



*Для рабочих и горных мастеров
предприятий, строящих
и эксплуатирующих угольные
шахты, горнотехнических
работников этих предприятий,
государственного надзора,
проектных и
научно-исследовательских организаций,
преподавателей и аспирантов
высших учебных заведений,
техникумов, учебно-курсовых
комбинатов (УКК), студентов
горных специальностей,
учащихся техникумов,
профессионально-технических училищ*

**СОВРЕМЕННЫЕ
ПРЕДСТАВЛЕНИЯ
ПРИРОДЫ
ВЫБРОСОПАСНОСТИ
И МЕХАНИЗМА
ВЫБРОСОВ
КАК НАУЧНАЯ
ОСНОВА
БЕЗОПАСНОСТИ
ТРУДА**

СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ПРИРОДЫ ВЫБРОСОПАСНОСТИ И МЕХАНИЗМА ВЫБРОСОВ КАК НАУЧНАЯ ОСНОВА БЕЗОПАСНОСТИ ТРУДА

ISBN 966—7559—11—4

В.И. Николин, А.Г. Заболотный, С.Г. Лунев.

Современные представления природы выбросоопасности и механизма выбросов как научная основа безопасности труда, 1999. — 96 с.

Сформулировано современное понятие о газодинамических явлениях, выбросе угля (породы) и газа. Объясняется природная сущность, достоверность и однозначность трёх предупредительных признаков выбросов угля.

Излагается сущность теории выбросов, некоторые сведения о физико-химических свойствах выбросоопасных углей и песчаников. Вскрывается на основе закономерности связи выбросоопасности со степенью метаморфизма органики физическая сущность способа регионального прогноза выбросоопасности угольных пластов и слоёв песчаников, природа локальности выбросоопасности.

Обосновывается механизм возникновения и протекания выбросов угля (породы) и газа как научная основа создания способов предотвращения выбросов. Разъясняется сущность сотрясательного взрыва, истоки его параметров, показывается необходимость их соблюдения.

Для рабочих и горных мастеров предприятий, строящих и эксплуатирующих угольные шахты, горнотехнических работников этих предприятий, государственного надзора, проектных и научно-исследовательских организаций, преподавателей и аспирантов высших учебных заведений, техникумов, учебных курсовых комбинатов (УКК), студентов горных специальностей, учащихся техникумов, профессионально-технических училищ.

В.И. Николин, А.Г. Заболотный, С.Г. Лунев.

Сучасні уяви природи викидонебезпеки і механізму викидів як наукова основа безпеки праці, 1999.

Сформульована сучасна уява про газодинамічні явища, викид вугілля (породи) і газу. Пояснюється природна суть, достовірність і однозначність трьох попереджувальних ознак викидів вугілля.

Викладається суть теорії викидів, деякі відомості про фізико-хімічні властивості викидонебезпечного вугілля і пісковиків. Розкривається на основі закономірності зв'язку викидонебезпеки із мірою метаморфизма органіки фізична суть способу регіонального прогнозу викидонебезпеки вугільних пластів і шарів пісковиків, природа локальності викидонебезпеки.

Влаштовується механізм виникнення і протікання викидів вугілля (породи) і газу як наукова основа створення способів запобігання викидам. Роз'яснюється суть струшуючого висадження, джерела його параметрів, показується необхідність їх дотримання.

Для робітників і гірських майстрів підприємств, що будують і що експлуатують вугільні шахти, гірничотехнічних працівників цих підприємств, державного нагляду, проектних і науково-дослідних організацій, викладачів і аспірантів вищих учбових закладів, технікумів, учбово-курсівих комбінатів (УКК), студентів гірських спеціальностей, студентів технікумів, професійно-технічних училищ.

Введение

В решении Государственной комиссии по специальному расследованию аварии на шахте «Булавинская» ПО Орджоникидзеуголь (выброс угля и газа 03.10.98 г.) отмечалось, что одной из причин группового смертельного травматизма явился низкий уровень знаний по обеспечению безопасных условий труда при разработке выбросоопасных угольных пластов. Позже, буквально в течение нескольких месяцев справедливость такого заключения подтвердили результаты расследования аварий с групповым смертельным травматизмом, происшедших в результате выбросов угля и газа на шахтах «Комсомолец» ПО Артёмуголь, «Краснолиманская» и им. К. Маркса ПО Орджоникидзеуголь.

Одновременно Государственная комиссия приняла решение об издании пособия для рабочих и горных мастеров по вопросам безопасности при разработке выбросоопасных пластов, а позже (05.05.99 г.) программа обучения была согласована Комитетом Госназдорхрантруда и утверждена Минуглепромом Украины.

Программа совершенно не затрагивает формы обучения и повышения квалификации по вопросам охраны труда, предусмотренные Правилами безопасности в угольных шахтах (ПБ). Её принципиальная особенность заключается в том, что разработана она во исполнение решения Государственной комиссии по специальному расследованию аварии и что направлена она не на изучение нормативных положений о параметрах способов прогноза выбросоопасности, способов предотвращения выбросов и т. п., а на изучение того, что такое выброс угля (породы) и газа. При этом исходили из очевидного: неукоснительному выполнению требований ПБ может только способствовать знание и понимание того, как выбросоопасность формируется, как и почему выброс угля (породы) и газа возникает, как он протекает и к каким трагическим последствиям может приводить несоблюдение нормативных положений.

Перечисленные знания нужны не только рабочим и горным мастерам шахт, опасных по выбросам, но и значительно более широкому кругу специалистов, учащихся и студентов, а также их учителям, преподавателям. Это и определило содержание, характер изложения материала в монографии.

Подраздел 2.4. написан совместно с канд. техн. наук Мордасовым В.И., а раздел 4 – совместно с канд. техн. наук. Агафоновым А.В. и горными инженерами Ивановым О.И., Подорвановым А.А.

Компьютерный набор и компьютерная графика выполнены студентом Ляковским А.В. и Николиным В.В. (младшим).

Думаем, что монография не лишена недостатков, поэтому с благодарностью воспримем все конструктивные предложения – замечания.

1. Общие понятия и сведения о сущности газодинамических явлений в угольных шахтах

При разработке угольных месторождений многих стран мира в различных горно-геологических и горно-технических условиях, особенно больших глубин, происходит несколько разновидностей проявлений горного давления, сопровождающихся повышенным, по сравнению с обычным газовыделением, которые получили название газодинамических явлений (сокращённо ГДЯ). Они представляют собой быстропротекающие разрушения призабойной части угольных пластов или вмещающих их пород, происходящие при выемке в забое угля (породы) и сопровождающиеся повышенным газовыделением.

Нами совершенно неслучайно подчёркнуто, что разрушение является быстропротекающим, а не каким-либо мгновенным или даже молниеносным, подобным взрыву. Именно быстропротекающее разрушение позволяет трудящимся при условии знания и понимания предупредительных признаков своевременно покинуть опасное рабочее место. К более детальному рассмотрению этого вопроса в дальнейшем мы ещё вернёмся.

К газодинамическим явлениям относятся:

- выдавливания (отжимы) угольного пласта, происходящие как в лавах, так и в подготовительных выработках;
- обрушения (высыпания) угольного пласта — это те же отжимы, но происходящие при разработке крутых и крутонаклонных пластов;
- суфляры, или суфлярные газовыделения, вскрываемые чаще всего подготовительными выработками;
- разломы пород почвы пластов, происходящие преимущественно в выработанных пространствах лав.

Выбросы угля и газа, выбросы пород и газа также относятся к газодинамическим явлениям. Учитывая специфику написания монографии, в дальнейшем детально будут рассматриваться в основном вопросы, непосредственно относящиеся к решению проблем выбросов угля (породы) и газа.

1.1. Терминология, принятая или использовавшаяся ранее в различные периоды времени двадцатого столетия отражала в существенной, а иногда и в решающей степени глубину познания явления внезапного выброса. В те времена,

когда отечественная наука и практика почти исключительно заимствовала представления о том, что такое выбросы у специалистов Франции, Бельгии, Германии (начало двадцатого века), никто не говорил о внезапных выбросах угля и газа. Говорили о внезапных выделениях газа. Пласты называли подверженными внезапным выделениям газа, а не выбросоопасными.

Такие представления объясняли и подтверждали те трагические факты, что причиной гибели многочисленного числа трудящихся при первых мощных выбросах во Франции, Бельгии, Германии, Англии, Венгрии был выделявшийся при этом газ, приводивший не только к отравлениям (углекислый газ), но и к недостатку кислорода в рудничной (шахтной) атмосфере (метан).

Ещё на I-й Всесоюзной конференции по технике безопасности и горноспасательному делу, проходившей в 1932 г. (г. Сталино), доклад профессора Биленко В.А. (Московский горный институт) по этой проблеме назывался «Внезапные выделения газа и меры борьбы с ними» [1]. Но шло время и всё большее число специалистов понимало, что разрабатываем мы угольные пласты и что уголь содержит газ, а не находится в газе. И уже I-ое Всесоюзное совещание в 1948 г. было направлено на решение проблемы внезапных выбросов угля и газа. На нём отмечалось, что внезапные выбросы угля и газа в шахтах являются одним из самых трудных научных вопросов угольной промышленности. В дальнейшем и до сегодняшних дней это представление и термин в отечественной науке и практике так и сохранились.

Позже на шахтах Донбасса в пятидесятые – шестидесятые годы двадцатого столетия произошли первые выбросы породы и газа, число которых к началу шестидесятых годов существенно возросло и привело к значительному снижению темпов проведения полевых выработок, что осложнило строительство новых шахт и подготовку новых горизонтов на глубинах, превышающих 700 – 800 м. Все они имели место при буровзрывном способе разрушения породного массива во время проведения выработок в песчаниках, коэффициент крепости которых в среднем составлял $f \approx 8$. Другого (кроме буровзрывного) способа разрушения таких пород не было, чем и объясняется взаимосвязь выбросов песчаников с ведением взрывных работ. В «Инструкцию по безопасному ведению горных работ на пластах, склонным к внезапным выбросам угля, породы и газа» издания 1977 г. впервые включены требования к проведению выработок в выбросоопасных слоях песчаников. Они констатировали то положение, что даже

при значительной мощности песчаников (например 60 м. под пластом h_6 Смоляниновским на шахте им. Скочинского) выбросоопасными могут быть лишь отдельные его слои.

Внезапные выбросы угля и газа зарегистрированы во всех странах с развитой угольной промышленностью: от Австралии и Бельгии до Китая и Японии. Учитывая то, что число разрабатываемых шахтопластов в Украине и число шахт, отнесённых к категории опасных по внезапным выбросам, ежегодно, хоть и не существенно, изменяется, в том числе и из-за т. н. реструктуризации, означающей закрытие шахт, можно констатировать, что число их составляет примерно (для простоты запоминания) 100, а добывается из них в год около 30% угля.

Выбросы угля и газа могут происходить (и происходят) при выемке угля и пород в выработках любого, самого различного назначения: от стволов до очистных забоев (лав) при всех существующих способах выемки: обушками, отбойными молотками (ОМ), комбайнами (добычными или проходческими), стругами, при бурении скважин и шпуров, при продувке шпуров сжатым воздухом, при разрушении углепородного массива буровзрывным способом, при оборке (выравнивании) забоя лопатой после сотрясательного взрывания, при разрушении угольного пласта водяными струями, в том числе тонкими высоконапорными.

Выбросоопасность угольных шахтопластов (слоёв песчаников) – это не только автоматическое отнесение пласта к выбросоопасным, но и отнесение шахты к высшей категории по газу – опасной по внезапным выбросам. В соответствии с требованиями Правил безопасности в угольных шахтах это означает не эпизодическое применение каких-то отдельных противовыбросных мероприятий, а квалифицированное и непрерывное выполнение работ по прогнозу выбросоопасности, предотвращению выбросов угля и газа, контролю за эффективностью их применения, а также других работ, направленных на обеспечение безопасности труда работающих. Естественно, что они существенным образом влияют на конечный результат – стоимость продукции, т. е. основные технико-экономические показатели работы шахты.

1.2. «Инструкции...» изданий 1977 и 1989 гг. [2, 3] содержат изложение сущности явления внезапного выброса угля и газа, которое, по нашему мнению, не является удачным или полным.

Во-первых смысл слова «внезапный» понятен, ибо отражает неожиданность явления. Оно справедливо в наибольшей степени тогда, когда явление происходит впервые. Но а если, с одной стороны, выбросы происходят в течение многих лет, десятилетий? С другой стороны, во-вторых, если есть внезапные выбросы, то должны быть ещё какие-то. Оказывается, других нет. Следовательно, внезапные – слово лишнее, поэтому его нужно убрать и останутся просто выбросы угля и газа.

В-третьих, в обеих названных «Инструкциях...» явление внезапных выбросов угля и газа рассматривается как протекающее в несколько стадий. В «Инструкции...» издания 1989 г. [3] это следующие четыре стадии: а – «хрупкое разрушение напряжённой призабойной части пласта, вызванное производственными процессами». Но в выбросоопасных зонах, в том числе в геологических нарушениях угольный пласт нередко тектонически препарирован, перемят настолько, что по существу представляет собой сыпучую массу (среду). Говорить в таких случаях о хрупком разрушении нельзя. Скорее можно утверждать, что сыпучее тело, находящее между какими-то, пусть условно плитами, может разрушиться – высыпаться, если они (плиты) как бы «разойдутся» - перестанут сжимать это сыпучее тело.

Утверждение, что хрупкое разрушение вызывается производственными процессами также требует уточнения, конкретизации, ибо, например, укладка постоянного рельсового пути в откаточном штреке – тоже производственный процесс. Но выбросом он сопровождаться не может. Поэтому следует говорить лишь о тех производственных процессах, которые сопровождаются перераспределением напряжений в призабойной части пласта. Это, в частности, выемка угля; выемка пород, вмещающих угольный пласт, в подготовительных выработках, проводимых смешанным забоем; выполнение способов локального предотвращения выбросов угля и газа (гидроотжим, бурение опережающих скважин) и др.

б – «выброс угля и газа, представляющий собой саморазвивающееся (самоподдерживающееся) разрушение газоносного массива». Но стадии «а» и «б» неделимы даже условно, ибо составляют единый процесс разрушения, протекающий не мгновенно и являющийся по своей сущности временным, т. е. развивающимся во времени. Более детально эти вопросы будут рассматриваться далее в разделе 3.

в – «вынос угля в потоке расширяющегося газа». Рассмотрение процесса выноса (переноса) разрушаемого во время выброса угля по выработкам как происходящего в потоке расширяющегося газа является слишком значительным упрощением процесса и потому неправильно по двум причинам. Во-первых, процессы разрушения и газовыделения во времени неразрывны: метан (газ) начинает выделяться из угля одновременно с его разрушением. Во-вторых, выделение метана (газа) из разрушенного угля не мгновенно и продолжается по мере транспортирования и дополнительного «истирания» последнего по мере его перемещения по выработкам. Более детально эти вопросы будут рассматриваться также в разделе 3.

г – «постепенно затухающее газовыделение из полости выброса и отброшенного угля». Как самостоятельная эта стадия не может рассматриваться по нескольким причинам. Во-первых, выброс произошёл и уже завершился. Всё, что происходит потом, не может быть стадией выброса.

Во-вторых, полость в угольном пасте, образованная выбросом, всегда заполнена разрушенным углём (полностью или в какой-то степени – это уже детали). Газовыделение из разрушенного угля, в том числе находящегося на стенках полости и на каком-то расстоянии от них в глубине массива, происходит и в дальнейшем в течение продолжительного периода времени. Оно продолжается при уборке разрушенного и выброшенного угля. Это могут быть периоды времени, превышающие 30 – 40 суток, но не имеющие никакого отношения к какой-то стадии выброса. Правильнее говорить о последствиях выброса, а не о его какой-то последней стадии.

Всё весьма коротко изложенное позволяет сформулировать понятие о том, что такое выброс угля и газа. С учётом того, что это понятие полностью описывает и выброс породы и газа, в формулировке после слова «уголь» в скобках напишем «породы», хотя о некоторых особенностях последних материалов будет излагаться в последующих двух разделах.

Выброс угля (породы) и газа представляет собой быстропотекающее разрушение призабойной части пласта, возникающее при перераспределении в ней напряжений, распространяющееся от забоя в глубину массива, сопровождающееся отбросом (выбросом), иногда на сотни метров, разрушенного до тонких фракций угля (породы), как правило, содержащих «бешеную муку», повышен-

ным, по сравнению с обычным, газовыделением и образованием в угольном (породном) массиве полостей нередко причудливой формы.

Количество разрушенного и отброшенного во время выброса угля (породы) получило, в том числе и в нормативных документах, название интенсивность и измеряется в тоннах. Наряду с этим в специальной литературе используется и термин сила выброса, т.

Обоснуем (докажем) сущность каждого из положений, характеризующих природную реакцию угольного пласта на внедрение в него выработкой (скважиной) – явление выбросов.

