество в нем людей.

В случае, когда застигнутые обрушением люди находятся в тупиковой части выработки, необходимо рассоединить трубопровод сжатого воздуха и установить в 5–10 м от забоя перемычку из подручных материалов для предотвращения поступления метана; при этом люди должны находиться между перемычкой и завалом.

### **Затопление водой, заиловочной пульпой и др.**

При затоплении необходимо взять самоспасатель и выходить на вышележащий горизонт по ближайшим выработкам или к стволу по ходу движения воды (пульпы).

### **Загазирование**

Следует включиться в изолирующий самоспасатель, выйти из загазированных выработок, отключить электроэнергию и поставить знак, запрещающий вход в выработку (закрестить выработку).

## 16.5 Устройство выходов из шахты и горных выработок

Выходы из шахты подразделяются на главные и запасные. Главными выходами являются выработки, по которым производится доставка людей в шахту и из шахты при нормальном (безаварийном) режиме работы. Запасные выходы – это выработки, по которым можно покинуть место работы, если главные выходы по каким-либо причинам оказались недоступными. При этом две и более удаленные выработки с одним направлением вентиляционной струи, приспособленные для передвижения людей, считаются одним запасным выходом.

Каждая шахта имеет два и более отдельных выходов на земную поверхность, приспособленных для передвижения (перевозки) людей. Каждый горизонт шахты также должен иметь не менее двух отдельных выходов на вышележащий (нижележащий) горизонт или поверхность, приспособленных для передвижения (перевозки) людей.

В общем случае из каждой горной выработки (рабочего места) должно быть два выхода. Это требование обусловлено необходимостью вывода людей в случае аварийной ситуации, а также стремлением обеспечить устойчивую подачу свежего воздуха, что возможно осуществить при проветривании горных выработок за счет общешахтной депрессии. Исключение составляют проводимые тупиковые выработки.

Выработки, служащие запасными выходами на поверхность, должны быть оборудованы для передвижения людей и транспортными средствами для их ремонта и поддержания в исправном состоянии на весь период эксплуатации. На разветвлениях всех выработок должны быть прикреплены указательные знаки с наименованием выработок и направлением к выходам на поверхность.

Вертикальные стволы, служащие в качестве выходов на поверхность, оборудуются подъемными установками (одна из которых должна быть клетевой) и лестничными отделениями. Лестничные отделения в стволах могут отсутствовать, если в них имеются по две подъемные установки с независимым подводом энергии.

Стволы оборудуются так, чтобы по каждому из них все люди могли выехать (выйти) на поверхность. В вертикальных стволах глубиной до 70 м при наличии лестниц в обоих стволах в одном из них подъемная установка может отсутствовать.

В лестничных отделениях стволов и других выработок с углом наклона от  $45^\circ$  до  $90^\circ$  лестницы устанавливаются с уклоном не более  $80^\circ$  и должны выступать на 1 м над горизонтальными полками, прочно заделываемыми в крепь с интервалом не более 8 м. Лазы в полках устраиваются шириной не менее 0,6 м, а расстояние от края лаза до лестницы по нормали - не менее 0,7 м. Лазы над первой верхней лестницей оборудуются закрывающимися лядами.

Лазы в стволах и других выработках между соседними полками должны быть смещены на ширину лаза. Расстояние между крепью и лестницей у ее основания должно быть не менее 0,6 м. Ширина лестниц должна быть не менее, а расстояние между ступенями не более 0,4 м.

На крутых, крутонаклонных и наклонных пластах, кроме отрабатываемых столбами по падению (агрегатами щитовыми АЩ и др.), где уголь транспортируется вдоль очистного забоя на штрек самотеком, оборудуется не менее двух выходов на откаточный (конвейерный) штрек. Один из выходов располагается впереди очистного забоя. В нижней части лавы устраивается магазинный уступ.

При комбайновой выемке угля в лавах на крутых и крутонаклонных пластах без оставления магазинных уступов, на весьма тонких пластах при транспортировании угля по рештакам, а также при работе по схеме лава - штрек оборудуется второй (дополнительный) выход на откаточный (конвейерный) штрек со стороны выработанного пространства. При подходе очистных выработок к техническим границам допускается оборудование нижнего выхода через задние печи или гезенки.

При вынимаемой мощности пласта 1 м и менее каждая из последовательно проветриваемых очистных выработок должна иметь выход через свои промежуточные штреки на ходок, пройденный на всю высоту этажа и оборудованный для передвижения людей.

При отработке системами с полной закладкой выработанного пространства на крутых пластах из каждого очистного забоя устраивается один выход на вентиляционный и один выход на откаточный горизонты, оборудованные для передвижения людей.

При отработке пластов лавами по падению (восстанию) на участках пластов, угрожаемых по прорыву воды (пульпы или глины), из каждой очистной выработки обеспечивается выход на вышележащий горизонт.

