

ДЕФОРМАЦИИ УГОЛЬНОГО ПЛАСТА И ГАЗОВЫДЕЛЕНИЕ В ПОДГОТОВИТЕЛЬНЫХ ВЫРАБОТКАХ

Б. Г. Тарасов

При разработке угольных пластов, обладающих высокой газоносностью, интенсивное газовыделение является наиболее частым и важным препятствием в достижении высоких показателей производительности труда. Особые затруднения возникают в связи с переходом горных работ на глубокие горизонты и разработкой мощных угольных пластов даже на небольших глубинах — порядка 200—300 м. Последнее характерно для Кузбасса, где, по данным Г. Д. Лидина [1], метанообильность подготовительных работ достигает 50—60% от общего газового баланса шахт. Если учесть еще, что ступень метанообильности шахт для Кузбасса меньше, чем для Донбасса, то легко представить те трудности, с которыми уже в ближайшее время будет сопряжено ведение горных работ в этом бассейне. Некоторое представление о величине газовыделения в подготовительные горные выработки можно получить по данным табл. 1. Уже на глубине 200—300 м борьба с повышенным газовыделением методом разжижения метана до установленной нормы (не $> 1\%$) становится крайне затруднительной.

Отсутствие надежных методов прогноза газообильности вносит большие затруднения в проектирование проветривания подготовительных выработок. В результате неправильного подсчета количества воздуха, потребного для разжижения выделяющегося метана, имеют место периодические длительные загазования подготовительных забоев. Таким образом, изучение особенностей газовыделения в подготовительных выработках представляет значительный интерес как для прогноза газообильности подготовительных забоев, так и для разработки эффективных мероприятий по борьбе с обильным газовыделением.

Прогноз газообильности подготовительных горных выработок затруднен отсутствием четких представлений о механизме газовыделений.

Усилиями многих научно-исследовательских коллективов за последние годы сделано очень много для изучения механизма внезапных выбросов: определены факторы, действующие в процессе внезапного выброса, и установлена роль отдельных факторов на различных этапах развития процесса. Так, основная роль в подготовке выброса отводится в настоящее время горному давлению, которое разрушает угольный

Абсолютная газообильность подготовительных выработок (основного штрека) шахт им. И. В. Сталина и „Коксовая-2“

Место наблюдений	Глубина, м	Мощность пласта, м	Угол падения, град.	Длина выработки, м	Дебит метана, м³/мин
Шахта им. И. В. Сталина					
Пласт Мощный, 4-е южное крыло, горизонт 200 м	275	16	67	280	5,9
Пласт Горелый, 2-е южное крыло, горизонт 300 м	375	9	65	240	1,45
Пласт Лутугинский, 2-е южное крыло, горизонт 300 м	375	4,5	75	290	2,6
Пласт Горелый, 4-е южное крыло, горизонт 300 м	375	9	70	100	4,27
Пласт Характерный, 4-е южное крыло, горизонт 300 м	375	3,0	70	270	1,00
Шахта „Коксовая-2“					
Пласт IV Внутренний, 17-й выемочный участок, горизонт 125 м	175	7,5	65	205	1,8

массив и ослабляет его связь с вмещающими горными породами [2]. Это разрушение вызывает раскрытие естественных трещин, по которым выделяется свободный метан. Лишь при определенных условиях фильтрации газа в разрушенной части угольного пласта он может произвести работу по выносу разрушенного угля в выработку [3]. Следовательно, разрушение угля в окрестности выработки является необходимым, но еще недостаточным условием для проявления внезапного выброса. Для внезапного выброса необходимы: определенная интенсивность разрушения угля, высокая скорость начального газовыделения и определенное направление преобладающих систем трещин относительно свободной поверхности пласта. Если эти условия отсутствуют, то газовыделение происходит спокойно, без выноса угля в выработку, т. е. в форме обычного газовыделения.

Роль разрушения угля в процессе обычного и внезапного газовыделений подтверждается следующими обстоятельствами.

1. Наличием зоны повышенной газопроницаемости угля в окрестности выработки, причем ширина этой зоны совпадает с зоной влияния выработки¹. Существование этой зоны установлено как для очистных, так и для подготовительных выработок. Ее ширина, по данным А. Н. Щербань и А. С. Цирульникова [4], составляет 3—5 м, а в некоторых случаях и 25—30 м.

2. Совпадением зоны повышенной газопроницаемости угольного массива с зоной дренирования угольного пласта в окрестности выработки. По данным В. Л. Божко [5], ширина зоны дренирования для подготовительных выработок в условиях Донбасса изменяется от 5 до 15 м.

3. Низким дебитом метана и малым радиусом дренирования угля у шпуров (малого диаметра).

4. Увеличением газовыделения из шпуров, попадающих в зону влияния очистных выработок.

Зона повышенной газопроницаемости несколько меньше зоны влияния выработки. На границе зоны влияния уголь сжат силами опорного давления [4] и его газопроницаемость 0,01 мд (миллидарси).

5. Защитным действием опережающей разработки сближенных пластов.

6. Запоздалыми выбросами.

Определяющая роль процессов растрескивания угольного массива в развязывании как внезапного, так и обычного газовыделения логически вытекает из очень низкой газопроницаемости ненарушенного угольного массива. Так, даже для донецких углей, отличающихся высокой степенью нарушенности, коэффициент газопроницаемости угольного массива в зоне концентрации напряжений составляет 0,01 мд. При такой газопроницаемости газовыделение в выработку даже при высокой газоносности пласта было бы малозаметным.