Во-первых, разрушение угля (породы) при выбросе названо быстропротекающим, а не мгновенным. Впервые это положение было экспериментально установлено МакНИИ (проф. д.т.н. Бобров И.В. и др.) во второй половине пятидесятых годов. В откаточном штреке дистанционно измерялась скорость движения по выработке газо-угольной смеси и упругие колебания угольно-породного массива при взрывании зарядов ВВ как не сопровождавшихся, так и сопровождавшихся выбросами угля и газа. Установлено, что продолжительность передвижения газо-угольного потока при выбросах изменялась от 0,4 до 3,1 сек.; продолжительность упругих колебаний массива – от 8 до 75 сек. Все произошедшие выбросы были небольшой интенсивности: от 22 до 60 т., а в среднем 37 т. Следовательно, для выбросов интенсивностью до 100 т. можно ориентировочно считать, что в секунду разрушается примерно 10 т. угля. В дальнейшем эксперименты такого же назначения, хотя и различного методического содержания проводились неоднократно, в том числе и специалистами других научно-исследовательских организаций [4]. Особенно интенсивно и тщательно они выполнялись при изучении механизма выбросов породы (песчаников) и газа в шестидесятые годы. Измерения проводились при значительно более интенсивных выбросах. Но во всех случаях подтверждалось представление о том, что выброс не является процессом мгновенного разрушения. Он протекает во времени и больший по интенсивности выброс продолжается больший период времени. И хотя математического описания зависимости интенсивности выбросов от времени их протекания (или наоборот) нет и учитывая существенное отличие плотности угля и песчаников (1.3 и 2.5 т/м³ в среднем) в качестве временного ориентира объема разрушения при выбросах угля и газа можно принять 5 м³/с.

Доказательства того, что выброс возникает при выемке угля в призабойной части пласта и распространяется в глубину массива будут дополнительно изложены в разделе 3 при рассмотрении механизма возникновения и протекания выбросов угля (породы) и газа. При этом будет учитываться и обращаться особое внимание на выбросы угля и газа, происшедшие во время бурения скважины и шпуров общее число которых по состоянию на 01.01.98 г. превысило 200 (202 случая). Здесь особое внимание следует обратить на те случаи выбросов, которые произошли при бурении скважин на глубине 3 – 7 м., когда целик угля в промежутке 3 – 7 м. от забоя выработки остаётся неразрушенным, а полости, образованные выбросами, располагаются за его пределами и направлены в сторону массива. Для примера на рисунке 1.1. показана схема выброса, про-

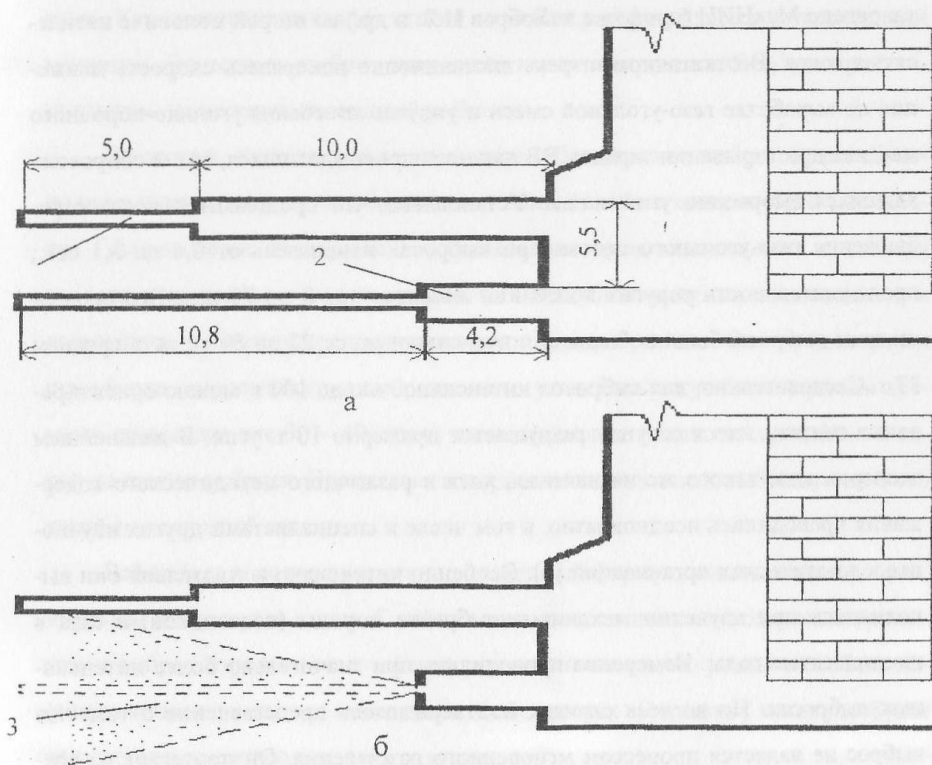


Рис. 1.1. Схема места внезапного выброса угля и газа, происшедшего на шахте им.Калинина ПО Донецкуголь при разбуривании скважины: а, б – положение в забое до и после выброса; 1, 2 – номера скважин, содержащих участки диаметром 43 и 100мм; 3 – полость, образованная выбросом.

исшедшего на ш. им. Калинина 15.04.72 г. Скважина 1 в нижней нише четвёртой восточной лавы пласта h_{10} Ливенский была пробурена диаметром 43 мм.

длиной 15 м., а затем на глубину 10 м. разбурена до диаметра 100 мм. При разбуривании скважины 2 произошёл выброс, во время которого целик от забоя скважины до забоя ниши лавы остался неразрушенным.

Значительный отброс разрушенного во время выброса угля, нередко превышающий 100 – 200 м., вполне убедительно доказывают данные, полученные при расследовании аварий. Например, при выбросе угля и газа, происшедшем в откаточном штреке пласта k_3^a Дерёзовка шахты «Юнком» 13.12.73 г., отброс составил 213 м. В квершлаг шахты им. Изотова при вскрытии пласта m_2 Тонкий во время выброса, происшедшего 14.11.67 г. – 185 м. Отброс угля во время рекордного по интенсивности выброса (13000 т.), происшедшего на шахте им. Гагарина при вскрытии пласта l_3 Мазурка, составил 650 м.

Разрушение угля до тонких фракций, названных французами в прошлом (девятнадцатом) веке «бешеной мукой» и похожих (напоминающих) по степени дробления цемент или пудру, в отдельных случаях при выбросах небольшой интенсивности (примерно 30 – 40 т.) может не обнаруживаться. При выбросах большой и значительной интенсивности бешеная мука обнаруживается не только в разрушенном угле, но и на его поверхности, в конце откоса, образованного разрушенным углем.

Повышенное, по сравнению с обычным, газовыделение, объясняется по крайней мере тремя причинами. Во-первых, большим, чем обычно, объёмом разрушения угля и более тонким его дроблением, обуславливающее более полное газовыделение. Во-вторых, более высокой природной газоносностью угольных пластов в выбросоопасных зонах. Под природной газоносностью (X , m^3 /т.с.б.м. – m^3 на 1 т. сухой беззольной массы) понимается количество метана (газа) обусловленное природой, содержащееся в угольном пласте. И наконец, в-третьих, газовыделением не только из разрушенного и выброшенного (отброшенного) угля, но и из разрушенного, но не выброшенного угля, который в дальнейшем воспринимается и рассматривается как стенка полости, образованной выбросом угля и газа.

К своеобразным можно отнести предлагаемую в монографии трактовку формы полостей, образывающихся выбросами угля и газа, как «нередко причудливую». Первое объёмное и подробное описание выбросов угля и газа, происшедших на шахтах Донбасса в послевоенный период 1946 – 1952 гг., а также описание образованных выбросом полостей содержалось в монографии, подго-

товленной сотрудниками МакНИИ (проф. д.т.н. Бобров И.В. и др.), изданной в 1954 г. В ней находилось около 270 эскизов мест, в которых происходили выбросы угля и газа. Преимущественно это были шахты, разрабатывающие крутые пласты, а полости, образованные выбросами, находились над выработками и форма их оценивалась, как правило, визуалью. Детально она не анализировалась. В дальнейшем предпринимались попытки классифицировать формы полостей, осуществлялись поиски характерных для выбросов форм полостей. Наряду с названными исследованиями возникло и продолжительное время существовало мнение о том, что выброс (разрушение угольного пласта) прекращается тогда, когда полости приобретают наиболее устойчивую форму.

Обычно при проведении подготовительных выработок, особенно если шахту или новый горизонт готовит шахтостроительная организация, если происходили выбросы, полости, заполненные разрушенным углём и находящиеся за пределами проектных контуров выработок, не вычищались. К началу семидесятых годов из-за того, что мелкоразрушенный при выбросах уголь проявляет большую склонность к самовозгоранию, произошло несколько эндогенных пожаров. Представители горнотехнической инспекции потребовали убирать разрушенный уголь из полостей, если они находятся за пределами проектного сечения подготовительной выработки и если выбросоопасный пласт является одновременно склонным к самовозгоранию. После уборки угля полости должны заполняться инертным материалом.

Выполнение названного требования привело к неожиданному и положительному «побочному» эффекту: установлению причудливости форм полостей. Показанные на рис. 1.2. частные случаи объясняют и оправдывают как несколько, может быть, неожиданный термин (нам он пока кажется наиболее удачным), так и общее заключение, которое может быть сделано на этом основании [5].

Сводится заключение к выводу о том, что формы выбросоопасных зон заложены в угольных пластах природой. Можно лишь констатировать прозрачность проф. д.т.н. Быкова Л.Н., который ещё в тридцатые годы утверждал, что «выбросоопасные пласты содержат своеобразные «гнезда», «мешки» – очаги выбросоопасности. Более детально эти вопросы будут рассматриваться в разделе 2. пока лишь ограничимся утверждением того, что основная особенность выбросоопасных пластов состоит в локальности выбросоопасности, т. е. её ограниченности по размерам. Под локальностью следует понимать то, что выбросо-

опасный пласт не является таковым непрерывно от одной границы шахтного поля до противоположной. Доля реальной выбросоопасности по площади не превышает 1%, а выбросоопасный шахтопласт может быть представлен как поле, «мины» на котором создала природа, а карту их расположения обязала составить человека.

1.3. Горные удары. К категории газодинамических явлений в монографии не отнесены горные удары по двум принципиальным причинам.

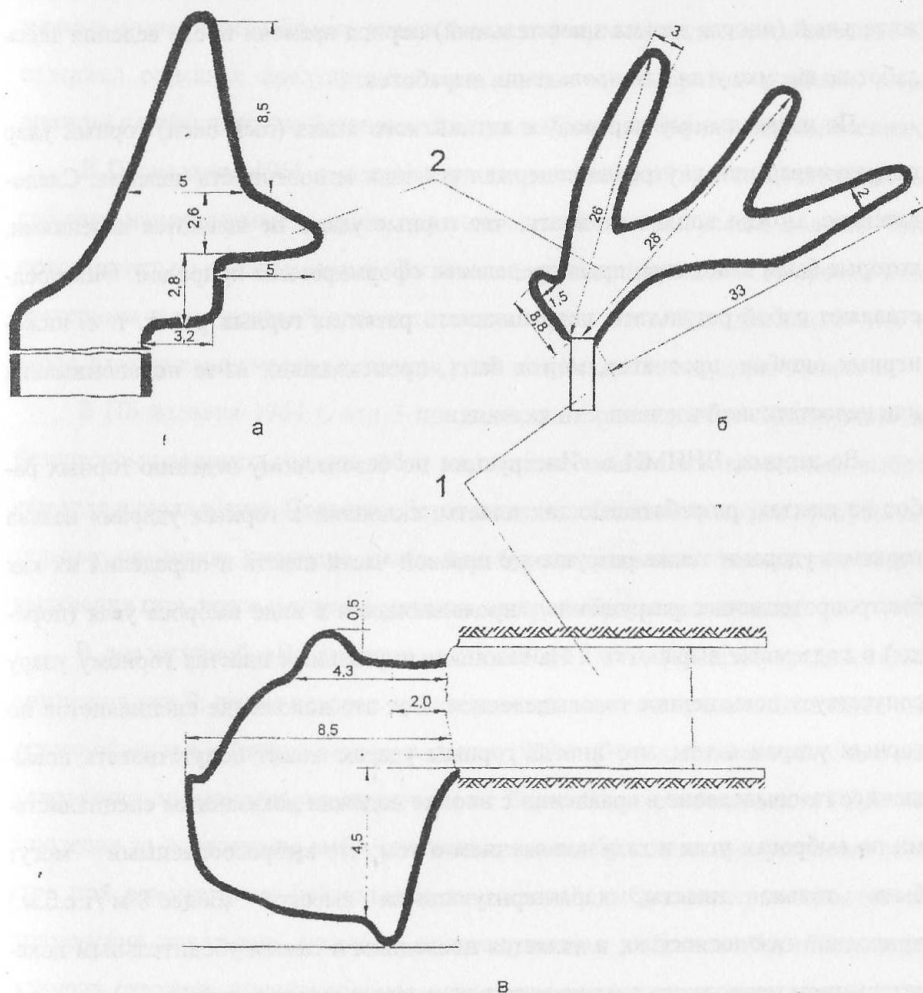


Рис. 1.2. Схемы полостей, образованных выбросами угля и газа на шахтах: а - им. Поченкова ПО Макеевуголь 02.09.71г., пласт K_8 ; б - 21-бис ПО Макеевуголь 10.12.72г., пласт I'_8 ; в - «Изваринская» ПО Гуковуголь 16.12.77г., пласт i_2 ; 1- откаточные штреки, 2 - полости, образованные выбросами.

Во-первых, в чистом виде классические горные удары происходят в над-подштрековых и других целиках самого различного назначения, как правило, оставленных в выработанных пространствах, площадь которых со временем увеличивалась. Горные удары характеризуются тем, что происходят они не в действующем (движущемся) забое, а на каком-то, иногда значительном, расстоянии от него и непосредственно могут быть не связаны со временем выемки угля. Более того, они происходят на каких-то площадях через довольно продолжительный (иногда весьма значительный) период времени после ведения здесь работ по выемке угля или проведения выработок.

По изначальному переводу с английского языка (rock burst) горный удар подразумевал или внутренне содержал всё-таки мгновенность явления. Следовательно, можно вполне полагать, что горные удары не являются явлениями, которые были заложены, предопределены, сформированы природой. Они представляют собой результаты неправильного развития горных работ, т. е. инженерных ошибок, просчётов, может быть, происходящих из-за недопонимания или недостаточной изученности явления.

Во-вторых, ВНИМИ в «Инструкции по безопасному ведению горных работ на шахтах, разрабатывающих пласты, склонные к горным ударам» назвал горными ударами также разрушение краевой части пласта и определил их как быстротекущее разрушение, «проявляющееся в виде выброса угля (породы) в подземные выработки... На газоносных угольных пластах горному удару сопутствует повышенное газовыделение». Вот это положение специалистов по горным ударам о том, что иногда горным ударам может сопутствовать повышенное газовыделение в сравнении с вполне надёжно доказанным специалистами по выбросам угля и газа положением о том, что выбросоопасными могут быть только пласты, характеризующиеся высокой (более $8 \text{ м}^3/\text{т.с.б.м.}$) природной газоносностью, и является последним и самым убедительным доказательством природного различия двух рассматриваемых явлений.

Тот экспериментально и практически доказанный факт, что выброс угля и газа не является мгновенным разрушением и что выбросоопасность локальна, придаёт особое значение рассмотрению вопроса о предупредительных признаках выбросов. Под ними давно понималась такая реакция выбросоопасного пласта на его выемку (разрушение), которая свидетельствовала, «предупреждала» о том, что выемка может (будет) сопровождаться выбросом угля и газа. Знание

предупредительных признаков выбросов из-за немгновенности разрушения позволяло работающим в забое своевременно покинуть его (убежать) и таким образом обеспечить свою безопасность.

1.4. Повсеместное выполнение специальных мероприятий при разработке выбросоопасных пластов началось с 1949 г., с момента первой официальной регламентации их «Правилами безопасности в угольных и сланцевых шахтах» (ПБ) издания 1949 г. Пятый раздел ПБ был назван «Работа на пластах, подверженных внезапным выбросам угля и газа и суфлярным выделениям метана». Он содержал описание предупредительных признаков выбросов и общих мероприятий по обеспечению безопасности при выбросах и суфлярных выделениях.

В ПБ издания 1958 г. содержится положение (§ 107) о том, что опытные рабочие, направляемые в забой пластов, опасных по выбросам, должны быть предварительно ознакомлены с признаками, предшествующими выбросам и характерным и для условий данного пласта. К ним отнесены: движение угля из забоя, отскакивание мелких кусочков угля, потрескивание и удары в массиве.

В ПБ издания 1964 г. эти 3 признака повторяются. А в «Инструкции по безопасному ведению горных работ на пластах, склонных к внезапным выбросам угля и газа» к этим Правилам безопасности добавляются новые предупредительные признаки, имеющие место при бурении скважин: резкое увеличение выделения газа, треск и удары в массиве, микровыбросы газа и пыли.

В аналогичной «Инструкции...» издания 1977 г. [2] предупредительных признаков уже 9, два из которых (усиленное давление на крепь и появление пылевого облака) в «Инструкцию...» издания 1989 г. [3] как недостаточно, или неоднозначно информативные включены не были. Опыт расследования ГДЯ: наблюдения за поведением выбросоопасных и невыбросоопасных угольных пластов при выемке угля; наблюдения за реакцией выбросоопасных пластов на применение локальных способов предотвращения выбросов (бурение опережающих скважин, высоконапорное нагнетание воды в режиме рыхления (гидрорыхление), гидроотжим и др.) позволяют утверждать, что некоторые из оставшихся семи предупредительных признаков также не могут быть отнесены к достаточно- и однозначно информативным.