В коротких очистных забоях, в которых уголь добывается гидравлическим или механогидравлическим способом, разрешается использовать в качестве второго выхода вентиляционные сбойки сечением не менее  $1,5 \text{ м}^2$  или специально оборудованные скважины диаметром не менее 850 мм, проводимые на соседние выемочные выработки (штрек или печь). Расстояние между сбоями или скважинами должно быть не более 30 м. При системе подэтажной отработки второй выход разрешается иметь на расстоянии не более 100 м от места установки гидромонитора.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Прогноз и предотвращение газодинамических явлений в угольных шахтах: учебное пособие для работников угледобывающих предприятий / под редакцией д-ра техн. наук Ю.В. Кудинова, и канд. техн. наук Т.Я. Мхатвари; Ю.В. Кудинов, Н.В. Малеев, О.А. Демченко, В.А. Безбородов, Т.Я. Мхатвари – Донецк, 2018 – 403 с.

2. Совершенствование способов и средств безопасной разработки угольных пластов, склонных к газодинамическим явлениям: монография / В.П.Коптиков, Б.В.Бокий, С.П.Минеев, И.А.Южанин, А.В.Никифоров. — Донецк: ООО «ИПП «Проминь», 2016. — 480 с.

3. Александров, С.Н. Охрана труда в угольной промышленности: учеб. пособ. для студентов горн. спец. высш. учеб. заведений / С.Н. Александров, Ю.Ф. Булгаков, Ю.Ф. Яйло; под общей ред. Ю.Ф.Булгакова. – Донецк: РИА ДонНИИ, 2012. – 480 с. <https://ed.donntu.org/books/cd1779.pdf> .

4. Барок, Л.И. Горное дело / Л.И. Барок, Г.П. Демидюк, Г.Д. Лидин и др.// Терминологический словарь, 3-е изд., перераб. и доп. – М. Недра, 1981. – 479 с. <https://bookree.org/reader?file=1503879&pg=6> .

5. Забигаило, В. Е. Влияние катагенеза горных пород и метаморфизма углей на их выбросоопасность / В. Е. Забигаило, В. И Николин.; Отв. ред. Широков А. 3.; АН УССР. Ин-т геологии и геохимии горючих ископаемых. — Киев : Наук, думка, 1990.— 168 с. 15ВЫ 5-12-001340-6. — <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-vliyanie-katageneza-gornyh-porod-i-metamorfizma-ugley-na-ih-vybrosopasnost.pdf> .

6. Инструкция по прогнозу динамических явлений и мониторингу массива горных пород при отработке угольных месторождений: Федеральные нормы и правила в области промышленной безопасности. Утв Приказом Ростехнадзора от 10.12.2020 № 515.

7. Руководство по безопасности. Рекомендации по безопасному ведению горных работ на склонных к динамическим явлениям угольных пластах. Утв. Приказом Ростехнадзора от 07.12.2023 № 441.

8. Об утверждении административного регламента по предоставлению федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору государственной услуги по выдаче разрешений на право ведения работ в области использования атомной энергии работникам объектов использования атомной энергии. — Приказ Ростехнадзора от 19.12.2018 № 623 Об утверждении административного регламента по предоставлению Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору государственной услуги по выдаче разрешений на право ведения работ в области использования атомной энергии работникам объектов использования атомной энергии. — <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rostekhnadzora-ot-19122018-n-623-ob-utverzhdanii-administrativnogo/>

9. Инструкция по сотрясательному взрыванию. Раздел V. Дополнительные требования при ведении взрывных работ в подземных выработках. — [http://allmedia.ru/laws/DocumShow\\_DocumID\\_27174\\_DocumIsPrint\\_Page\\_2.html](http://allmedia.ru/laws/DocumShow_DocumID_27174_DocumIsPrint_Page_2.html).

10. Основные правила поведения (действий) работников шахты при авариях [Электронный ресурс] [2020]. — Режим доступа: [http://ohrana-bgd.ru/pervpom/pervpom6\\_23.html](http://ohrana-bgd.ru/pervpom/pervpom6_23.html) — Загл. с экрана.

11. Барон Л.И. Горное дело. Терминологический словарь / Л.И. Барон, Г.П. Демидюк, Г.Д. Лидик и др. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1981. — 479 с. — [https://www.studmed.ru/slovar-baron-l-i-demidyuk-g-p-i-dr-gornoe-delo-terminologicheskij-slovar\\_b4e5e2b238b.html](https://www.studmed.ru/slovar-baron-l-i-demidyuk-g-p-i-dr-gornoe-delo-terminologicheskij-slovar_b4e5e2b238b.html)

12. Устройство выходов из шахты и горных выработок. Охрана труда. Информационный ресурс — [http://ohrana-bgd.ru/gornd/gornd2\\_33.html](http://ohrana-bgd.ru/gornd/gornd2_33.html).