Таким образом, естественно предположить, что разрушение угольного массива силами горного давления играет *определяющую роль* в процессе газовыделения. С этой точки зрения обычное и внезапное газовыделение — лишь различные проявления общего процесса фильтрации газа в деформируемой сорбирующей среде. Форма же газопроявлений зависит от интенсивности разрушения угля, его структуры и скорости начального газовыделения. Однако это предположение, столь очевидное для очистных выработок, по-видимому, спорно для подготовительных и вскрывающих, так как данных о деформируемости горных пород в призабойной части подготовительных выработок нет и предполагается чрезвычайно низкая интенсивность и незначительная продолжительность процессов разрушения угля вблизи этих выработок. Поэтому изучение процессов разрушения горных пород в приконтурной части подготовительных выработок и влияние этих процессов на газовыделение представляют научный и практический интерес.

В связи с этим нами изучались деформируемость горных пород вокруг подготовительных горных выработок, особенности газовыделения, связанные с разрушением угольного массива, а также физико-механические, структурные и фильтрационные свойства углей Прокопьевского месторождения. Работа проводилась на шахтах им. И. В. Сталина треста Сталинуголь и им. К. Е. Ворошилова треста Прокопьевскуголь.

Всем товарищам, оказавшим содействие в выполнении данной работы, автор выражает глубокую признательность.

Поскольку физико-механические свойства угля — очень важный параметр в процессе разрушения угольного массива, нами изучались эти свойства путем определения предела прочности угольных кернов на сжатие. Для этого отбирались образцы угля по следующим пластам: Мощному, Горелому, Лутугинскому, Характерному, II, III и IV Внутренним. В лаборатории изготовлялись керны диаметром 40 мм путем рассверливания образцов коронкой, армированной пластинками твердого сплава. Затем керны торцевались с помощью корундового диска. Отношение высоты керна к его диаметру принято равным единице. По каждому пласту изготовлялось от 11 до 22 образцов. Испытания прочности кернов на сжатие производились на станке типа «Schorreg», который автоматически регистрировал результаты испытаний (табл. 2).

Роль структуры угольных пластов в процессе газовыделения общепризнана [6, 7, 8]. Как известно, пласты, подверженные внезапным выбросам, наиболее нарушены и имеют самые высокие показатели начальной скорости газовыделения. Следовательно, прочность угля (его физико-механические свойства) и способность к газоотдаче существенно зависят от крупности структурных элементов. В связи с этим нами изучена степень нарушенности углей Прокопьевско-Киселевского месторождения. Определение степени нарушенности углей производилось раскалыванием угольных кернов конической шестиперой иглой (рис. 1) и на

станке «Schorpper» при скорости подачи стола 35 мм/мин. Образующаяся смесь зерен различной крупности подверглась ситовому анализу и определялся выход наиболее характерной фракции. Этот выход принят за показатель степени нарушенности угля.

При разработке такой методики определения степени нарушенности угля предполагалось, что раскалывание керна происходит по плоскостям естественных трещин, а образующийся в результате раскалывания материал по своему гранулометрическому составу характеризует степень нарушенности угля. Так как крупность структурных элементов донецких углей изменяется от 0,08 до 5 мм, а нарушенность углей Прокопьевско-Киселевского месторождения меньше (о чем, в частности, свидетельствует предел прочности на сжатие), были приняты размеры отверстий сит: 1,5; 3; 6; 10 мм. Условия раскалывания сохранялись неизменными для углей разной степени нарушенности. Как видно из приведенной табл. 3, наиболее характерна фракция — 3 мм.

Остальные фракции не испытывали заметных изменений, несмотря на значительные колебания механических свойств углей. Их выход определяется, по-видимому, условиями испытаний и не характеризует сте-

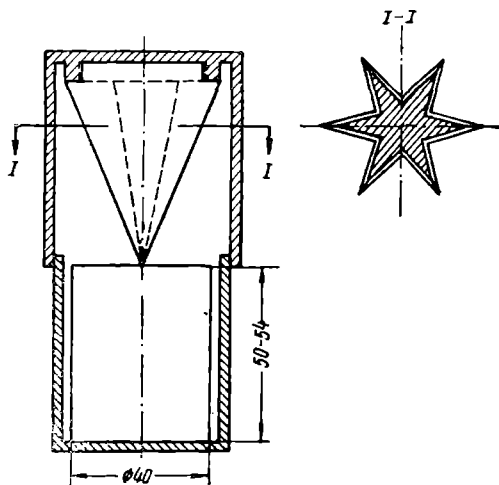


Рис. 1. Устройство для раскалывания угольных кернов

Таблица 2

Предел прочности углей на сжатие

Место отбора образца	Средний предел прочности угля на сжатие, кг/см ²
Шахта им. И. В. Сталина	
Пласт Мощный, 4-е южное крыло, горизонт 200 м	332
Пласт Горелый, 2-е северное крыло, горизонт 300 м	237
Шахта им. К. Е. Ворошилова	
Пласт Лутугинский, 42-й квершлаг, горизонт 60 м	230
Шахта им. И. В. Сталина	
Пласт III Внутренний, 2-е северное крыло, горизонт 300 м	214
Пласт II Внутренний, 4-е южное крыло, горизонт 300 м	145
Пласт Характерный, 4-е южное крыло, горизонт 300 м	128
Пласт IV Внутренний, 4-е южное крыло, горизонт 300 м	115

пень нарушенности угля. Поэтому фракция — 3 мм принята за показатель степени нарушенности углей, который одновременно может служить показателем прочности угля и показателем скорости начального газовыделения. Возможность использования показателя степени нарушенности в качестве показателя механической прочности угля доказы-

вается наличием зависимости между механической прочностью угля и выходом мелочи, характер которой представлен на рис. 2. Использование этого показателя (-3 мм) в качестве условного показателя скорости начального газовыделения не противоречит данным повседневной практики ведения горных работ на изучаемых пластах. Известно, что наибольшие затруднения в связи с повышенным газовыделением возникают при проведении выработок на пластах IV Внутреннем и Характерном, где произошло наибольшее число выбросов по Кузбассу. Показатель скорости начального газовыделения по этим пластам превышает соответствующие показатели по пласту Горелому в 2—2,5 раза.