В частности «удары и трески различной силы и частоты в массиве» могут происходить и происходят при проведении выработок в невыбросоопасных угольных пластах.

«Уменьшение прочности угля» далеко не всегда является предупредительным признаком выбросов, а при разработке крутых и крутонаклонных пластов делает их склонными к внезапным обрушениям (высыпаниям) угля.

«Резкое увеличение газовыделения в выработку» обычно происходит при интенсификации процесса выемки угля и непосредственно с возможным проявлением выбросоопасности может быть не связано. Не исключено, что по мере приближения подготовительной выработки к выбросоопасной зоне газовыделение при выемке угля будет возрастать. Но это самостоятельное целое направление исследования, которое в монографии не рассматривается. Некоторые его детали будут излагаться в разделе 2.

«Зажатие бурового инструмента» также, по нашему мнению, не может относиться однозначно информативному предупредительному признаку выбросов. При ручном бурении скважин (шпуров), особенно в пластах, представленных малопрочными углями, зажатие (заклинивание) бурового инструмента может оказаться следствием сугубо технологической операции – увеличения усилия подачи. Оно приведёт к тому, что с повышенным объёмом разрушения угольного пласта не «справится» бурильщик и штанга из витой стали, а потому возникнет эффект заклинивания бурового инструмента. Аналогичный результат вполне вероятен и при бурении скважин станками, в том числе и при бурении скважин в невыбросоопасных пластах или в невыбросоопасных зонах.

Всё изложенное, с учётом личного опыта авторов монографии, позволяет отнести к наиболее информативным и однозначно информативным 3 следующих предупредительных признака, сущность которых сформулируем следующим образом:

- выдавливание угля призабойной части пласта, создающее впечатление у работающих, что забой как бы движется на них;
- отскакивание мелких кусочков угля от забоя, создающее впечатление у работающих, что забой как бы шелушится, переливается, подобно рыбе в неводе, извлекаемом из воды;
- повышенный выход штыба и газа при бурении скважин (шпуров), приводящий к эффекту как бы напорного выделения из них газозольной смеси – выдувание штыба.

В качестве примеров, подтверждающих высокую надёжность каждого из названных предупредительных признаков, учитывая ограниченность объёма монографии кратко опишем по одному случаю выбросов.

На шахте им. Ленина ПО Карагандауголь (Казахстан) при выемке угля в уклоне пласта d_6 мощностью ≈ 8 м, когда в забое работало 5 проходчиков произошёл (04.01.77 г.) выброс угля и газа интенсивностью примерно 500 т.. Расстояние от забоя уклона до свежей струи составлял 126 м., угол падения пласта примерно 20° . При выемке угля отбойным молотком бригадир проходчиков в верхней части забоя увидел как бы нависающую глыбу угля и предложил звеньевому обогнуть забой. Во время оборки на место нависавшей глыбы угля выдвинулась новая масса угля, и бригадир закричал: «Бежим!». Воздушный толчок в спину бежавший последним проходчик ощутил, когда уже выбежал в выработку (сбойку) со свежей струёй воздуха, т. е. он успел пробежать по уклону вверх по восстанию почти 130 м.

К самым поразительным по проявлению, восприятию и общим результатам относим случай, который характеризует этот же первый предупредительный признак и который произошёл на одной из шахт Центрального района Донбасса («Юный Коммунар») при проведении отбойным молотком падающего гезенка с гор. 476 м. Во время выемки угля отбойный молоток «забарахлил» и забойщик решил проверить его исправность. Как только он прекратил выемку почувствовал (угол падения пласта 68°), что забой как бы поднимает его вверх. Только потому, что от забоя падающего гезенка до вентиляционного штрека было около 10 м., забойщику удалось выскочить на штрек и там ощутить, что произошёл выброс угля и газа.

На шахте «Мушкетовской – Вертикальной» ШУ им. Газеты «Социалистический Донбасс» ПО Донецкуголь выброс произошёл при выемке угля в уклоне пласта h_7 Смоляниновский в условиях, когда она (выемка) проходческим комбайном ПК-3М была запрещена, а проходческий комбайн было предложено комиссией, расследовавшей предыдущий выброс, использовать только как погрузочную машину. Во время выемки, как было установлено потом комиссией, именно комбайном, проходчики увидели отскакивание мелких кусочков угля от забоя, восприняли их как проявление предупредительного признака и покинули забой. Им удалось своевременно достичь откаточного штрека, по которому к забою подавалась свежая струя воздуха, а потому остаться нетравмированными,

ибо проходческий комбайн, находившийся вблизи забоя, сыграл роль перемычки, уменьшившей интенсивность выброса.

Примером надёжности третьего предупредительного признака может быть выброс угля и газа, происшедший на шахте им. Калинина ПО Донецкуголь в нижней нише четвёртой восточной лаве пласта h_7 Смоляниновский. В ремонтную смену одновременно с обычными её работами был дан наряд на бурение в нижней нише скважины длиной 8 м. для гидрорыхления. При бурении шпура на глубине 3 м. бурильщик обнаружил предупредительный признак выброса – выдувание штыба. Он сообщил об этом горному мастеру и отказался от дальнейшего продолжения работ. Горный мастер (по должности помощник начальника участка) привлёк к выполнению работы другого бурильщика, а в доказательство отсутствия опасности выброса угля и газа в связи с тем, что забой будто отстоялся и успокоился, предложил своё присутствие при выполнении операции бурения. При глубине бурения шпура 3,0 – 3,5 м. происходит выброс угля и газа, во время которого погибают бурильщик и помощник начальника участка.

Таким образом, совершенно определённо утверждаем, что описанные 3 предупредительных признака выбросов должны всеми работниками шахт восприниматься только однозначно: их проявления являются безусловным требованием немедленно покинуть опасный забой.

1.5. Критерий отнесения ГДЯ к выбросам или обрушениям. Известно, что шахтами Центрального района Донбасса (ЦРД) разрабатываются выбросоопасные крутые пласты, которые одновременно являются склонными к обрушениям (высыпаниям). Применение одного из нормативных способов предотвращения выбросов (например, гидрорыхления, гидровывывания) может в таких условиях повысить склонность к обрушению. С точки зрения безопасности труда недопустимо применение любого способа, который бы, устраняя выбросоопасность, увеличивал вероятность обрушений. Но чтоб не допускать такие случаи, необходим критерий квалификации газодинамических явлений, B_r , т. е. отнесения их к выбросам или обрушениям. «Инструкции...» [2, 3] в течение очень продолжительного времени (более 20 лет) его не содержали, поэтому практически единственным отличительным признаком выброса в подготовительных выработках оказался «отброс угля от забоя на расстояние, превышающее протяжённость возможного размещения его под углом естественного откоса». Недостаточная объективность признака неоднократно доказывалась ранее [6] и заклю-

чалась она в том, что угол естественного откоса экспериментально всегда измерялся для практически негазоносных углей.

Научная предпосылка поиска критерия V_r кратко состоит в следующем. Процесс разрушения как при выбросе, так и при обрушении немгновенен, но интенсивность его протекания, дальность отброса, наличие тонкодисперсной пыли (бешеной муки), причудливость форм полостей, образующихся при выбросе, принципиально отличают его от обрушений и обуславливают более полное заполнение сечения выработки разрушенным углем.

Для доказательства реальности последнего положения рассмотрели выбросы, происшедшие при буровзрывном способе разрушения во время проведения штреков на пологих пластах (рис. 1.3.), когда обрушения угля исключены. Установили, что при каком-то общем отбросе разрушенного угля на различных по протяжённости участках штреков имеет место заполнение выработки на «полное сечение» (термин заимствовали в материалах расследований), после

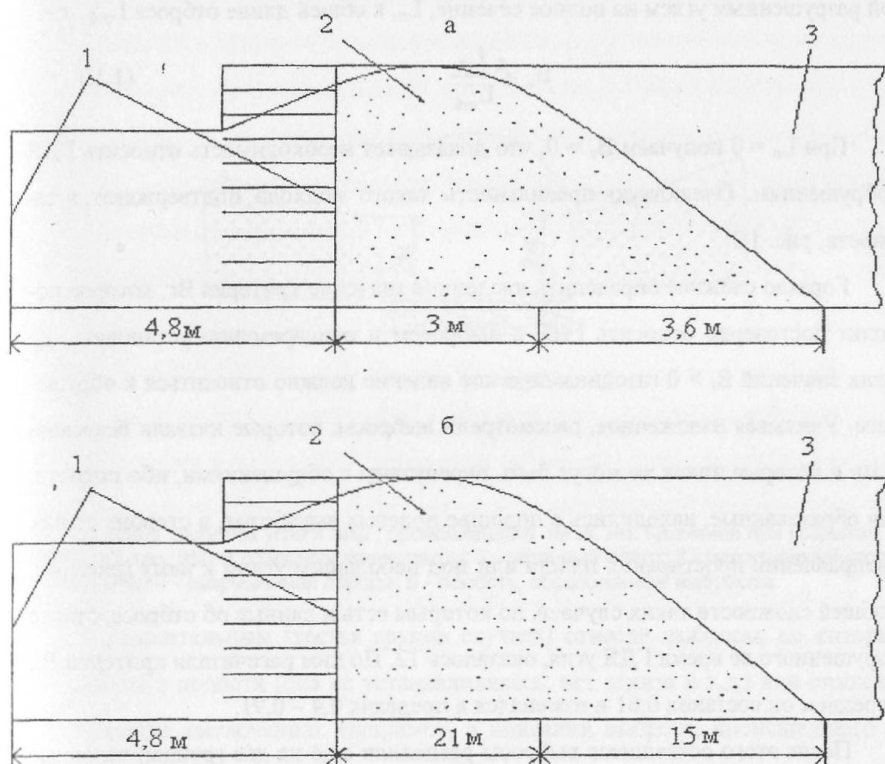


Рис. 1.3. Эскизы выбросов угля и газа, произошедших на шахте им.Скочинского (пласт h^1_6) при сотрясательном взрывании: а – 02.10.75 г. в 1-м западном конвейерном штреке гор 1077 м., интенсивность 31 т.; б – 15.10.75 г. в 1-м западном конвейерном штреке, интенсивность 257 т.; 1 – положение забоя до и после взрывных работ; 2 – разрушенный уголь; 3 – штрек

которого очевиден откос разрушенного угля. Полное сечение взято в кавычки потому, что оно не должно пониматься буквально. Это волнистая поверхность разрушенной массы угля, покрытая бешеной мукой, расстояние от которой до кровли выработки не менее 0,2 – 0,3 м. и в различных условиях может изменяться в широком диапазоне, но, как правило, менее 1м. После этого приступили к рассмотрению ГДЯ, происшедших при вскрытии крутых пластов, по картотеке МакНИИ. В 1953 – 1994 гг. при вскрытиях крутых пластов было зарегистрировано 129 выбросов и 5 обрушений. В подавляющем большинстве случаев в материалах расследования аварий есть данные об отбросе, откосе и заполнении выработки на полное сечение. Решая задачу поиска критерия, исходили из того, что большая динамичность разрушения при выбросе, чем при обрушении должна приводить и к большей доле заполнения разрушенным углем выработки на полное сечение. Тогда в качестве критерия отнесения ГДЯ к выбросу или высыпанию может быть принято отношение длины выработки, заполненной разрушенным углем на полное сечение, L_n , к общей длине отброса $L_{отб}$, т.е.

$$B_r = \frac{L_n}{L_{отб}} \quad (1.1.)$$

При $L_n = 0$ получаем $B_r = 0$, что доказывает необходимость относить ГДЯ к обрушениям. Очевидную правильность такого подхода подтверждает, в частности, рис. 1.3.

Гораздо сложнее определить численное значение критерия B_r , которое позволит достоверно относить ГДЯ к выбросам и одновременно установить, до каких значений $B_r > 0$ газодинамическое явление должно относиться к обрушениям. Учитывая изложенное, рассмотрели выбросы, которые назвали безусловными и которые никак не могут быть перепутаны с обрушениями, ибо полости, ими образованные, находились в подошве полевых выработок, в стороне от них в направлении простирания пласта или под небольшим углом к нему (рис.1.4.). В общей сложности таких случаев, по которым есть и данные об отбросе, откосе разрушенного во время ГДЯ угля, оказалось 12. По ним рассчитали критерий B_r . В среднем он составил 0,61 и изменялся в пределах 0,4 – 0,91.

После этого оставшиеся выбросы разделили ещё на две группы: условные и сомнительные. К условным отнесли выбросы, полости которых ориентированы в направлении восстания пласта и которые характеризовались динамичностью процесса разрушения: значительной величиной отброса разрушенного уг-

ля, нарушением крепи выработки, повреждением и отбросом оборудования, наличием бешеной муки и т. п. Их тоже оказалось 12. Средний критерий B_r составил 0,68 и изменялся в интервале 0,33 – 0,86. Совпадение результатов по двум группам случаев вполне удовлетворительное и позволяет для отнесения ГДЯ к выбросу предварительно, с некоторым запасом принять $B_r \geq 0,3$.

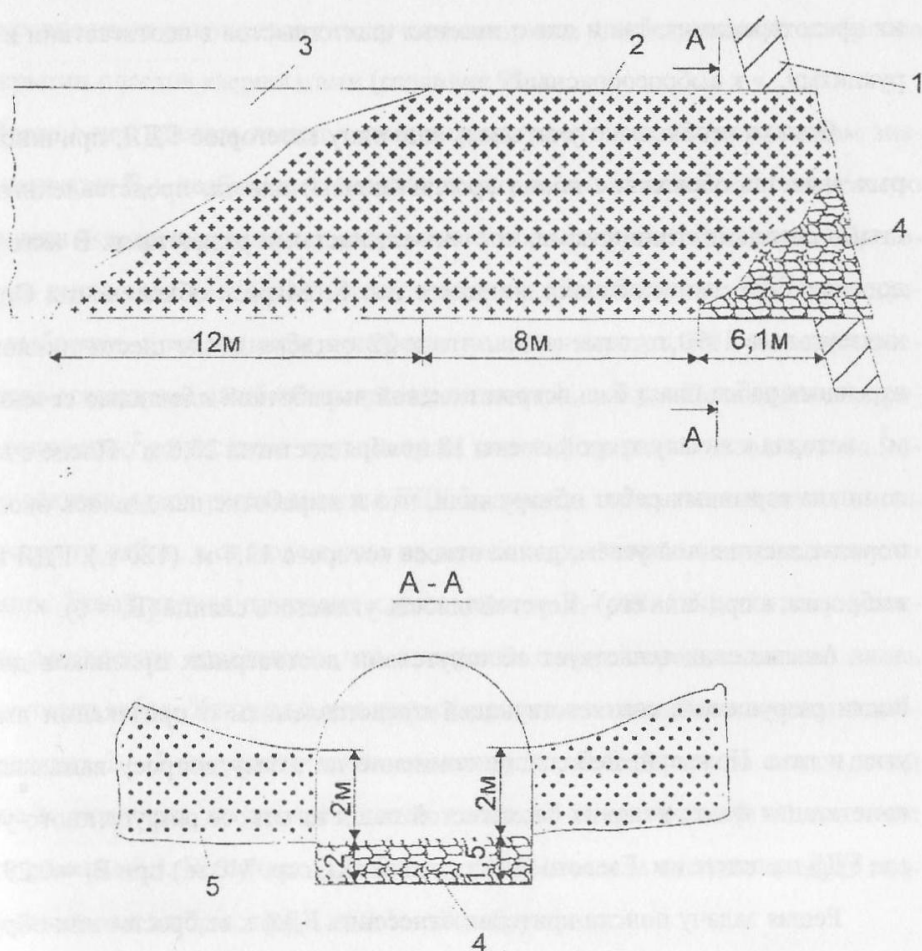


Рис.1.4. Эскиз выброса угля и газа, происшедшего на ш. им. Калинина при вскрытии пласта m_3 , гор. 850 м северным квершлагом: 1 - угольный пласт; 2 - разрушенный уголь; 3 - квершлаг; 4 - разрушенная порода; 5 - полость, образованная выбросом.

К сомнительным (третья группа случаев) отнесли выбросы, по которым нет данных о полости (она не устанавливалась, нет эскиза и т.д.) или описание противоречит заключению. Например, в описании выброса, происшедшего на шахте им. Дзержинского объединения Дзержинскуголь в 1982 г., констатируется, что выработка засыпана под углом естественного откоса, а в заключении: «Выброс угля и газа». В этой группе содержится 62 ГДЯ, которые официально

комиссиями отнесены к выбросам, но теперь оказалось, что для них $B_r < 0,3$. Не следует оценивать это рассмотрение как какую-то ревизию или переоценку. Просто определённый этап развития науки, обогащённый новыми данными практики, позволяет и требует критериального уточнения методов квалификации газодинамических явлений как для научно-обоснованного выбора способов их предотвращения, так и для отнесения шахтопластов в соответствии и «Инструкциями...» к выбросоопасным.

Однако необходимо учитывать ещё одну категорию ГДЯ, причиной которых является обрушение пород кровли (почвы) пласта, представленных углистыми сланцами, глинистыми, песчано-глинистыми разностями. В акте расследования ГДЯ, происшедшего на шахте им. К. Маркса объединения Орджоникидзеуголь в 1990 г., отмечается, что к 22 октября после шести циклов буровзрывных работ пласт был вскрыт полевой выработкой площадью сечения $12,8 \text{ м}^2$, которая к началу второй смены 18 ноября достигла $26,6 \text{ м}^2$. После очередного цикла взрывных работ обнаружили, что в выработке находилось около 75 т породы, засыпанной углём, длина откоса которого $13,4 \text{ м}$. (120 т.). ГДЯ названо выбросом, а причина его – неустойчивость углистого сланца ($B_r = 0$).

Анализ свидетельствует об отсутствии достоверных признаков динамичности разрушений, соответствующей представлениям о протекании выбросов угля и газа. Пожалуй, небольшое сомнение по этому вопросу вызывает лишь констатация факта наличия бархатистой пыли на откосе разрушенного угля после ГДЯ на шахте им. Гаевского (1965 г., пласт k_8 , гор. 740 м.) при $B_r = 0,29$.

Решая задачу поиска критерия отнесения ГДЯ к выбросам или обрушениям, необходимо было учитывать и ещё одну особенность установления критерия. Увеличение B_r – это уменьшение количества ГДЯ, которые будут относиться к выбросам, что приведёт к росту вероятности возникновения обрушений, но не к повышению безопасности разработки шахтопластов, опасных по выбросам и обрушениям. Учитывая это, вновь обратились к рассмотрению выбросов угля и газа, произошедших при проведении штреков на пологих пластах во время сотрясательного взрывания, но теперь в целях определения численных значений критерия B_r .

Объектом исследования выбрали шахту им. Скочинского объединения Донецкуголь (пласт h_6^1 Смоляниновский), при строительстве и эксплуатации которой произошло наибольшее по сравнению с другими шахтами количество

выбросов. Произвольно, руководствуясь лишь стремлением, чтобы выбросы были различной интенсивности (силы), отобрали 19 актов расследования газодинамических явлений двух периодов: 1975 – 1976 гг. – строительство шахты (тогда «Петровская-Глубокая») и 1989 г. Выяснили, что V_r изменяется в пределах 0,26 – 0,85 при среднем значении 0,55. Можно констатировать практически полное совпадение результатов с полученными ранее для безусловных выбросов при вскрытии пластов квершлагами (различие 9%).

Прежде чем сделать вывод о достоверном критическом (предельном значении критерия V_r), необходимо оценить точность его определения, зависящую от точности измерения величин отброса и откоса разрушенного угля, образовавшихся вследствие газодинамического явления. Она была выполнена по данным о выбросах, происшедших в штреках пологих пластов, на основании рассмотрения возможной ошибки измерения величин L_n и $L_{отб.}$. Последняя измеряется с точностью до десятков сантиметров, поэтому на расчёт повлиять не может. На эскизах актов расследования ГДЯ L_n иногда показывается не от вновь образованного забоя, а от положения на момент производства сотрясательного взрыва. Такой подход приводит к уменьшению V_r (рис. 1.3.), поэтому должно быть однозначно определено, что измерения следует производить от вновь образованного забоя. Учитывая, что при измерении откоса не исключены ошибки в пределах 1 – 2 м., рассчитывать величину V_r необходимо до сотых долей единицы и округлять до десятых долей единицы, а критическое её значение принять равным 0,3. В случаях $V_r \geq 0,3$ газодинамическое явление следует квалифицировать как выброс, при $V_r < 0,3$ – как обрушение.

Известно, что одним из наиболее достоверных предупредительных признаков внезапных выбросов являются повышенное газовыделение, вынос штыба и газа при бурении шпуров. В шести актах расследования ГДЯ были отмечены эти признаки при перебурировании угольных пластов; все они имели место при V_r от 0 до 0,81 и в среднем 0,64. Такие результаты вполне могут рассматриваться как ещё одно доказательство обоснованности и информативности критерия отнесения ГДЯ к выбросам или обрушениям.

Ранее уже говорилось, что в картотеке МакНИИ находится пять актов расследования ГДЯ, которые квалифицированы как обрушения. После расчётов V_r для названных газодинамических явлений пришли к выводу, что лишь один из пяти случаев является обрушением. Такой вывод сделан не только на основании

расчёта B_r , но и, в частности, на основании причудливости формы полости (рис. 1.5.). места расположения и ориентировки полости (рис. 1.5.).

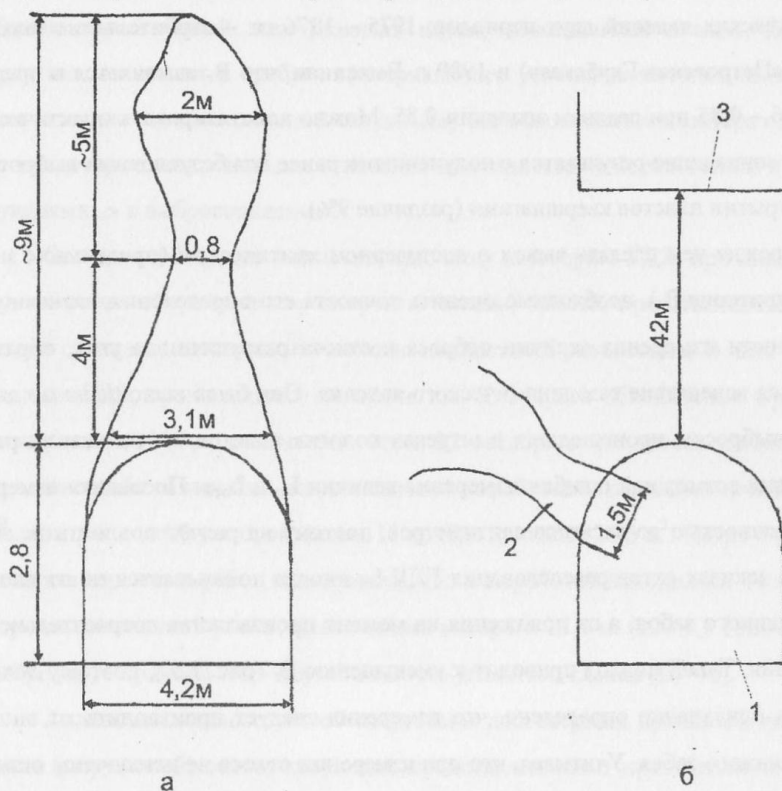


Рис. 1.5. Эскиз газодинамических явлений, происшедших на шахте "Юнком" 06.09.64 г. при вскрытии пласта k_3 гор. 716 м (а) и на шахте им. Ленина 14.11.91 г. при вскрытии пласта l_3 гор. 1080 м (б): 1 - вскрывающая выработка, 2 - полость, образованная выбросом, 3 - щитовая лава.

В целом, если вернуться к общим статистическим данным МакНИИ по газодинамическим явлениям с позиции оценки их по критерию B_r , получается, что для 22 случаев рассчитать его не удалось (о причине уже говорилось); в 26 случаях $B_r < 0,3$, следовательно, ГДЯ должны быть отнесены к обрушениям, а в 86 случаях $B_r \geq 0,3$ – это выбросы. К ним же должны быть отнесены ГДЯ, для которых рассчитать критерий B_r не удалось, т.е. всего 108 выбросов, а не 129.

Как правило, выбросы при вскрытиях происходят в квершлагах и промежуточных квершлагах, когда разрушенный уголь размещается в одной (квершлаг), двух (промквершлаг и полевой штрек) выработках. В отдельных случаях (например, шахта «Северная» объединения Дзержинскуголь, 30.04.77. г.) разру-

шенным углём засыпаются три – шесть выработок. Рассчитывать V_r в таких ситуациях, т.е. когда выработок более двух, не следует, так как выброс очевиден.

И кратко о значимости критерия V_r с позиций правильности отнесения шахтопласта к выбросоопасным. За 1965 – 1989 гг. при вскрытиях зарегистрированы выбросы (первые) после которых 18 шахтопластов переведены в категорию выбросоопасных. В дальнейшем только при разработки пяти из них происходили выбросы, следовательно, 13 (у 6 из них $V_r < 0,3$) разрабатывались как выбросоопасные, но выбросы не происходили. Ошибки в квалификации ГДЯ, произошедших на шахтах им. Гагарина (1962 г.) и «Юнком» (1964 г.) и названных обрушениями (в обоих случаях $V_r > 0,3$), привели к тому, что их своевременно к выбросоопасным не отнесли. Реальность их выбросоопасности подтвердили выбросы на шахте им. Гагарина 27.03.72 г. при выемке угля в нижней печи лавы; 18.07.83 г. при выемке в монтажной нише и 26.09.86 г. при выемке в щитовой лаве. На шахте «Юнком» выбросы произошли 20.09.86 г. в магазинном уступе, 02.09.66 г. и 21.04.74 г. – в нижней печи при бурении скважин, 14.11.91 г. – в западном вспомогательном квершлага и в 1992 – 1993 гг. в тесенке – 12 выбросов при буровзрывном способе разрушения.

Не вызывает сомнений то, что успешный поиск критерия отнесения газодинамических явлений в подготовительных выработках, проводимых в угольных пластах всех углов падения, к выбросам или обрушениям, происходящим при вскрытиях, будет способствовать не только повышению уровня безопасности труда, но и одновременно снижению затратности операций технологии угледобычи.

1.6. Учёные, внесшие наибольший вклад в решение проблемы выбросов. Принципиально наука не может быть безродной, а потому нельзя не сказать об учёных, внесших наибольший вклад в решение проблемы выбросов угля и газа.

За почти полувековой период времени изучения в СССР (в том числе особенно плодотворно в Украине) природы формирования выбросоопасности; механизма возникновения и протекания выбросов угля (породы) и газа; разработки способов прогноза выбросоопасности и предотвращения выбросов исследования выполнялись многочисленными коллективами различных организаций, научное руководство которыми осуществляли многие, в своё время хорошо известные отечественные (советские) учёные. К числу внесших наибольший вклад в решение проблемы выбросов – достижению её современного научно-

технического уровня по праву могут быть отнесены многие специалисты-учёные, производственники, но ограниченность объёма монографии позволяет назвать лишь некоторых из них.

Проф., д.т.н. Быков Леонид Николаевич, много лет плодотворно работавший в МакНИИ, был первым отечественным автором т.н. газовой теории выбросов, теории газовых «мешков» или «гнезд». Он считал, что в угольных пластах природа создала своеобразные полости, заполненные газом под давлением. По мере того, как горная выработка приближается к такой полости, целик между нею и забоем выработки уменьшается. При достижении минимально допустимых размеров он под действием газа, находящегося в полости под давлением, разрушается и происходит внезапный выброс. Такое представление хорошо объясняло локальность выбросоопасности, но обнаружить полости, заполненные газом, не удавалось.

Академик Скочинский Александр Александрович, много лет проработавший директором института горного дела, ИГД (г. Панки, Московской обл.), проф., д.т.н. был крупнейшим организатором решения проблемы выброса угля и газа, первым председателем Центральной комиссии по борьбе с выбросами. Ему принадлежит известный тезис о том, что три фактора в совокупности определяют формирование потенциальной выбросоопасности: газ, горное давление и физико-механические свойства угля. Заслуги в деле повышения уровня безопасной разработки угольных месторождений правительством Союза отмечены тем, что вскоре после его смерти была учреждена Минуглепромом СССР и ВСНТО горное премия имени акад. А.А. Скочинского за исследования в области безопасности труда. Его именем назван институт горного дела и одна из крупнейших, сложнейших шахт Донбасса (г. Донецк).

Академик Христианович Сергей Алексеевич, проф., д.т.н. автор первого математического описания механизма возникновения и протекания выброса угля и газа. Не являясь по базовому образованию горным инженером, он в начале пятидесятых годов посетил шахту «Коммунист-Новая» и примерно через два года опубликовал описание механизма выбросов, которое специалистами-горняками не было принято, основные положения которого признаны ими в неявном виде только примерно через двадцать лет.

Проф., д.т.н. Бобров Иван Владимирович был крупнейшим организатором исследований, направленных на решение проблемы внезапных выбросов угля и

газа, выбросов породы и газа, много лет проработавший директором государственного научно-исследовательского института по безопасности работ в горной промышленности, МакНИИ (г. Макеевка, Донецкая обл.). Ему принадлежит постановка и научное руководство уникальных шахтных экспериментов, позволивших доказать немгновенность разрушения при выбросах, установить скорость перемещения по подготовительной выработке газоугольной смеси при выбросах, влияние отработки защитных пластов на снижение давления газов, измеренного в выбросоопасных пластах, и многое другое.

Не можем не назвать фамилии ещё нескольких учёных и специалистов-производственников, вклад которых в решение проблемы выбросов хоть и существенно менее значителен, но во времена их активной творческой деятельности, конечно, бесспорен: проф., к.т.н. Карпов А.М., горный инженер Манукян П.А., доц., к.т.н. Яровой В.Н., к.т.н. Зайцев Н.А., проф., д.т.н. Некрасовский Я.Э., к.т.н. Кричевский Р.М., горный инженер Островский С.М., проф., д.т.н. Артёмов А.С., проф., д.т.н. Печук И.М., проф., д.т.н. Лидин Г.Д., д.т.н. Степанович Г.Я., горный инженер Васильчук М.П., к.т.н. Малюга М.Ф., д.т.н. Калфакчиан А.П., к.т.н. Лунев С.Г., к.т.н. Ткачук С.П. и др.

Наличие выдающихся учёных, выдающихся организаторов, безусловно, является неременным условием успешного решения крупных, сложных научно-технических проблем.

1.7. Некоторые сведения о физико-химических свойствах выбросоопасных углей.

Ископаемые угли как осадочные горные породы залегают в виде пластов, которые обозначаются маленькими буквами латинского алфавита.

Совокупность или группа пластов, которые объединены общими особенностями происхождения, выдерживающимися по простиранию на значительной площади, называется свитой. Основная часть добычи в Донбассе приходится на шахты, разрабатывающие пласты пяти свит: от C_2^3 до C_2^7 , каждая из которых имеет название. Пласты этих свит: *h*, *i*, *k*, *l*, *m*. Пласты Смоляниновской свиты обозначаются индексами: *h*, Каменской – *k*, Алмазной – *l*, Горловской – *m*. Например, пласт m_3 разрабатывается шахтами Донецко-Макеевского геолого-промышленного района («Чайкино», им. Поченкова и др.) и Центрального района Донбасса (им. К. Маркса, Гаевого, Дзержинского и др.). Часть пласта, разрабатываемую в пределах одного шахтного поля, в различных геолого-

промышленных районах Донбасса, называют шахтопластом. Практически у каждого шахтопласта, особенно старых шахт, есть своё название, имя.

Цифры у индексов, например, m_2 и m_3 обозначают, что пласт m_3 залегает над пластом m_2 . Такие обозначения у индексов как l_8^4 и l_8^6 свидетельствует о “раздвоении” пласта, т.е. разделении его двух пачек в связи с увеличением мощности породного прослоя между ними. Если число прослоев больше одного, более сложным будет и обозначение.

Одна из значительных особенностей Донецкого бассейна заключается в том, что на его территории добываются угли всех марок: длиннопламенные (Д), газовые (Г), жирные (Ж), коксующиеся (К), отощённо-стекающие (ОС), тощие (Т), антрациты (А). Первые шесть марок (Д – Т) в целом являются углями каменными в отличие от антрацитов, а также бурых углей, которые на территории старого Донбасса не разрабатываются.

Наличие в одном и том же бассейне, в пластах одной свиты каменных углей разных марок и антрацитов может быть объяснено только тем, насколько существенно изменились физические и химические свойства исходно одинаковой органической массы, т.е. какова степень превращений исходных органических веществ, которые упрощённо можно представить как деревья, папоротники, всякие травы в т.ч. множество микроорганизмов. Для обозначения глубины и интенсивности химической превращённости названной сложной органической массы (далее для краткости органики) на пути от исходных материалов к последующему образованию разных углей специалисты-углехимики используют понятие о “химическом возрасте”, или “химической зрелости углей”.

Геологи Донбасса, бывшего треста Артёмгеология (ныне Донбассгеология), доказали, что история пластов этого бассейна, т.е. достижение определённой степени их химической зрелости вполне удовлетворительно объясняется с позиции регионального метаморфизма.

Под метаморфизмом (от греческого “метаморфизм” – превращение) понимается последовательное преобразование органики сначала в молодые угли, затем переход их в каменные угли и превращение последних в антрациты.

Под региональным понимается метаморфизм – превращения, происходящие не на каком-то ограниченном участке площади, а на значительных площадях в областях, регионах, геолого-промышленных районах.

Сущность регионального метаморфизма заключается в том, что пласты органической массы в различных районах Донецкого бассейна по мере накопления органики и обломочной породной массы погружались на разные глубины. Это обусловило протекание процессов преобразования породно-органической массы при различных температурах и напряжённости горных массивов. В этих процессах преобразований вполне можно выделить не менее двух категорий принципиально различных превращений.

Первая – исходный материал осадочного массива геологические периоды времени (миллионы, может быть десятки, сотни миллионов лет) находится в состоянии трёхосного сжатия, т.е. сдавливается залегающим над ним массивом – гравитационными силами. Эти процессы должны приводить к уплотнению материала подобного тому, которое имеет место при сдавливании влажного песка в формах. Чем больше глубина погружения исходного материала, тем большая масса осадков оказывается над ним, следовательно, тем большие силы его сдавливают. По своей природе эти силы определяются весом (массой) налегающих пород и потому получили название гравитационных (от латинского *gravis* – тяжёлый).