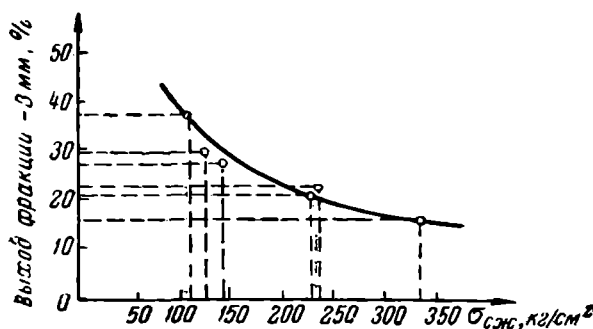


Рис. 2. Зависимость механической прочности от нарушенности угля:

ного состояния в разгруженное, т. е. при отделении угля от массива. В связи с этим нами определялись фильтрационные свойства угля (пористость и газопроницаемость) в разгруженном состоянии — на кернах. Диаметр кернов $28,5 \text{ мм}$, высота $20\text{—}30 \text{ мм}$. Определение газопроницаемости и пористости производилось стандартными методами, применяемыми в лабораториях физики пласта нефтяных и геологоразведочных институтов. Газопроницаемость определялась на аппаратуре завода КИП при 3—4 различных перепадах давлений. Всего произведено 111 определений по семи пластам Прокопьевско-Киселевского месторождения.

Таблица 3

Относительные показатели степени нарушенности углей
(по выходу фракции -3 мм)

Пласт	Вес керна, г	Выход фракций, г					Выход фракции -3 мм , %
		$-1,5 \text{ мм}$	$+1,5\text{—}3 \text{ мм}$	$+3\text{—}6 \text{ мм}$	$+6\text{—}10 \text{ мм}$	$+15 \text{ мм}$	
Мощный	75,5	8,6	3,95	8,4	9,2	44,5	16,6
Горелый	75,0	10,55	5,5	9,0	10,20	39,1	22,4
Лутугинский	75,0	10,1	5,30	9,45	9,9	40,0	20,6
III Внутренний	72,5	10,5	5,25	9,75	9,9	39,3	21,7
II Внутренний	78,5	14,4	6,0	9,8	9,63	39,7	26,0
Характерный	77,0	15,6	7,38	11,9	11,7	30,7	29,8
IV Внутренний	81,5	22,7	7,3	11,65	11,4	28,5	37,0

Примечание. В таблице приведены средние значения из 6 определений по каждому пласту.

Коэффициент газопроницаемости рассчитывался по формуле Дарси

$$k = \frac{2\mu P_0 QL}{F(P_m - P_0)},$$

где k — коэффициент газопроницаемости;

μ — кинематическая вязкость азота;
 P_b, P_m, P_p — соответственно барометрическое, манометрическое давление и давление на выходе по реометру, *мм рт. ст.*;
 Q — расход газа через керн, *см³/сек*;
 L и F — соответственно длина, *см*, и площадь поперечного сечения керна на выходе, *см²*.

Вследствие чрезвычайно низкой проницаемости большинства образцов определение производилось при высоких перепадах давлений: $P_m - P_p = 1,0 - 4,8$ ат. Как видно из приведенной табл. 4, значения проницаемости углей Прокопьевско-Киселевского месторождения колеблются от полной непроницаемости при данных условиях испытаний до 4 мд. Сопоставление результатов определения проницаемости с визуальным изучением образцов показало, что проницаемостью обладают образцы, вскрытые на всю высоту трещинами. Рыхлые прослойки блестящей петрографической разности практически не влияют на проницаемость: многие образцы, вскрытые этими прослойками на всю высоту, оказались практически непроницаемыми. Определение открытой пористости производилось (всего 40 определений) путем насыщения вакуумированных образцов керосином.

Таблица 4

Газопроницаемость и пористость углей

Место отбора образца	Газопроницаемость, мд		Пористость, %
	перпендикулярно напластованию	параллельно напластованию	
Шахта им. И. В. Сталина			
Пласт Мощный, горизонт 200 м	0,0023	0,044	3,16
Пласт Горелый, горизонт 300 м	0,447	0,0384	1,82
Шахта им. К. Е. Ворошилова			
Пласт Лутугинский, горизонт 60 м	0,252	0,0061	2,76
Шахта им. И. В. Сталина			
Пласт III Внутренний, горизонт 300 м	0,317	0,0778	1,45
Пласт II Внутренний, горизонт 300 м	0,187	0,005	1,16
Пласт IV Внутренний, горизонт 300 м	0,051	0,328	0,96
Пласт I Внутренний, горизонт 300 м	0,7	—	1,2

Примечание. В таблице приведены средние значения газопроницаемости из 10—20 определений и пористости из 5—6.

Расчет пористости производится по формулам:

$$V_{\text{пор}} = \frac{G_{\text{сух}} - G_{\text{нас}}}{\gamma_{\text{кер}}};$$

$$n = \frac{V_{\text{пор}}}{V_{\text{сух}}} 100,$$

где $V_{\text{пор}}$ — объем пор в исследуемом объеме угля, *см³/см³*;
 $G_{\text{сух}}, G_{\text{нас}}$ — соответственно вес кусочка угля в воздухе после просушивания при 105° и после насыщения керосином, г;
 n — пористость, %;
 $V_{\text{сух}}$ — объем высушенного образца, *см³*.