Вторая – исходный материал и в первую очередь его органические составляющие по мере погружения оказываются в условиях всё более и более увеличивающейся температуры. Становятся неизбежными, особенно если учесть наличие в исходном материале воды и кислорода, всевозможные химические реакции. При этом не следует забывать о том, что породы, залегающие над-под пластообразными залежами и содержащиеся в них, представляют собой окислы и двуокиси различных металлов: алюминия, железа, калия, кальция, магния, марганца и т.д. и т.п. В разных условиях какие-то из них могут ускорять протекание химических реакций (быть катализаторами), какие-то – не способствовать их возникновению. Чем больше глубина погружения пластов (этот этап углефикации назван доинверсионным), тем выше степень метаморфизма углей. Сам термин «доинверсионный» возник из-за того, что по мнению специалистов-геологов после достижения на глубине погружения определённой степени метаморфизма углей начался процесс поднятия их пластов (инверсия) до современных глубин. После этого начался этап, получивший название постинверсионного. По данным Донбассгеологии соотношение между глубиной погружения H_n и степенью метаморфизма (несколько упрощённо, маркой угля) следующее:

Марка угля	Д	Г	Ж	К	ОС	Т	А
Н _в , км	2,0	3,0	3,6	4,0	4,5	5,0	9,0

Естественно, весьма важным является вопрос о том, как надёжно определять степень метаморфизации углей. На основании исследований большой группы учёных-геологов (Ю.А. Жемчужников, И.И. Аммосов и др.) можно сделать вывод о том, что степень метаморфизма каменных углей достаточно надёжно характеризует выход летучих веществ V^{daf} , %, образующихся при нагреве углей без доступа воздуха при температуре $850 \pm 25^\circ\text{C}$.

Под летучими веществами понимают сложную смесь всех газо- и парообразных продуктов, образующихся и выделяющихся при нагреве угля без доступа воздуха. Одновременно образующийся в результате нагрева угля твёрдый нелетучий остаток представляет собой продукт термохимических превращений органических и минеральных составляющих угля. При получении спёкшегося (пластического) твёрдого нелетучего остатка его называют тигельным коксом, коксовым остатком, или корольком. Толщина пластического слоя угля, измеряемая в мм. и обозначаемая u , характеризует способность угля к коксованию.

При определении выхода летучих веществ навеска угля в 1 г. помещается в фарфоровую чашечку и выдерживается в предварительно разогретой электрической печи при температуре $850 \pm 25^\circ\text{C}$ в течение 7 мин. Все образующиеся паро- и газообразные продукты улавливаются, охлаждаются, взвешиваются и выход летучих веществ определяют в пересчёте на сухую и беззольную массу в процентах, V^{daf} , %.

Однако более углублённое изучение надёжности оценки степени метаморфизма углей по V^{daf} привело к выводу о том, что степень метаморфизма антрацитов значительно точнее чем V^{daf} характеризует логарифм их удельного электросопротивления $\lg\rho$.

Степень метаморфизма углей, характеризующихся $V^{daf} > 25\%$, одним показателем V^{daf} также определяется недостаточно надёжно. В соответствии с результатами исследований Донбассгеологии (М.Л. Левенштейн и др.) для углей с $V^{daf} > 25\%$ Донецким политехническим институтом совместно с МакНИИ предложено оценивать их степень метаморфизма комплексным показателем M , рассчитываемым по значениям выхода летучих веществ V^{daf} и толщины спекающегося слоя u .

Степень метаморфизма – важнейшая комплексная характеристика углей, которая определяет зависимость от неё практически всех основных свойств угля. Одним из наиболее крупных достижений горной науки является вскрытие закономерной связи формирования выбросоопасности со степенью метаморфизма углей. Нами далее будет показано, как показатели, характеризующие степень метаморфизма углей, позволяют ещё на стадии ведения геологоразведочных работ надёжно устанавливать, склонны ли уголь и песчаник к выбросам.

Для оценки сложности ведения горных работ по газовому фактору в угольных шахтах используются три показателя, характеризующие его количественно. Необходимо оценить, в какой степени каждый из показателей определяет формирование выбросоопасности.

О природной газоносности (метаноносности) X уже говорилось. Она имеет самое непосредственное отношение к созданию выбросоопасности и используется при отнесении шахтопластов к угрожаемым или невыбросоопасным.

Обращаем внимание на одновременное использование двух понятий: “газоносность (метаноносность)”. Объясняется это тем, что в составе газов пластов Донбасса находится их сложная смесь: метан – примерно от 90 до 99% от общего объёма; гомологи метана, или тяжёлые (высшие) углеводороды (этан, бутан, пропан и т.д.) – от нуля до 10 – 12%; углекислый газ – от нуля до 2 – 3% и др. Но из-за того, что преимущественно это, всё-таки, метан и что основная опасность взрывов относится к нему же, традиционно используется понятие метаноносность.

Абсолютная газообильность (метанообильность) характеризует количество газа (m^3), выделяющееся в единицу времени (мин., ч., сут.). Она может рассчитываться для участка, крыла и шахты.

Относительная газообильность (метанообильность) соответствует количеству газа (m^3), выделяющемуся на 1 т. добычи угля в сутки. Она тоже может рассчитываться для участка, крыла и шахты. Используется для определения категорий шахт по газу.

Абсолютная и относительная газообильность являются характеристиками, оценивающими как бы следствие ведения горных работ и добычи угля. К формированию и проявлениям выбросоопасности они прямого отношения не имеют, так как газовыделение происходит не только из разрабатываемого пласта, но и из угольных прослоев, горных пород.

Природная газоносность характеризует количество газа, содержащееся в 1 т. угля угольного пласта. Но если уголь добыт и выдан на поверхность, т. е. он стал товарным, то весь газ из него не выделился, а та газоносность, которая сохраняется в разрушенном угле, получила название остаточной газоносности $X_{ост. м^3/т.с.б.м.}$. Она всегда есть в кусках различной крупности и даже штыбе. У углей различной степени метаморфизма она неодинакова и может быть иногда значительной по количеству: порядка 5 – 8 м³/т.с.б.м.

При расчёте вентиляции она вычитается из природной газаносности угольного пласта, т. к. газовыделение из разрушенного угля значительно менее интенсивно, чем из угольного пласта при его разрушении. Но следует учитывать, что газовыделение продолжается при складировании угля в шахте и транспортировании его по шахтным выработкам, что, конечно, может представлять опасность. Опасность представляет также метановыделение, происходящее на дневной поверхности, при переработке угля, его хранении и транспортировании, особенно в замкнутых ёмкостях, т. к. метановыделение может продолжаться в течение многих месяцев и даже лет.

Методика определения природной газоносности в том числе при выполнении геологоразведочных работ не лишена недостатков. Понимание этого привело исследователей к необходимости создания большого числа методик, показателей, которые в большей или меньшей степени, но косвенно должны были характеризовать величину природной газоносности. Подавляющее большинство методик и показателей с позиции современного уровня познаний могут быть отнесены к “историческим”, поэтому не видим смысла их даже называть. Но один из показателей, около пятидесяти лет остававшийся нормативным, заслуживает детального рассмотрения. Это давление газов угольного пласта, P_g , атм. (МПа). Методика измерения его в шахтных условиях была разработана МакНИИ и заключалась схематично в следующем.

В подготовительной выработке 1 (полевой или проводимой по угольному пласту 2 смешанным забоем) бурилась измерительная скважина 3 в направлении простирания или восстания угольного пласта (рис. 1.6., а) или из полевой выработки 1 на угольный пласт 2 (рис. 1.6., б). В скважину вводилась латунная трубка 4 с ограничительной шайбой в её конечной части. Затем часть скважины герметизировалась песчано-цементно-глинистым составом таким образом, чтобы за ограничительной шайбой оставалась измерительная камера 5. Сама процеду-

ра герметизации подобна заряданию шпуров взрывчатым веществом (ВВ). После досылки в шпур патронов ВВ он заполняется забойкой – песчано-глинистыми пыжами в условиях, когда в шпуре находится детонирующий шнур. После герметизации на латунную трубку у устья скважины накручивается манометр 6 на рис 1.6., б.

Схема бурения измерительных скважин через породы на угольный пласт может быть реализована и в подготовительной выработке, проводимой смешанным забоем (рис. 1.6., а). В таких случаях скважину забуривают в породах почвы или кровли пласта и бурят её под таким углом к горизонту, чтобы на угольный пласт она вышла на расстоянии 4 – 5 м. от забоя подготовительной выработки. Угольный пласт, как и все осадочные породы, является трещиновато-пористым телом. Очевидно, что содержащийся в пласте метан находится в порах и микротрещинах угля, которые в дальнейшем для простоты обобщения будем называть порами. Их размер (диаметр) имеет первостепенное значение, потому что обуславливает как общее содержание метана в угле, так и степень связи его с углем, решающим образом определяющим возможное количество метана и его гомологов в угольном пласте, а также реальность искусственного извлечения метана из угля, т. е. дегазацию пласта.

Существует не одна классификация пор по размерам, в том числе и пред-

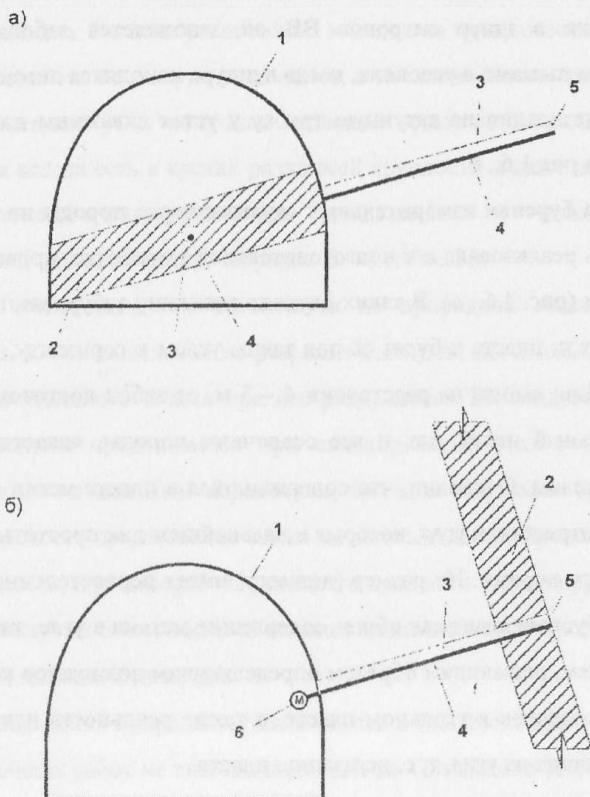


Рис. 1.6. Схема герметизации измерительных камер в угольном пласте для измерения давления газов:
а и б - при бурении скважин по уголю и через породы на угольный пласт.

ложенные специалистами, работавшими над решением проблемы выбросов. Наиболее глубокие и объективные исследования по этому вопросу гораздо раньше, чем «угольщики» выполнили специалисты-нефтяники, результатам которых поэтому следует отдать предпочтение. В соответствии с ними поры разделяются на сверхкапиллярные, капиллярные и субкапиллярные. Сверхкапиллярные поры имеют просвет от 10^{-4} м. и больше. Среди них особо выделяются мегاپоры (полости) огромных размеров, исчисляющиеся несколькими десятками, сотнями и даже тысячами кубических метров. Движение однородной жидкости в сверхкапиллярных порах происходит в основном под действием силы

тяжести или напора по обычным для трубчатого канала законам гидродинамики.

Подобные мегапоры в выбросоопасных угольных пластах (и слоях песчаников) за почти полуторавековой период их разработки не были встречены, что позволяет, упрощая анализируемую классификацию, категорию сверхкапиллярных пор исключить.

Размеры капиллярных пор колеблются от $2 \cdot 10^{-7}$ до 10^{-4} м. Жидкости в этих порах движутся вследствие капиллярности, преодолевая силу тяжести. На поверхности раздела твёрдой и жидкой фаз на взаимосвязанные молекулы (например, воды) действуют молекулярные поверхностные силы твёрдого тела. Циркуляция жидкости или газов в капиллярных порах возможна только тогда, когда силы тяжести или напора значительно превышают поверхностные (капиллярные) силы.

Субкапиллярные поры имеют просвет менее 10^{-7} м. и практически не пропускают жидкости из-за того, что последние прочно связаны с их стенками.

Таким образом, изложенное позволяет представить классификацию пор в угольных пластах как состоящую из капиллярных и субкапиллярных пор.

Свойство пород пропускать жидкости, газы и их смеси при наличии перепада давления называется проницаемостью. Она подразделяется на физическую (или абсолютную), фазовую (или эффективную) и относительную.

Физической (абсолютной) проницаемостью называется проницаемость породы (угля) при фильтрации однородной жидкости или газа. Количественно физическая проницаемость оценивается коэффициентом проницаемости $K_{пр}$, который устанавливает характер пропорциональности скорости фильтрации жидкости V_{ϕ} градиенту давления (dP/dL), вызывающего фильтрацию (уравнение Дарси):

$$V_{\phi} = K_{пр} \frac{dP/dL}{\mu}, \quad (1.2.)$$

где μ - вязкость жидкости (газа). спз.

Из (1.2.) следует, что коэффициент проницаемости имеет размерность площади.

Практической единицей измерения проницаемости является дарси, Д. Проницаемость в один Д имеет образец породы площадью 1 см^2 и длиной 1 см ., через который при перепаде давления в 1 атм. расход жидкости вязкостью

10^2 П (пуаз) составляет $1 \text{ см}^3/\text{с}$. Обычно проницаемость горных пород измеряется более мелкой единицей – миллидарси (мД), составляющей 10^{-3} Д.

Эффективной (фазовой) проницаемостью называют способность пород, насыщенных неоднородной жидкостью (например, вода – газ), пропускать отдельные её фазы (газ, воду).

Обычно принято считать, что при измерении проницаемости образцов горных пород, через которые фильтруется, например, метан, определяется физическая проницаемость. Но в подавляющем большинстве случаев такое представление ошибочно из-за того, что образец горной породы (в частности, осадочной) всегда содержит физически связанную, или гидроскопическую воду. Следовательно, метан будет фильтроваться по порам, часть объёма которых заполнена водой, а часть – воздухом, т. е. имеет место скорее эффективная, чем физическая проницаемость.

Отношение коэффициентов фазовой проницаемости к физической называют коэффициентом относительной проницаемости.

Проницаемость неразгруженных от горного давления выбросоопасных пластов на тех глубинах, где происходят выбросы угля и газа, является практически нулевой. Проницаемость призабойной части пластов, в большей или меньшей степени разгруженных и дегазированных, составляет величины порядка $10^{-3} - 10^{-6}$ мД.

С позиции полученного результата вновь обратимся к опыту специалистов-нефтяников. Горные породы (нефтеносные и вмещающие их) они подразделяют на проницаемые, полупроницаемые и практически непроницаемые.

К проницаемым относятся: грубообломочные слабосцементированные породы (галечники, гравий), хорошо отсортированные песчано-алевритоглинистые породы (пески, песчаники и алевролиты); кавернозные и особенно закарстованные и трещиноватые магматические породы. Поровое пространство проницаемых пород занимает, как правило значительную часть объёма породы (20, 30, 40% и более) и обычно сложено относительно небольшим числом сверхкапиллярных и капиллярных пор, часто равномерно распределённых по объёму породы. Коэффициент проницаемости этих пород варьирует от 10 мД до сотен дарси. Перечисленных пород практически нет среди осадочных, вмещающих выбросоопасные угольные пласты. Следовательно, эта ка-

тегория пород при рассмотрении выбросоопасного массива должна исключаться.

К полупроницаемым относятся менее отсортированные глинистые пески, некоторые разновидности песчаников и алевролитов, а также карбонатные породы, в частности, мелкотрещиноватые меловидные известняки и доломиты. Поровое пространство этих пород в большом объеме представлено субкапиллярными порами, содержание связанной воды повышенное, коэффициент проницаемости этих пород изменяется от 0,1 до 10 мД. Следовательно, и эта категория пород при рассмотрении выбросоопасного массива должна исключаться, ибо они лишь иногда встречаются в геолого-промышленных районах Донбасса, где выбросы не происходят.

К практически непроницаемым относятся породы с коэффициентом проницаемости меньшим 0,1 мД: глины, аргелиты, глинистые сланцы, песчаники. Они залегают в геолого-промышленных районах Донбасса, где при разработке угольных пластов происходят выбросы.

Не следует понимать практическую непроницаемость как утверждение абсолютной непроницаемости. По отдельным трещинам при высоких давлениях перемещение газов, флюидов вполне возможно. Более того, реальный выбросоопасный горный массив подобен непрерывно изменяющемуся организму. В нём не прекращаются сложные физико-химические превращения, обусловленные процессами метаморфизма. По сути своей они чрезвычайно неоднородны во времени не только для различных районов месторождения и разных глубин его залегания, но даже и для локальных участков. Последнее обусловлено, главным образом, структурной и текстурной сложностью угольных пластов и вмещающих пород, разнообразием как по форме, так и по масштабности тектонической нарушенности: от месторождения в целом до шахтопласта, крыла или отдельного участка шахтного поля. Эти процессы протекают чрезвычайно медленно, единица их измерения — геологические эпохи, миллионы лет.