Результаты изучения физико-механических, структурных и фильтрационных свойств углей Прокопьевско-Киселевского месторождения показывают следующее:

1. Предел прочности сжатию углей месторождения изменяется от 115 до 332 кг/см^2 (средние значения). Максимальный предел прочности угля на сжатие по пласту Мощному 385 кг/см^2 . Таким образом, механические свойства этих углей близки углям Киселевского месторождения.

2. Указанному изменению механической прочности соответствует определенное изменение степени нарушенности угля, условно характеризуемой выходом мелкой фракции (-3 мм).

3. Для углей Прокопьевско-Киселевского месторождения характерна очень низкая проницаемость: от $< 0,001$ до 4 мд .

4. Пористость углей изменяется незначительно по сравнению с проницаемостью: от 0,56 до 5,29%.

Многие образцы, обладающие высокой пористостью, оказались практически непроницаемыми и наоборот. Так, например, пористости 5,29% соответствует проницаемость 0,001 мд , а пористости 0,56% — проницаемость 0,25 мд .

5. Единственными каналами для движения газа в угольных пластах являются трещины естественные или образовавшиеся под действием сил горного давления.

6. На торцевых гранях кернов, хорошо шлифованных в процессе обработки корундовым кругом, видны одна-две системы перпендикулярных напластованию трещин. Причем на кернах пласта Мощного трещины либо совсем отсутствуют, либо имеется одна система слабо проявленных трещин. Вторая система наблюдается, как правило, у пластов I—IV Внутренних. Проявлению этой системы (перпендикулярной первой, либо повернутой относительно первой под углом) соответствует увеличение степени проявления трещин первой системы. Расстояние между трещинами колеблется от долей миллиметра до 5—10 мм . Во многих случаях трещины заполнены минеральным веществом (пласт IV Внутренний), что очень сильно снижает газопроницаемость угля.

Степень нарушенности угольных пластов играет существенную роль в процессе газовыделения лишь после перехода угля из напряженного состояния в разгруженное, т. е. при условии разрушения угля силами горного давления. На газопроницаемость ненарушенного массива трещиноватость влияет, по-видимому, очень незначительно. Так, даже для сильно нарушенных углей Донбасса газопроницаемость ненарушенного массива 0,01 мд [4]. Р. М. Кричевский приводит значение коэффициента газопроницаемости ненарушенного массива 0,0057; 0,028 и 0,017 мд [9]. Поэтому для характеристики газовыделения недостаточно знать степень нарушенности угля. Степень нарушенности угля или крупность структурных элементов является лишь потенциальным фактором, действие которого может проявиться только после разгрузки угля от горного давления.

В связи с этим нами изучалась деформируемость угольного пласта в окрестности подготовительных горных выработок. Деформации угля определялись по сближению реперов, заложенных по восстанию и падению угольного пласта, т. е. в кровле и почве выработки. В почве закладывался один репер в виде отрезка металлической трубы длиной 1,5 м . В кровле закладывались реперы на расстоянии 0; 1,5 и 4 м от контура выработки (рис. 3). При обработке наблюдений почвенный

репер условно принят за неподвижный, и сближение реперов рассматривалось как опускание реперов, заложенных в кровле выработки. Все реперы закладывались в шпурах диаметром 40 мм. Конструкция репера показана на рис. 4. Реперы закладывались сразу после обнажения угольного пласта взрывными работами в призабойной части выработки на расстоянии 0,5—0,8 м от забоя. Начальный замер расстояния между

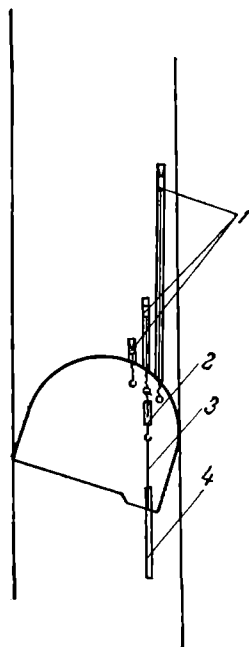


Рис. 3. Схема установки реперов:
1 — глубинные реперы; 2 — динамометр; 3 — рулетка; 4 — опорный репер

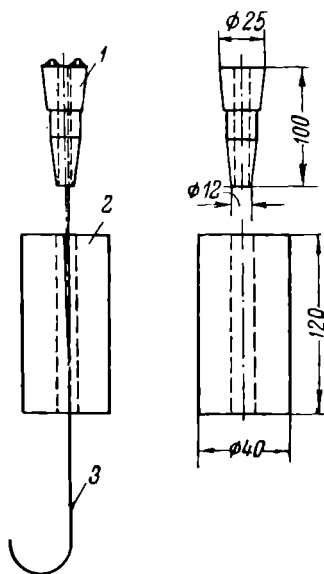


Рис. 4. Конструкция глубинного репера:
1 — металлический конус; 2 — деревянная пробка — затяжка; 3 — железная проволока диаметром 1,5—2,0 мм

реперами производился до следующего взрывания, последующие — ежедневно. В табл. 5 приведена краткая характеристика объектов наблюдения.