Генетические особенности (генезис от греческого «происхождение», «возникновение») обусловили в период формирования угольных пластов (доинверсионный) иногда сходство, а иногда и существенное различие между отдельными пластами по комплексу физико-механических и физико-химических свойств, в том числе газоносности. Период, связанный с процессами, приведшими к поднятию пластов на современную глубину (постинверсионный), не только усугу-

бил различие по комплексу свойств между отдельными пластами, но и обусловил формирование различий, иногда очень значительных, между весьма локальными участками пласта. В частности, различной могла оказаться степень естественной дегазации.

Может быть, в какой-то степени спорным, а ещё в большей степени мало изученным является вопрос о том, в каком состоянии метан находится в угольном пласте. Газ ли это? Или метан становится газом только тогда, когда выделяется в выработку, скважину, шпур? А в угольном пласте это твёрдое или квазитвёрдое тело (от латинского «квази» – нечто, вроде, как будто)?

Детально основные из названных свойств будут рассматриваться в следующем разделе.

2. Природа выбросоопасности

Традиционно в течение примерно пятидесяти лет все научно-исследовательские организации, особенно крупные и академические, с большим вниманием и желанием выполняли работу по созданию теории выбросов. В системе Минуглепрома СССР главным по разработке теории выбросов угля (породы) и газа был ИГД им. Скочинского. В крупных публикациях, монографиях, относившихся к проблеме выбросов угля (породы) и газа, вопросам теории всегда отводилась первостепенная роль.

Буквально вехой в научном плане, в значительной мере прекратившей многие бесполезные дискуссии, можно назвать высказанную на третьей Всесоюзной конференции по борьбе с внезапными выбросами (1955 г.) акад. А.А. Скочинским мысль о том, что только 3 фактора в совокупности обуславливают формирование проблемы выбросоопасности.

Позже в докладе МакНИИ (В.И. Николин) на международном симпозиуме по выбросам угля (породы) и газа (г. Донецк, 1974 г.) тезис акад. А.А. Скочинского на том основании, что присутствие метана в угле влияет на свойства последнего, уточнялись. Предложено было считать, что два фактора в совокупности (горное давление и физико-механические свойства газоносного пласта) формируют потенциальную выбросоопасность.

К настоящему времени принципиально изменился методический подход как к решению проблемы выбросов в целом, так и к разработке теории выбросов. Из рис. 2.1. следует, что теория выбросов (I) должна рассматриваться как совокупность знаний природы формирования выбросоопасности (II) и механизма возникновения и протекания выбросов (III). Знания, сведения II являют собой научную основу разработки способов прогноза выбросоопасности (IV), а знания III – научную основу создания способов предотвращения выбросов (V).

В данном (втором) разделе монографии рассмотрим вопросы, относящиеся к формированию физической модели выбросоопасного пласта как результата изучения природы выбросоопасности, призванной объяснить природу основного свойства выбросоопасного пласта – локальности выбросоопасности.



Рис. 2.1. Принципиальная методическая схема решения проблемы выбросов угля (породы) и газа

2.1. Физическая модель выбросоопасного пласта.

2.1.1 Физическая модель выбросоопасного пласта может быть сформирована только как результат комплекса исследований природы выбросоопасности. Впервые она была предложена МакНИИ в начале семидесятых годов, в дальнейшем развита, уточнена, подтверждена многочисленными шахтными и лабораторными экспериментами, которые проводились в значительной мере совместно ДонГТУ, МакНИИ. Содержала она представление о том, что выбросоопасный угольный пласт – это трещиновато-пористое тело, отдельные структурные блоки которого газонепроницаемы и способны увеличиваться в объеме при увеличении содержания метана (углекислого газа, высших углеводородов и др.). Метан рассматривался как источник дополнительных (внутренних) напряжений или как фактор, обуславливающий такое изменение деформационных свойств газоносного угольного массива, которое существенно увеличивает склонность (способность) его к разрушению при разгрузке. Уже на этапе создания физической модели выбросоопасного пласта (шестидесятые годы) было высказано

предположение (гипотеза), что многое своеобразие (неординарность) случаев выбросов, «нелепых» с позиции исследователей, исключавших аномальность («очаговость») природной газоносности отдельных участков шахтопластов, вполне удовлетворительно объяснялось бы, если представить метан в угольных пластах (слоях песчаников) в твёрдом (квазитвёрдом) состоянии, обуславливающим неравномерность его распределения (содержания) в пласте. Однако гипотеза продолжительное время оставалась недоказанной, т. е. только гипотезой. Если проследить изменение представлений о состоянии метана в выбросоопасном угольном пласте в хронологическом порядке, то их можно в известной мере условно, опуская существовавшую на всех стадиях дискуссионность вопроса, охарактеризовать тремя временными стадиями.

На первой стадии большинство учёных, в том числе проф. Л.Н. Быков, считало, что метан в угольном пласте находится в свободном (газообразном) состоянии под большим давлением и представляет собой своеобразные «очаги», хотя сорбционные явления не исключались. Под сорбционными явлениями понимается способность твёрдых тел концентрировать, сгущать на своей поверхности газы или жидкости.

Но уже в пятидесятые годы А. Джоем экспериментально было установлено, что фактический объём метана, если исходить из того, что в угле он находится в газообразном состоянии, на два порядка превышает поровое пространство, измеренное по заполнению его гелием. Даже объём сжиженного метана вдвое больше объёма пор угля, и это несоответствие возрастает при понижении температуры и повышении давления.

Акад. А.А. Скочинским было показано, что когда в 1 м^3 угля находится $22,5 \text{ м}^3$ метана (что реально и часто наблюдается в углях марок К, ОС, Т, А), то если бы весь метан находился в свободном состоянии, давление газа должно было бы в нём достичь 20 МПа. Тогда кусок угля при таком внутреннем давлении, отторгнутый от массива, должен был бы разлететься на мельчайшие частицы, чего в действительности не бывает. Это явление объясняет тот факт, что весь или какая-то значительная часть метана, содержащегося в угле, находится не в газообразном состоянии, а в таком, когда давление газа не создаётся.

С позиций физической химии ископаемых углей (точнее, того раздела, который занимается сорбционными явлениями) уголь – это высокопористый сорбент, обладающий большой способностью к обратимой, физической адсорбции

углекислого газа, метана и др. газов, жидкостей. Сорбент – это вещество, поглощающее (концентрирующее на своей поверхности) газы или жидкости, которые называют сорбатами.

Различные микрокомпоненты в составе углей обуславливают их неодинаковую сорбционную способность даже при одной и той же степени метаморфизма. Газы на поверхности сорбента (в т. ч. внутренней поверхности пористых углей) могут находиться в трёх разновидностях состояния:

- твёрдого молекулярного раствора (абсорбированы);
- в состоянии конденсированной поверхностной фазы (адсорбированы);
- в химической связи (химическая абсорбция, или хемосорбция).

Понятия абсорбции, физической адсорбции и хемосорбции обычно объединяются одним термином «сорбция». Происходит она под влиянием молекулярных сил, неуравновешенных на поверхности сорбента (силы Ван-дер-Ваальса).

Изучение сорбционных явлений и процессов, которое стимулировали результаты экспериментов, полученных А. Джоем, и их оценка академиком Скочинским А.А., и которое в течение многих лет в СССР возглавлял д.т.н. И.Л.Эттингер, привело к заключению о том, что метан в угольных (выбросоопасных, в частности) пластах находится в сорбированном и свободном, т. е. газообразном состоянии. Исследованиями ИГД им. Скочинского и ИПКОН АН СССР было установлено, что в сорбированном состоянии в выбросоопасных пластах находится не менее 95 – 97% метана, а оставшиеся 3 – 5% - в свободном (газообразном) состоянии. Такой вывод характеризует вторую стадию представлений о состоянии метана. Но она ни в коей мере не объясняет природу локальности выбросоопасности.

2.1.2. Мнение МакНИИ о том, что «загадочные» по локальности проявления выбросы могли бы быть объяснены с позиций представления состояния метана квазитвёрдым, возникло под влиянием результатов экспериментального изучения свойств воды, находящейся в капиллярах (ячейках) размером (диаметром) менее 10^{-7} м. Обобщение и анализ немногочисленных, но очень тонких опытов, выполненных специалистами негорного профиля, позволили убедиться в том, что отождествлять свойства воды, находящейся в обычных, макроусловиях, со свойствами воды, находящейся в капиллярах, ячейках размером менее 10^{-7} м., принципиально нельзя.

Например, И.В. Валисовский и Я.И. Медведев приводят такие результаты опытов по определению температуры замерзания воды в капиллярах: диаметр капилляров, $\times 10^{-7}$ м.: 1,57; 0,24; 0,15; 0,06; температура t замерзания, $^{\circ}\text{C}$: -6,4; -13,6; -14,6; -18,5.

К. Терцаги установил, что в порах размером 10^{-9} м. вода замерзает при температуре значительно ниже -100°C . Экстраполяция зависимости температуры замерзания воды от размеров капилляров, полученной по данным И.В. Валисовского и Я.И. Медведева (на рис. 2.2. она представлена пунктиром), позволяет полагать существование рассматриваемой зависимости реальным с учётом данных К. Терцаги.

Н.Л. Цытович оценивая изменение плотности воды в капиллярах, ссылается на опыты А.К. Раковского и Т.М. Полянского, которые установили, что её плотность в тонких капиллярах изменяется в пределах $1,28 - 2,45 \text{ г/см}^3$.

Б.В. Дерягин получил, что ещё при толщине плёнки воды $1,5 \cdot 10^{-4}$ м. модуль сдвига ничтожен. При толщине плёнки около $9 \cdot 10^{-8}$ м. он повышается до 20 мПа.

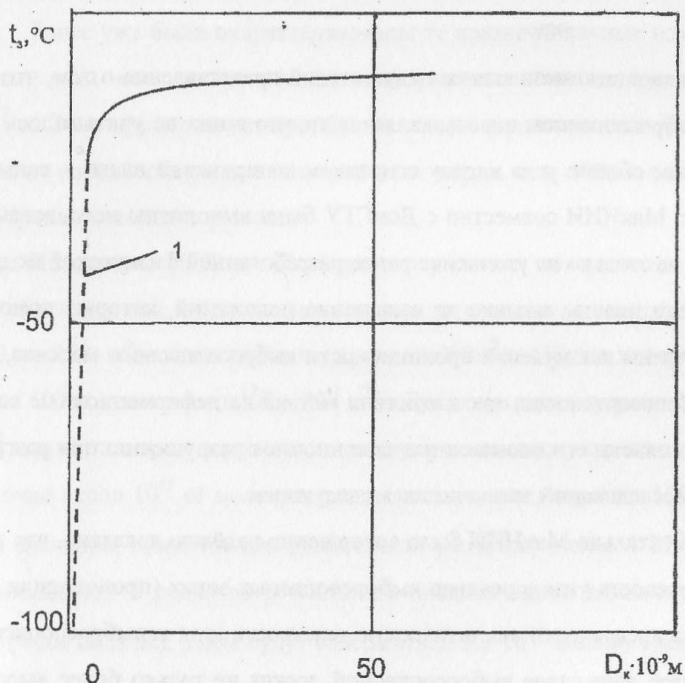


Рис. 3.6. Зависимость температуры замерзания воды ($t_z, ^{\circ}\text{C}$) от диаметра капилляров ($D_k \cdot 10^9 \text{ м}$): 1 - экстраполяция.

А.В. Лыков отмечает, что вода в капиллярах диаметром 10^{-6} м. не растворяет легкорастворимые вещества и имеет максимальную плотность в некоторых случаях $1,74 \text{ г/см}^3$.

Природа изменения перечисленных свойств воды в тонких капиллярах та же, что и сорбционных – неувновешенность молекулярных (Ван-дер-Ваальсовых) сил внутренней поверхности капилляров. В.И. Николиным в конце шестидесятых годов высказывалось в связи с этим предположение, что совсем не исключены подобные изменения и свойства метана, находящегося в порах (капиллярах), микротрещинах размером менее 10^{-7} м.

Во второй половине восьмидесятых годов ИГТМ НАН Украины (д.т.н. А.Н. Зорин и В.Г. Колесников) разработали физическую модель призабойной части выбросоопасного пласта как гетерогенной среды, представляющей собой твёрдое вещество (скелет) и газ. Содержащиеся в ней положения не вызывают возражений, но относятся они должны только к безопасной зоне разгрузки призабойной части пласта и не должны распространяться на угольный пласт за зоной разгружающего влияния выработок. Но именно поэтому физическая модель не может быть использована для объяснений природы локальности выбросоопасности.

2.1.3. Общим недостатком описанных двух стадий представления о том, что такое метан в выбросоопасном пласте, является то, что в них не учитывалось наличие в поровом объёме угля наряду с метаном материнской влаги – воды. В 1988 – 1993 гг. МакНИИ совместно с ДонГТУ были выполнены исследования, направленные не столько на уточнение ранее разработанной физической модели выбросоопасного пласта, сколько на выяснение положений, которые помогли бы понять причины как нулевой проницаемости выбросоопасного массива, локальности выбросоопасности, так и влияния метана на деформационные свойства угольного пласта, его повышенную склонность к разрушению при разгрузке. Сущность исследований заключалась в следующем.

Экспериментально МакНИИ было совершенно надёжно доказано, что аналитическая влажность угля в реально выбросоопасных зонах (происходили выбросы) в 2 раза превосходит аналитическую влажность угля невыбросоопасных зон. Значит, чтоб зона стала выбросоопасной, нужна не только более высокая природная газоносность, но и более высокая влажность угля (т. н. материнская).

Большинству населения ещё со школьной скамьи известно, что вода — эликсир жизни и в бытовых, природных, промышленных условиях (макроусловиях) обладает некоторыми совершенно необычными свойствами. Например наибольшей плотностью обладает при температуре $+4^{\circ}\text{C}$, при понижении температуры до 0°C не сжимается, а замерзая, расширяется. Бутылка минеральной воды в морозильной камере холодильника, замерзая разрывается.

Названные природные особенности воды объясняются дипольностью её молекулы (дипольный момент 1,86 Д). Чуть упрощённо этот феномен можно представить следующим образом. В общем случае молекула — это что-то круглое, шарообразное по разным орбитам которого «снуют» электроны и протоны. А вот молекула воды оказалась вытянутой формы, на обоих концах которой сформировались (образовались) заряды разных знаков. И из-за этого «коварного» свойства в ситуации, когда совсем рядом находится какая-то «заряженная» поверхность, молекула воды «бросается» на эту поверхность зарядом противоположного знака. И если рядом оказались какие-то другие молекулы, то они из-за своей недостаточной мобильности («шустрости») к стенке — заряженной поверхности смогут добраться только потом, позже или даже значительно позже.

Ранее уже были охарактеризованы те принципиальные изменения свойств воды, если она оказывается в микроусловиях — капиллярах размером менее 10^{-7} м. Этот эффект может приобретать самое различное значение и будет зависеть от пористости угля и размеров этих пор, т. е. в общем случае от площади внутренних стенок пор-ячеек.

По данным ИГД им. Скочинского удельная поверхность углей Донбасса колеблется, в том числе и в зависимости от степени метаморфизма, в пределах $130 - 260 \text{ м}^2/\text{г}$ и составляет в среднем $200 \text{ м}^2/\text{г}$. Общая поверхность пор угля ($D_n < 10^{-7}$ м.) составляет $100 - 200 \text{ м}^2/\text{г}$. Для покрытия внутренней поверхности 1 см^2 пор-капилляров переменного радиуса мономолекулярным слоем воды достаточно около 10^{15} её молекул, следовательно, для покрытия 100 м^2 (минимальное значение, принятое для дальнейших расчётов) около $1 \cdot 10^{21}$ молекул. При минимальной и редко встречающейся аналитической влажности угля, равной 1% (чаще больше), в нём будут содержаться $3,3 \cdot 10^{20}$ молекул воды.

Громадное число пор размером менее 10^{-7} м. вполне позволяет считать, что поры различных размеров (10^{-8} , 10^{-9} , 10^{-10} м.) количественно распределены

примерно равномерно. По геометрическим соображениям совместное «пробывание» молекул воды и метана (эффективный диаметр их соответственно 1,96 и $4,17 \cdot 10^{-10}$ м.) возможно только в порах-ячейках диаметром более $6,1 \cdot 10^{-10}$ м. Следовательно, практически во всём поров объёме метан находится в совокупности (в соседстве) с водой. При этом следует особенно подчеркнуть, что их молекулы (метана и воды) туда (в поры) не подавали. Они там «оказались» в процессе формирования месторождения, образования угольных пластов. Учитывая принципиальную особенность молекулы воды, отличающую её от всех других твёрдых тел и жидкостей и заключающуюся в дипольности молекулы, можно утверждать, что под действием Ван-дер-Ваальсовых сил внутренней поверхности пор первыми на стенках пор окажутся молекулы воды. В этом мономолекулярном, а чаще всего полимолекулярном слое, вода будет обладать такими «аномальными» свойствами, которые были экспериментально определены и уже названы. Высказанное утверждение в какой-то степени подтверждает и объясняет тот факт, что к.г.-м.н. В.А. Баранову (ИГТМ НАН Украины) удалось сфотографировать под микроскопом двуслойное заполнение поры, выбросоопасного песчаника: первый, ближайший к её стенке (полимолекулярный) состоял из воды, следующий после него — из метана.