Таблица 5
Горнотехническая характеристика объектов наблюдений в основных штреках

Шахта, пласт, горизонт	Сечение выработки в свету, м ²	Мощность пласта, м	Средний предел прочности угля на сжатие, кг/см ²	Скорость проходки, м/сутки
Шахта им. И. В. Сталина				
Пласт Горелый, 4-е южное крыло, горизонт 300 м	13,2	9	237	6,0
Пласт Характерный, 4-е южное крыло, горизонт 300 м	13,2	3,5	128	3,2
Шахта им. К. Е. Ворошилова				
Пласт Лутугинский, горизонт 60 м	1,8	4,0	230	—
Пласт IV Внутренний, горизонт 60 м	10,0	7,0	115	4,8
Пласт Мощный, горизонт 60 м	10,0	18	332	6,0

Опускание реперов в основных штреках

Пласт	Глубина закладки репера, м	Опускание за первые сутки, мм	Общее опускание, мм	Опускание за первые сутки, % к общему	Сечение выработки в свету, м ²	Мощность пласта, м	Средний предел прочности угля на сжатие, кг/см ²
Горелый	54	54 35 24	104 74 48	57 47 50	13,2	9,0	237
IV Внутренний	0,2 1,5 4,0	95 61 40	131 82 54	72 74 75	7,8	9,5	115
Характерный	0,2 1,5 4,0	25 18 4	32 26 18	78 69 22	13,2	3,0	128
Лутугинский	0,2 1,5 4,0	32 14 0	32 19 9	100 74 0	7,8	4,0	230

Примечание. Наблюдения проводились на глубине 275 м (горизонт +60 м шахта им. К. Е. Ворошилова) и 375 м (горизонт —35 м, шахта им. И. В. Сталина).

Результаты наблюдений за смещением реперов в первых четырех выработках показаны на рис. 5 и сведены в табл. 6.

Анализ результатов наблюдений показывает следующее.

1. Проведение подготовительных горных выработок по мощным угольным пластам даже в условиях, при которых исключено влияние очистных работ, вызывает интенсивное деформирование приконтурной части угольного массива.

2. Смещение контура выработки за весь период наблюдений (см. рис. 5) на пластах средней мощности (3,5—4 м) составляет 25—32 мм; на пластах большой мощности (9—7,5 м) — 104—131 мм.

3. Процесс разрушения очень быстро распространяется в глубь массива. Уже за первые сутки на мощных пластах смещенными оказываются все три репера, а на пластах средней мощности, где этот процесс развивается с меньшей интенсивностью, третий репер смещается лишь на вторые сутки.

4. Смещение контура выработки происходит интенсивно и завершается, как правило, быстро. Так, по данным наших наблюдений, период смещения контура составляет 3—5 суток и при прочих равных условиях зависит, по-видимому, от мощности пласта и механической прочности угля. Наибольшие смещения контура выработки происходят за первые сутки и достигают 50—100% от общего смещения.¹

5. В ряде случаев данные суточных наблюдений показывают, что смещение реперов носит скачкообразный характер (см. рис. 5). Например, по основному штреку пластов Характерного и Мощного вначале наблюдалось резкое снижение интенсивности опускания репера 2, а на третьи сутки интенсивность опускания возросла. Это может быть следствием действия пришедших в движение вышележащих частей угольного массива.

6. Величина деформаций угольного пласта вблизи выработки определяется механической прочностью угля. Так, у пласта Мощного, для

¹ Под общим понимается смещение (опускание) за все время наблюдений от 25 до 30 суток. Как показали наблюдения на протяжении последних 15—20 суток, смещения контура практически не происходит.

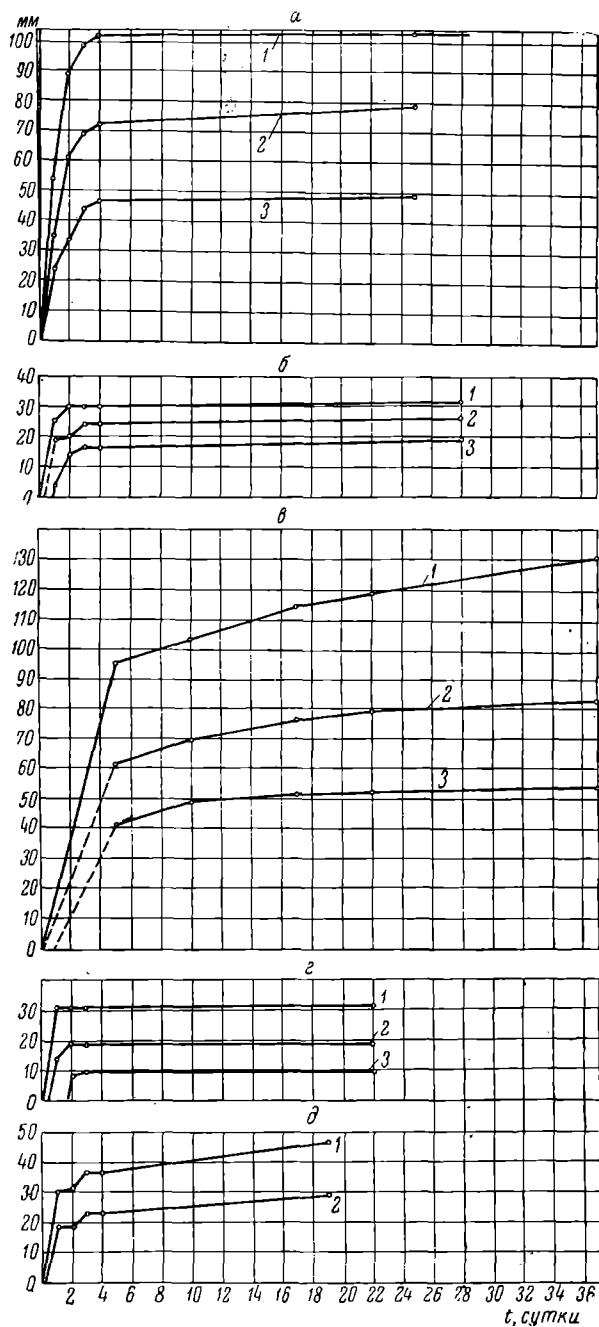


Рис. 5. Деформация угольного пласта по данным наблюдений за опусканием глубинных реперов:

a — Горелого с 19 квершлага (4-е южное крыло, горизонт 300 м);
б — Характерного; *в* — IV Внутреннего; *г* — Лугутинского;
д — Мощного. Опускание репера: 1 — контурного; 2 — установленного на глубине 1,5 м; 3 — установленного на глубине 4 м