Следовательно, ранее предложенную МакНИИ физическую модель выбросоопасного угольного пласта с учётом результатов исследований, выполненных в 1988 – 1993 гг., следует уточнять. Её следует представить в виде гетерогенной среды: твёрдого тела – скелета с абсолютно жёсткими рассеянными включениями водо-метана. По вопросу обоснования абсолютной жёсткости поры-ячейки размером менее 10^{-7} м., внутренняя поверхность которой покрыта молекулами воды, необходимо обратить внимание на следующие явления-превращения.

Известно, что в макроусловиях вода превращается в лёд при понижении температуры до 0°C . В микроусловиях свойства воды так принципиально меняются, что теперь температура замерзания опускается ниже -100°C . Но с позиции допустимости утверждения абсолютной жёсткости поры-ячейки главное в том, что вода, имеющая плотность классическую единицу, рассматривается во всех гидравлических расчётах для макроусловий при давлении до 60 – 80 МПа как тело несжимаемое. В микроусловиях она приобретает плотность даже $2,45 \text{ г/см}^3$ и модуль сдвига до 20 МПа. Следовательно, микрополости превратили воду в

твёрдое тело с совершенно аномальными свойствами (прочностными, деформационными и др.) по сравнению со свойствами воды в макроусловиях. Стенки пор-ячеек покрыты дипольными молекулами воды, а метан находится внутри своеобразной «водной» полости, уровень свободной поверхностной энергии неуравновешенности молекулярных сил в которой определяется (формируется) дипольностью молекулы воды. Такая модель, во-первых, позволяет объяснить локальность выбросоопасности. Молекулы метана, оказавшиеся в «плёну» аномально жёстких дипольных молекул воды, не смогут уравнивать природную газоносность. Во-вторых, она объясняет изменение деформационных характеристик угольного выбросоопасного массива при изменении водо-метаноносности, приводящее к охрупчиванию при разрушении от разгрузки. Под охрупчиванием следует понимать увеличение склонности к разрушению от деформаций упругого восстановления, последствия и обратной ползучести, являющихся по своей сущности деформациями растяжения. Более подробно эти вопросы будут рассматриваться в разделе 3.

Результаты расчётов, выполненных для условий гидростатического (равнокомпонентного) сжатия ($\sigma_x = \sigma_y = \sigma_z = \gamma_H$), когда модуль Юнга модели $E_m = 2,5 \cdot 10^9$ Н/м², коэффициент Пуассона модели $\mu_m = 0,33$ и глубина залегания $H = 200 - 1200$ м., представлены в виде графиков на рис. 2.3. для значений объёмной доли сферических включений $C = 0\% - 1$ и $C = 15\% - 2$.

Анализ зависимостей рис. 2.3. с учётом уже сказанного приводит к выводу о том, что наличие в порах-ячейках угольного пласта наряду с метаном материнской воды, превращающей их в абсолютно жёсткие включения, кардинально меняющие физические и механические свойства угольного пласта, приводит к резкому снижению деформативной способности пласта или его отдельных участков. Учитывая, что угольный массив гораздо сложнее идеализированного упругого тела, не стали считать, во сколько раз изменяются деформации в конкретных ситуациях и ограничились очевидностью существенных качественных изменений. Одновременно при этом рассчитали число пор, содержащихся в 1 г антрацита, пористость которого 10%, плотность 1,4 г/см³, а средний диаметр пор 10^{-8} м. Оно оказалось равным $2,3 \cdot 10^{20}$, что позволяет полагать присутствие в 1 г антрацита $2,3 \cdot 10^{20}$ малюсеньких, абсолютно жестких шариков. Это при-

сутствие делает угольный пласт в выбросоопасной зоне практически несжимаемым.

Такая трактовка физической модели выбросоопасного пласта хорошо объясняет обнаруженные в пятидесятые годы МакНИИ (проф. Бобров И.В.) задержки деформаций (сближения пород почвы и кровли пластов) в лавах крутых пластов перед выбросами.

Более того, следует обратить внимание на то, что при измерениях аналитической влажности в выбросоопасных пластах была доказана её изменчивость на различных участках шахтопласта. Из этих фактов для авторов и сторонников т. н. микрокапиллярного увлажнения неизбежно должен следовать вывод, что капиллярные силы даже за громадный период времени не смогли уравнять материнскую влажность.

В рассматриваемый, условно третий, период времени (конец восьмидесятых – начало девяностых годов) исследования особенностей состояния метана в угольных пластах продолжались в ИПКОН. Самый значительный результат содержится в последней (посмертной) статье И.Л. Эттингера, из которой следует,

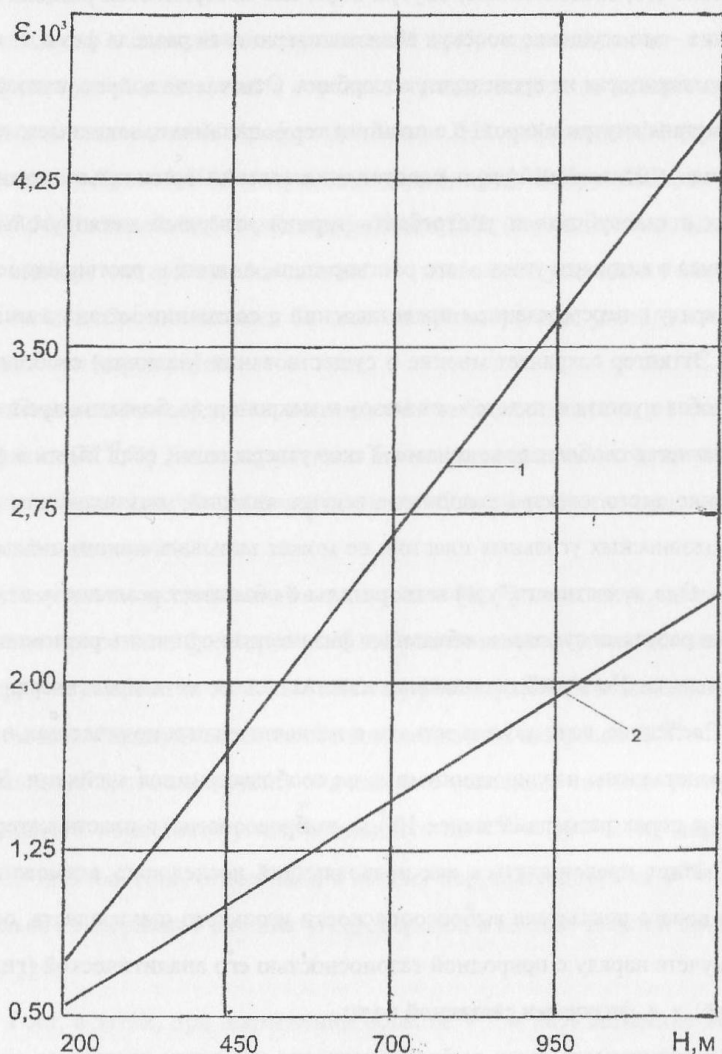


Рис. 2.3. Зависимость относительных деформаций $\varepsilon \cdot 10^3$ от глубины разработки H при отсутствии (1) и наличии (2) включений.

что он, если не коренным, то очень существенным образом изменил свои представления, содержащиеся в его многочисленных более ранних публикациях. В ней отмечается, что размеры микропор соизмеримы с размерами отдельных мо-

лекул, поэтому в каждой из них может находиться очень малое их число, не превышающее нескольких единиц. И сам же автор статьи ставит вопрос о том, можно ли считать содержание молекул внутри одной поры фазой, если фаза – понятие макроскопическое (подч. нами – авт.). Отвечая на него отрицательно, говорит о том, что, следовательно, внутри поры нет поверхностей раздела фаз. Но адсорбция – это сгущение молекул вблизи поверхности раздела фаз и, следовательно, в микропорах не происходит адсорбция. Отвечая на вопрос, каково же состояние метана внутри микропор с позиции термодинамики, заключает: «Для системы метан – ископаемый уголь следует отказаться от привычных терминов «адсорбент» и «адсорбция» и употреблять термин «твёрдый метанугольный раствор», имея в виду, что уголь – это растворитель, а метан – растворённое вещество». Наряду с перерождением представлений о состоянии метана в микропорах И.Л. Эттингер сохраняет мнение о существовании (наличии) свободного метана: «Любая пустота в пласте – от мезо- и макропор до больших трещин – всегда заполняется свободным метаном». Такое утверждение, если иметь в виду возникновение всего спектра газодинамических явлений, возникающих при разработке газоносных угольных пластов, не может вызывать принципиальных возражений. Оно, в частности, удовлетворительно объясняет реальность вскрытия горными работами суфляров, объясняет физическую сущность разломов пород почвы пласта. Но в выбросоопасных пластах нет мезо- и практически нет макропор. Последние, если даже и есть, то в незначительных количествах и могут быть представлены изолированными, а не сообщающимися ячейками. Учёт содержания в порах размерами менее 10^{-7} м. выбросоопасного пласта материнской воды может представляться как позволяющий исследовать возможность разработки нового показателя выбросоопасности угольного шахтопласта, основанного на учёте наряду с природной газоносностью его аналитической (гигроскопической), т. е. физически связанной воды.

2.2. Закономерность связи выбросоопасности угольных пластов со степенью метаморфизма углей.

2.2.1 Разработку и успешное применение на практике регионального способа прогноза выбросоопасности угольных пластов, содержащегося более двадцати лет в «Инструкциях...» [2, 3], безусловно, следует относить к весьма значительным успехам горной науки Украины [6, 7].

Краткое изложение научных основ способа в данной монографии выполняется как для иллюстрации необходимости проникновения в физическую сущность явления при его прогнозировании, так и для подтверждения правильности основных положений разработанной физической модели выбросоопасного пласта.

Вопрос о зависимости проявлений выбросоопасности от степени метаморфизма углей давно, ещё с середины тридцатых годов, интересовал отечественных исследователей. Профессора Быков Л.Н. и Карпов А.М. (тридцатые годы); доцент Яровой И.М. (сороковые годы); проф. Бобров И.В., к.т.н. Кричевский Р.М. (пятидесятые годы); проф. Ходот В.В. (шестидесятые годы) приходили к выводу, что имеющиеся данные не позволяют установить какую-либо зависимость выбросоопасности от степени метаморфизма углей: выхода летучих веществ или марок углей.

Первые доказательства зависимости выбросоопасности от степени метаморфизма ($V^{daf}, \%$) были получены в начале семидесятых годов, основывались на анализе статистических данных и потребовали вскрытия природной сущности этой зависимости.

Результаты исследований этого плана [6, 7] позволили сделать вывод о том, что природное формирование выбросоопасности угольных пластов закономерно определяется степенью метаморфизма углей. Это доказывается совпадением максимальной вероятности возникновения выбросов ($V^{daf} \approx 20\%$) с максимальными (минимальными) значениями основных свойств угля: минимум прочности и пористости углей приходится на $V^{daf} \approx 20 - 24\%$; максимум природной газоносности, отнесённой к объёму пор, приходится на $V^{daf} \approx 20\%$; максимальное содержание высших углеводов в составе пластов приходится на $V^{daf} \approx 23\%$.

Рост, а затем, при достижении области $V^{daf} \approx 20\%$ снижение вероятности возникновения выбросов при разработке невыбросоопасных пластов объясняется тем, что физико-химические превращения органических веществ сопровождается генерированием метана и его гомологов до области $V^{daf} \approx 19 - 21\%$. В дальнейшем, по мере роста степени метаморфизма углей, метан и его гомологи уже не генерируются, а «расходуются». Их физико-химическое взаимодействие с углём (органикой и неорганическими соединениями) при наличии материнской воды, приводит к росту пористости. А каменный уголь марок Ж и К из

низкопористого и малопрочного превращается в прочный, хотя и высокопористый, практически негазоносный антрацит.

2.2.2. Доказательство того, что имеет место проявление природной закономерности, требовало уточнения степени метаморфизма углей в окрестности предельных точек Б и А на оси абсцисс, соответствующей степени метаморфизма углей, в которых зарождается, а затем и вырождается выбросоопасность (рис. 2.4).

Выполняя это требование, обратим внимание на то, что широкое применение для оценки степени метаморфизма показателя V^{daf} , %, привело учёных-геологов к выводу, что он недостаточно надёжно оценивает степень метаморфизма антрацитов при $V^{daf} < 8\%$, а также степень метаморфизма каменных углей при $V^{daf} > 25\%$. Для более надёжной оценки степени метаморфизма антрацитов в настоящее время используется показатель lgr - логарифм удельного электросопротивления антрацитов. Для каменных углей, когда $V^{daf} > 25\%$, было предложено использовать комплексный критерий метаморфизма М:

$$M = f(V^{daf}, y), \quad (2.1.)$$

где y – толщина пластического слоя, образующегося при нагревании угля без доступа воздуха, мм.

В точке А на оси абсцисс $lgr = 3,3$, в точке Б – $M = 27,7$ (рис.2.4.).

Следовательно, если $lgr < 3,3$ и $M > 27,7$ при разработке угольных пластов выбросоопасность не формируется. Такой вывод стал возможным только после доказательства закономерности связи выбросоопасности со степенью метаморфизма углей. Сущность доказательства, соответствующего методическому принципу поиска закономерностей, кратко сформулируем ещё раз.

Установление даже надёжной статистической зависимости во всех случаях следует рассматривать только как первый, обнадёживающий результат. Он обязательно должен быть развит: изучена физическая сущность зависимости. И только если природа зависимости будет вскрыта, можно утверждать существование закономерности.

Закономерность природного формирования выбросоопасности при изменении степени метаморфизма углей установлена на базе месторождений Донбасса. Но мировой опыт разработки угольных месторождений позволяет считать

эту закономерность справедливой для всех условий. Приведём лишь отдельные частные доказательства.

Угли Бошняковского и Лесогорского месторождений острова Сахалин представлены марками Д и Г, выход летучих веществ 38 – 45%, т. е. их следует (так как $V^{daf} > 35\%$) относить к невыбросоопасным. Так они разрабатывались до 1970 г., когда на шахте № 16/17 бывшего треста Углегорскуголь комбината Сахалинуголь 03.12.70 г. при производстве взрывных работ произошёл выброс угля и газа. В последующие почти 30 лет разработка этих месторождений (по состоянию на 01.09.99 г.) не сопровождалась ни одним выбросом.

Природа проявления выбросоопасности хорошо объясняется с позиций зависимости формирования выбросоопасности от степени метаморфизма углей.

Горными работами на Бошняковском и Лесогорском месторождениях иногда вскрываются (пересекаются) интрузии андезита, т. е. внедрения изверженных пород. Степень метаморфизма углей в окрестности интрузий возрастает в результате процессов, которые получили название термальный метаморфизм.

Выброс угля и газа на шахте 16/17 произошёл именно на участке внедрения изверженных пород в пласт, где уголь в результате этого преобразовался в антрацит. Средний по 11 пробам, отобранным из разрушенного выбросом угля, выход летучих веществ составил 4,3%, $I_{gr} = 4,5$, т. е. он оказался больше предельного для антрацита $I_{gr} = 3,3$ и практически подтвердил надёжность установленной закономерности.

Этот уникальный случай выброса приведён не только как частное доказательство правильности закономерности формирования выбросоопасности, обусловленной метаморфизмом углей. Необходимо обратить внимание на то, что совсем недавно в Донбассе при разведке вблизи г. Донецка полей «Южно-Донбасское» № 8-9 и Михайловская перспектива геологии ПГО Донбассгеология обнаружили интрузии. В поле действующих шахт «Южно-Донбасская» № 1 и «Южно-Донбасская» № 3 пласты невыбросоопасны, средний $V^{daf} \approx 37 - 39\%$, а $M > 29, 5$.

К сказанному следует добавить, что на некоторых шахтах Венгрии (например, Zabolk) выбросы угля и газа происходят только на участках шахтопластов, непосредственно примыкающим к интрузиям.

Большое практическое значение установленной закономерности природного формирования выбросоопасности заключается в возможности уже на ста-

дии ведения геолого-разведочных работ на основании изучения степени метаморфизма углей надёжно определить группу шахтопластов, месторождения, разработка которых не может сопровождаться внезапными выбросами угля и газа. Её надёжность, в частности, доказывает тот факт, что к невыбросоопасным в Украине был отнесён пласт h_8 Фоминской в полях шахт «Прогресс» ПО Торезантрацит (глубина 1200 м.) и «Шахтёрская-Глубокая» ПО Шахтёрскуголь (глубина 1340 м.) при $I_{gr} < 3,3$ несмотря на то, что этот пласт на небольших малых глубинах (порядка 250...650 м.) был выбросоопасным.

Приведённые примеры не только являются отдельными случаями, доказывающими или подтверждающими как общую закономерность формирования выбросоопасности, так и в широком плане достоверность физической модели выбросоопасного пласта. Например, мнение значительной группы специалистов, утверждающих неизбежность уравнивания за миллионы лет природной газоносности в пределах, как минимум, одного шахтопласта, опровергается выбросами угля и газа, происшедшими на острове Сахалин и Венгрии в окрестности интрузий. На большем расстоянии от неё выбросы не происходили, что самым убедительным образом доказывает практически нулевую проницаемость пласта, «не допустившую» в течение миллионов лет «выравнивания» природной газоносности.

В целом графическое представление закономерности связи выбросоопасности со степенью метаморфизма углей показано на рис. 2.4. Оно характеризует изменение выбросоопасности угольных шахтопластов (1), учитывает отсутствие выбросоопасности в зоне газового выветривания (2), природную связь со степенью метаморфизма углей проявлений выбросов породы и газа (на рис. 2.4. соответственно 2 и 3).