которого предел прочности на сжатие 332 кг/см^2 , смещение контура выработки составило 46 мм за весь период наблюдений, а у пласта IV Внутреннего с пределом прочности угля на сжатие 115 кг/см^2 при тех же размерах поперечного сечения выработки и за равный промежуток времени оно равно 131 мм , т. е. в 3 раза больше.

7. Уменьшение мощности пласта действует на смещение контура так же, как увеличение механической прочности угля. По пластам Характерному ($\delta_{\text{сж}} = 128 \text{ кг/см}^2$) и IV Внутреннему ($\delta_{\text{сж}} = 115 \text{ кг/см}^2$) смещение контура соответственно 32 и 131 мм , т. е. у пласта IV Внутреннего в 4 раза больше, несмотря на то, что размеры поперечного сечения выработки по пласту Характерному ($13,2 \text{ м}^2$) превышают размеры сечения основного штрека пласта IV Внутреннего ($7,8 \text{ м}^2$).

С целью установления взаимосвязи между процессами разрушения и газовыделения была изучена газоотдача стенками подготовитель-

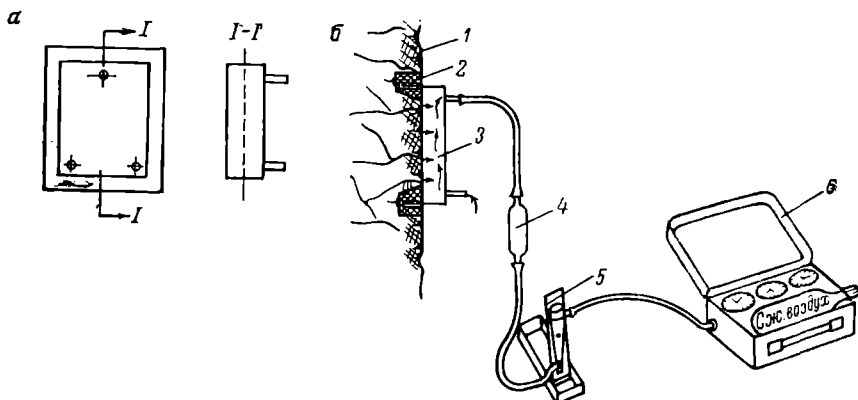


Рис. 6. Аппаратура для замера газоотдачи с обнаженной поверхности угольного пласта:

а — конструкция щита для изоляции поверхности; б — схема замера газоотдачи; 1 — угольный массив; 2 — глиняная обмазка для закрепления щита; 3 — щит; 4 — бюретка для отбора газовой смеси; 5 — реометр для определения расхода воздуха при просасывании; 6 — рудничный эжекционный аспиратор АЭР-4

ных выработок. Замеры газоотдачи производились на свежесобранной поверхности угольного пласта непосредственно после взрывных работ, затем через 6 час. после отпалки и через 4—6 час. после повторной отпалки. Последующие наблюдения за газоотдачей проводились в течение 10—25 суток. Общая длительность наблюдений по отдельным выработкам 2—2,5 месяца. Газоотдача изучалась как на поверхности нависающего угольного массива в кровле выработки, так и с поверхности почвы. При изучении динамики газовыделения, кроме ежедневных наблюдений, проводились наблюдения через каждые 2 часа в течение 8—12—18 часов.

При изучении величины газоотдачи использовалась известная методика [4, 9, 10]. Она заключается в эвакуации метана, выделяющегося под щит, причем газовыделение с поверхности пласта определялось просасыванием рудничного воздуха под щитом с заданным расходом. По разности концентраций метана на входе под щит и выходе из-под щита и расходу воздуха (литр в минуту) определялось газовыделение с изолированной поверхности. Как видно из рис. 6, движение воздуха под щитом аналогично движению свободной струи в камерообразных выработках. Очевидно, скорость воздушного потока в разных точках подщитового пространства различна. Поэтому концентрация метана на выходе из-под щита, по-видимому, не пропорциональна его количеству,

поступающему под щит. Кроме того, скорость потока зависит от положения щита в пространстве. Метан как наиболее легкий газ скопится в верхней части подщитового пространства, а струя воздуха движется по линии наименьшего сопротивления — у крышки щита, на которой расположены воздухоподающие штуцеры. Поэтому при установке щита на почве результат замера будет выше фактического, а при установке щита на кровле — ниже. Наиболее благоприятные условия перемещения метана наблюдаются при установке щита на боковой стенке выработки. В этом случае результат должен, по-видимому, больше всего приближаться к фактическому. Поэтому применение метода продувки подщитового пространства требует обязательного определения поправочных коэффициентов, учитывающих условия замера (расход воздуха и положение щита в пространстве).

Эти коэффициенты могут быть определены сопоставлением данного метода с другим более объективным методом замера величины газовыделения по скорости поднятия уровня спирта в микроманометре. Поправочные коэффициенты определяются замером газоотдачи этими двумя методами при установке щита в водоотливной канавке. Метод продувки при расходе воздуха 5 л/мин дал результат, завышенный на 25% по сравнению с полученным по микроманометру.

В соответствии с приведенными выше соображениями о влиянии положения щита на величину газоотдачи нами приняты следующие поправочные коэффициенты: при установке щита на почве 0,75, на кровле 1,25 и при установке щита на боковой стенке 1,0. Они действительно при расходе воздуха 5 л/мин. Постоянство расхода воздуха при всех замерах обеспечило достаточную точность и сопоставимость результатов наблюдений. Продолжительность продувки подщитового пространства до отбора проб принята 16 мин., что при емкости подщитового пространства 8 л и расходе воздуха 5 л/мин обеспечило 10-кратный обмен газовойдушной смеси под щитом.

Анализ результатов наблюдений за газовыделением свидетельствует о следующем (рис. 7, 8).

1. Газовыделение из призабойной части угольного пласта через 6—8 час. после взрывных работ уменьшается по сравнению с газовыделением со свежееобнаженной поверхности в 30—50 раз. Такое резкое истощение газоотдачи происходит потому, что в газовыделении принимает участие сравнительно небольшой объем угля, расположенный в призабойной части угольного пласта и частично нарушенный взрывом.

Окружающий же массив находится в состоянии упругого деформирования и участия в газовыделении не принимает.

2. По мере дальнейшего подвигания забоя газовыделение на том же участке обнаженной поверхности угольного пласта начинает увеличиваться и к концу вторых суток достигает максимальных значений. По величине газовыделение в этот период приближается к газовыделению со свежееобнаженной поверхности. Такой характер газовыделения объясняется разрушением угля в окрестности выработки. Подвигание фронта растрескивания от контура выработки в глубь массива приводит к тому, что объем угля, принимающего участие в газовыделении, возрастает. Этот рост продолжается до тех пор, пока время, прошедшее с начала деформирования контура выработки, меньше периода истощения угля, расположенного у контура выработки. Если по истечении периода истощения газоотдачи скорость подвигания фронта растрескивания остается постоянной, то объем угля, принимающего участие в газовыделении, не изменяется, а зона дегазации пласта перемещается

в глубь массива со скоростью, равной скорости подвигания фронта растрескивания.

3. Достигнув максимума, газовыделение удерживается на этом уровне некоторый промежуток времени (на пластах мощностью 3,5—4,0 м 10—18 суток, а на пластах мощностью 7—9 м 45—70 суток).

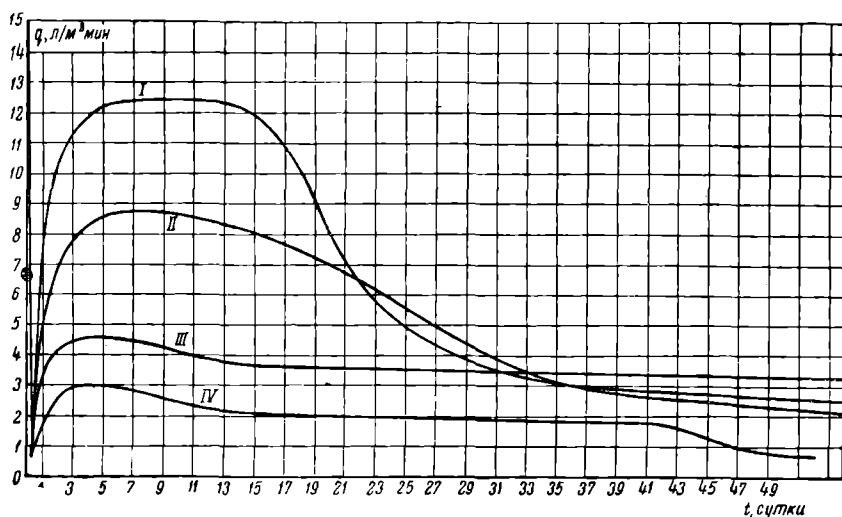


Рис. 7. Зависимость изменения газотдачи от периода обнажения массива по пластам:

I — Характерному; II — Лутугинскому; III — Горелому; IV — Мощному

Затем начинается очень медленное затухание газотдачи. Такой характер газовыделения объясняется тем, что скорость подвигания фронта растрескивания и характер ее изменения в течение периода деформирования массива зависят от мощности и механической прочности угля.

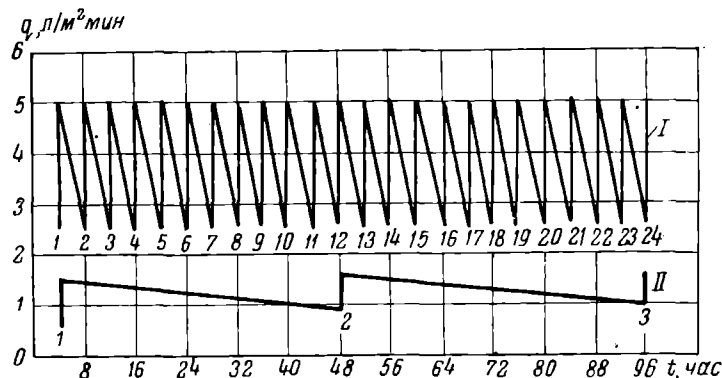


Рис. 8. Динамика газотдачи:

I — из кровли выработки; II — из почвы выработки (основной штрек пласта Характерного); 1—24 — циклы раздвигания для кровли выработки; 1—3 — то же, для почвы выработки

Поэтому у пластов средней мощности уменьшение скорости подвигания фронта растрескивания наступает через 10—18 суток, а на мощных пластах только через 45—70 суток. Величина газовыделения при равной газоносности угля зависит от его механической прочности. Так, газотдача с 1 м² обнаженной поверхности пласта Характерного в 4—

6 раз больше, чем у пласта Мощного. Следовательно, чем крепче уголь, тем меньше газовыделение и наоборот.

4. Газовыделение из кровли выработки превышает газовыделение из почвы в 12—13 раз, что объясняется также различной скоростью продвижения фронта растрескивания по восстанию и падению пласта. В кровле выработки собственный вес угля способствует интенсивному разрушению угольного пласта в зоне концентрации напряжений. В почве выработки собственный вес разрушенного угля создает значительную пригрузку на упруго работающий угольный массив. Благодаря этому резко изменяется соотношение компонентов напряжений σ_1 и σ_2 , а напряженное состояние угля в зоне концентрации напряжений приближается к объемному сжатию. Поэтому несущая способность угля в почве выработки оказывается выше, чем в кровле при равной концентрации напряжений в зоне опорного давления.

5. Газовыделение из кровли и почвы носит периодический характер, который в самых общих чертах представлен на рис. 8. Такой характер газовыделения можно объяснить периодическим переходом статической формы проявления горного давления в динамическую. Эта чередуемость различных форм проявления горного давления является следствием хрупкого характера разрушения угля: между моментами разрушения угля (динамическая форма проявления горного давления) имеются более или менее длительные периоды упругого состояния массива (статическая форма). Увеличение газоотдачи приурочено, по-видимому, к моментам разрушения угольного пласта, когда происходит раскрытие естественных трещин. В периоды упругого состояния угля, напротив, происходит снижение газоотдачи.

6. Период упругого состояния угля в кровле выработки в 12 раз меньше, чем в почве (см. рис. 8). Эта особенность динамики газовыделения объясняется различной интенсивностью проявления сил горного давления в почве и кровле выработки.

Таким образом, в результате изучения особенностей газовыделения в подготовительных выработках установлена зависимость величины и характера газовыделения от следующих факторов: 1) времени или периода обнажения угольного массива; 2) степени нарушенности и механической прочности угля; 3) мощности угольного пласта; 4) положения рассматриваемой части угольного пласта относительно выработки (газовыделение из кровли в 12—13 раз больше, чем из почвы); 5) газоносности угольного пласта; 6) характера разрушения угольного массива.

Влияние на процесс газовыделения таких факторов, как механическая прочность угля, мощность угольного пласта, положение рассматриваемой области угольного пласта относительно выработки, характер разрушения угольного пласта нельзя объяснить с позиции теории фильтрации и подземной гидравлики. Совершенно очевидно, что эти факторы определяют различную интенсивность деформирования угля в зоне опорного давления и согласно свидетельствуют об определяющей роли разрушения угля в процессе газовыделения.

Таким образом, определен механизм движения газа в угольных пластах, знание которого имеет решающее значение для разработки теории движения газов вблизи горных выработок, для прогноза газообильности горных работ и разработки эффективных методов предварительного извлечения метана из угольных пластов.

Выделение газа из угольных пластов представляется как результат двух одновременно идущих процессов: процесса деформирования угольного пласта, который подготавливает условия для движения газа,

и процесса истощения разрушенного угля. При этом истощение угля рассматривается как истощение системы структурных элементов, на которые расчленяется угольный пласт в результате процессов метаморфизма и складкообразования. На основании изложенных представлений о механизме движения газа в угольных пластах в окрестности горных выработок могут быть установлены параметры, определяющие интенсивность выделения метана из угольных пластов: 1) скорость продвижения фронта растрескивания от контура выработки в глубь пласта; 2) газоносность угля; 3) крупность структурных элементов; 4) газопроницаемость ненарушенного угля; 5) условия фильтрации газа в зоне трещинообразования.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Лидин Г. Д. Газовыделения в угольных шахтах и методы борьбы с ними. Углетехиздат, 1952.
 2. Сковчинский А. А., Ходот В. В. Горная наука и борьба с внезапными выбросами угля и газа в шахтах. Углетехиздат, 1957.
 3. Амосов И. И., Еремин И. В., Ермакова В. П., Гречишников Н. П. Зависимость внезапных выбросов в угольных шахтах от петрографических особенностей углей. Тр. Ин-та горючих ископаемых АН СССР, 1955, т. VI.
 4. Щербань Н. А., Цирульников А. С. Газопроницаемость угольных пластов. Изд. АН УССР, 1958.
 5. Божко В. Л. Изучение газовыделения в подготовительных выработках. Рукопись. Фонды МакНИИ, 1952—1953.
 6. Иейте Е. С. Исследование трещиноватости пластов Горловского антиклиналя, склонных к внезапным выбросам. Тр. МакНИИ, 1937, сб. IV.
 7. Эттингер И. Л., Штеренберг Л. Е., Яблоков В. С. О связи между строением угольных пластов и явлениями внезапных выбросов. Уголь, 1953, № 11.
 8. Эз В. В. Микротектоника угольных пластов и внезапные выбросы. Тр. Геофизического ин-та АН СССР, 1956, т. 34.
 9. Бобров И. В., Кричевский Р. М. Работы МакНИИ в области борьбы с внезапными выбросами угля и газа за 1952—1953 гг. Изд. МакНИИ, 1955.
 10. Рапопорт М. Я. Интенсивность газовыделения из угольного пласта в зависимости от перераспределения горного давления. Сб. «Рудничная аэрология и безопасность труда в шахтах». Углетехиздат, 1949.
 11. Герасимов И. А. Исследование газовыделения в подготовительных горных выработках на шахтах Кузбасса. Рукопись. Фонды ВостНИИ, 1947.
-