2.3. Особенности проявлений выбросов песчаников и газа, подтверждающие основные положения природы выбросоопасности.

Первые выбросы породы и газа, описанные в отечественной горно-технической литературе, произошли в 50-х годах двенадцатого столетия при проведении квершлага в песчаниках шахты «Кочегарка» ПО Артёмуголь на глубине 750 м. По мере развития горных работ на глубинах 700...1300 м., при подготовке новых горизонтов число выбросоопасных слоёв и выбросов песчаников в Донбассе непрерывно растёт. Значимость проблемы подтверждает и опыт ведения горных работ в других странах: выбросы соли и газа (Германия, Польша), пес-

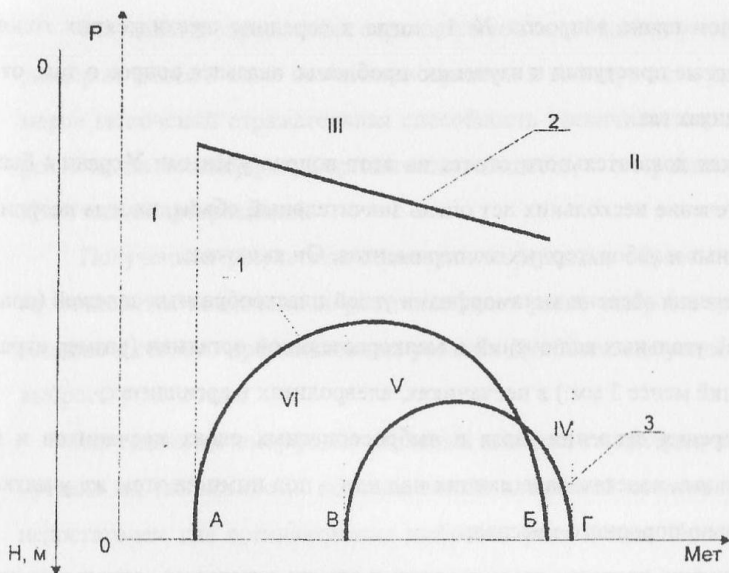


Рис. 2.4. Графики зависимости от степени метаморфизма выбросоопасности угольных пластов (1) и минимальной глубины первых выбросов (2); выбросоопасности пластов (слоев) песчаников (3): Р - вероятность возникновения выбросов; Н - глубина разработки; Мет - степень метаморфизма углей.

чаников, песчано-глинистых сланцев и нефтесодержащих песчаников (Польша, Чехия, Япония), песчано-медистых сланцев и песчаников (Германия). Значительное количество выбросов породы (соли) и газа произошло на Березниковском и Соликамском рудниках (Россия, Пермская область), а также Солигорских рудниках (Белоруссия) на глубинах 400...900 м. В 1977 – 1979 гг. впервые в мировой практике на глубине около 600 м. произошли выбросы изверженной породы (термометаморфизованных порфиринов) и газа (углекислого) в Армении при проведении тоннеля Арпа-Севан.

Выбросы песчаников и газа в Донбассе произошли даже в тех геологопромышленных районах и на тех шахтах, где ранее не происходили выбросы угля и газа. Например, на шахте им. Стаханова ГХК Красноармейскуголь (при строительстве «Красноармейская-Капитальная»).

Они зарегистрированы только на больших глубинах и, безусловно, стали существенно новой формой газодинамических проявлений горного давления, поставившей перед наукой и производством новые задачи.

2.3.1. Комплекс разносторонних лабораторных и шахтных экспериментов позволил отечественным специалистам прийти к выводу о единстве природы выбросов угля и газа, породы (песчаников) и газа.

В научном плане вопросом № 1, когда к середине шестидесятых годов МакНИИ впервые приступил к изучению проблемы, оказался вопрос о том, откуда в песчаниках газ.

В поисках доказательного ответа на этот вопрос учёными Украины был выполнен в течение нескольких лет очень значительный объём, иногда неординарных шахтных и лабораторных экспериментов. Он включал:

- измерения степени метаморфизма углей пластообразных залежей (пластов), угольных включений и мелкорассеянной органики (размер включений менее 3 мм.) в песчаниках, алевролитах и аргиллитах;
- измерения давления газов в выбросоопасных слоях песчаников и в угольных пластах, залегающих над или – под ними на этом же участке угольно-породного массива;
- измерения давления газов в одних и тех же скважинах, отдельные отрезки которых оказались на участках различной степени выбросоопасности песчаников, и отбор проб в них для измерения содержания различных газов;
- отбор проб газов в угольных пластах и выбросоопасных слоях песчаников для измерения содержания в них метана, высших углеводородов, углекислого газа, гелия и водорода;
- отбор проб водных растворов из угольных пластов и выбросоопасных слоёв песчаников, вмещающих эти пласты, для измерения содержания в них оксидов и диоксидов железа, марганца, магния, алюминия и др. соединений.

Оказалось, что давление газов в выбросоопасных слоях песчаников и выбросоопасных угольных пластах различаются в несколько раз; давления газов и их состав в камерах одних и тех же скважин неодинаковы; содержание газов и состав водных растворов различаются иногда на один и даже на два порядка [7, 8]. Основные выводы из них свелись к следующему.

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.

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 позволяют следующим образом объяснить, почему становятся возможными упоминавшиеся ранее выбросы песчаника, происшедшие в геолого-промышленных районах Донбасса, где ранее не происходили выбросы угля и газа.

На стадии метаморфизма угольных пластов, характеризующейся $M > 27,7$, 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. Достигается такой уровень природной газоносности, когда становятся возможными выбросы песчаников и газа. Исследованиями, выполненными Институтом геотехнической механики, было установлено (акад. В.Е. Забигаило, д.г-м.н. В.В. Лукинов), что выбросы песчаников и газа становятся возможными в геолого-промышленных районах, где отражательная способность витринита $R^0 > 0,75$ у.е.. В пересчёте на комплексный показатель метаморфизма это $M < 28,9$.

Более высокий темп метаморфизма мелкорассеянной органики в песчаниках привёл и к другому эффекту, интересному с позиции науки и полезному с позиции практики. Выбросоопасность песчаников, раньше зарождаясь, раньше природой и устраняется. В геолого-промышленных районах, на шахтах, где степень метаморфизма углей характеризуется $V^{daf} < 18\%$, нет выбросов песчаников и газа. Они возможны (соответственно точки В и Г на рис. 2.4.) в интервале от $V^{daf} > 18\%$ до $M = 28,9$.

В целом рассмотрение рис 2.4. позволяет детализировать по степени выбросоопасности угольных шахтопластов и слоёв песчаников области проявления потенциальной выбросоопасности. К областям I (отсутствие выбросоопасности) и III (возможны выбросы угля) добавляется область IV, в которой не происходят выбросы угля и газа, но происходят и вероятны выбросы песчаников и газа. В области V могут происходить как выбросы угля и газа, так и выбро-

сы песчаника и газа. В области VI могут происходить только выбросы угля и газа.

Оценить количественно увеличение темпа метаморфизма, т. е. скорости физико-химических превращений угля пластов и мелкорассеянной органики песчаников, происходившее в течение десятков миллионов лет, обобщённо можно следующим образом. Точке А на рис. 2.4. соответствует $\lg r = 3,3$; точке В - $V^{\text{daf}} = 18\%$; Б - $M = 27,7$ и Г - $M = 28,9$. Если исходить из того, что $\lg r = 3,3$ примерно соответствует $V^{\text{daf}} = 3,5\%$; $M = 27,7 - V^{\text{daf}} = 36\%$, а $M = 28,9 - V^{\text{daf}} = 39\%$, то для песчаников диапазон начала и прекращения выбросов составит $\Delta V_n^{\text{daf}} = 21\%$, для углей - $\Delta V_y^{\text{daf}} = 32,5\%$. Следовательно, для угольных шахтопластов диапазон изменения степени метаморфизма углей от возникновения до прекращения выбросов почти в 1,6 раза больше, чем для песчаников.

2.3.2. Места проявления выбросоопасности в угольных пластах и слоях песчаников не следует считать взаимосвязанными или взаимообусловленными.

Доказательство такого непростого по смыслу заголовка сведём к примерам, которые заимствуем из опыта ведения горных работ на шахтах, опасных по внезапным выбросам. Такой приём используется для того, чтобы не возвращаться к бесплодным дискуссиям, проводившимся ранее лет 30 - 40.

Первая разновидность доказательств сведётся к ссылке на вскрытие области IV (от точки Б до точки Г на рис. 2.4.), где могут происходить только выбросы песчаника и газа. Реальность её существования доказывает опыт работы шахт им. Стаханова и Октябрьский рудник, где зарегистрировано несколько десятков выбросов породы и газа и не произошло ни одного выброса угля и газа [6]. Вторая разновидность доказательств носит ещё более конкретный характер. При строительстве шахты им. Скочинского от второго западного вентиляционного ствола проводили полевую выработку (2 на рис 2.5.), которой должен был вскрываться выбросоопасный пласт h_6^1 Смоляниновский (1). В числе способов предотвращения выбросов угля и газа при вскрытиях находится способ вскрытия на заранее пройденную выработку [3], который и был применён шахтостроителями. Проведение гезенка 3 и наклонной выработки 4 производилось сотрясательным взрыванием и выбросами угля и газа не сопровождалось. Однако взрывание в полевой выработке зарядов шпуров длиной всего 1,6 м. (рис.

2.5.) сопровождалось выбросом песчаника и газа снизу (6), из выбросоопасного слоя, расположенного несколько ниже подошвы штрека. Разрушенный выбросом песчаник заполнил штрек на протяжении примерно 5 м. на полное сечение (5 на рис. 2.5.)

2.3.3. И завершая характеристику особенностей выбросов песчаников как подтверждающую ранее сформулированное понятие выброса угля (породы) и газа, доказывающее общность природы выбросов угля и породы, вернёмся ещё к двум положениям формулировки выброса: причудливость формы полости, образованной выбросом, и образование бешеной муки, но теперь уже серого цвета.

Причудливость формы полости, образованной выбросами породы достаточно полно была показана ещё более тридцати лет тому назад (рисунки 3, 5, 6, 10 и др.) во впервые изданной в СССР монографии по проблеме выбросов песчаников [9]. В ней же констатируется и разрушение песчаника до состояния

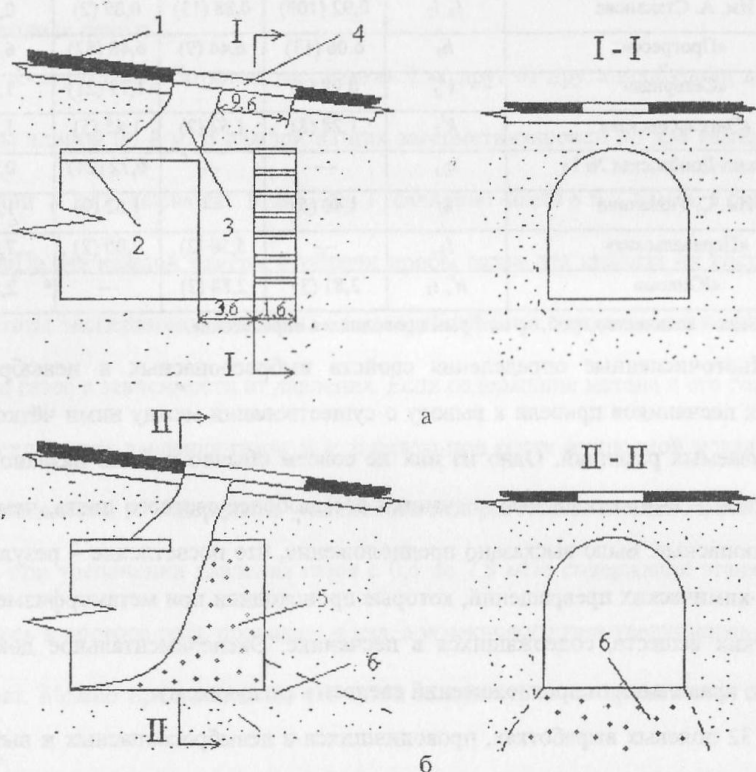


Рис. 2.5. Эскиз места выброса песчаника и газа, происшедшего 28.08.68 г. на шахте № 23 ПО Донецкуголь после вскрытия пласта Смоляниновского: а и б – положение забоев до и после выброса песчаника и газа.

мелкого песка. Вновь приводить их из-за ограниченности объёма монографии не видим смысла.

2.4. Природа зависимости склонности осадочных пород к деформациям обратной ползучести от степени метаморфизма органики. Одновременно с приведёнными в 2.3.1. результатами опытов аналогичные измерения были выполнены по пробам угольных включений, отобраным в алевролитах и аргиллитах [7]. Анализ результатов измерений позволил установить увеличение отражательной способности, а следовательно, и степени метаморфизма угольных включений в ряду угольный пласт–аргиллит–алевролит–песчаник. (табл. 2.1.).

Таблица 2.1.*

Шахта	Пласт	Песчаник	Алевро-лит	Аргил-лит	Пласт угля
Им. А.А. Скочинского	h_6^I	0,97 (133)	—	—	1,09
Октябрьский рудник	m_1	0,80 (172)	0,93 (26)	0,93 (73)	0,94
Им. А. Стаханова	l_3, l_7	0,92 (109)	0,88 (13)	0,89 (2)	0,96
«Прогресс»	h_8	6,06 (13)	6,44 (9)	6,48 (82)	6,81
«Северная»	k_2^I	0,98 (3)	—	1,19 (21)	1,11
«Энгельсовская»	k_2^2	1,28 (8)	1,52 (2)	1,45 (5)	1,72
«Южно-Донбасская № 1»	c_{11}	—	—	0,72 (24)	0,70
Им. С. Тюленина	k_2	1,40 (5)	—	1,52 (2)	1,57
«Перевальская»	l_3	—	5,56 (2)	7,00 (2)	7,00
«Юнком»	h^3, i_2	2,81 (3)	2,88 (2)	—	2,94

* — в скобках — количество проб, по которым проводилось определение.

Многочисленные определения свойств выбросоопасных и невыбросоопасных песчаников привели к выводу о существовании между ними чётко устанавливаемых различий. Одно из них не совсем обычно и было названо посветлением — выбросоопасные песчаники всегда более светлого цвета, чем невыбросоопасные. Было высказано предположение, что посветление — результат физико-химических превращений, которые происходили при метаморфизме органических веществ, содержащихся в песчанике. Экспериментальное доказательство правильности предположений свелось к следующему.

В 32 полевых выработках, проводившихся в невыбросоопасных и выбросоопасных пластах песчаников на шахтах им. А.А. Скочинского, им. Артёма, были отобраны пробы пород. Количество углистого вещества в них оценивалось по содержанию в песчанике углерода.

Среднее содержание углерода в углистом веществе невыбросоопасных песчаников составило 0,8% и было в 2,7 раза больше, чем в выбросоопасных (0,3%). Можно предположить, что это объясняется условиями седиментации, а также вторичными процессами.

Акад. И.М. Губкин отмечал, что бурая и красная окраски пород под влиянием углеводородов могут исчезать, так как окисленные формы железа восстанавливаются до закисных, имеющих зеленовато-серый цвет.

Одна из особенностей выбросоопасных песчаников, многократно доказанная как опытом ведения горных работ (выбросами породы и газа), так и шахтными экспериментами, заключается в том, что в пустотности песчаников содержится метан, этан, пропан и другие компоненты, естественное состояние которых – газообразное. Их состав и количество на различных участках шахтопласта песчаника не одинаковы. Хорошим доказательством правильности утверждений является эксперимент, выполненный на шахте им. А.А. Скочинского (восточная панель).

В стенку выработки на расстоянии 1 м. друг от друга пробурили две скважины длиной по 8 м. В каждой из них загерметизировали по две камеры и измерили в них давление: в скв. № 1 давление было 8 и 2,2 мПа, в скв. № 2-4 и 6 мПа. Из каждой камеры отобрали пробы газов для анализа их состава. Результаты эксперимента доказывают по крайней мере тенденцию изменения состава газов в зависимости от давления. Если содержание метана и его гомологов с увеличением давления газов, т. е. в целом при росте природной метаноносности, снижается, то содержание углекислого газа растёт значительно интенсивнее. Так, при увеличении давления газов с 0,6 до 7,8 мПа содержание этана уменьшилось в полтора раза, пропана – в два, а углекислого газа увеличилось почти в 13 раз. Можно предположить, что такая закономерность проявляется повсеместно.

Были выполнены химические анализы песчаников выбросоопасных и невыбросоопасных пластов, залегающих в районах разработки углей разных ма-

рок (табл. 2.2.). При анализе результатов обращали внимание не на абсолютные значения содержания окисных (потенциально имеющих возможность восстанавливаться) и закисных (будем считать, полученных в результате взаимодействия с метаном) форм железа, а на их соотношение, в том числе и на изменения соотношений в зависимости от увеличения степени катагенеза.

Таблица 2.2.

Марка Угля	Степень опасности слоя	Количество проб *	Среднее содержание, % на сухое вещество			
			FeO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃
Д – Г	I – невыбросоопасный	75/15	2,16	2,1	1,0	0,50
	II – выбросоопасный	21/11	0,51	1,4	0,5	0,24
	Отношение I/II	—	4,2	1,5	2,0	2,1
Ж – К	I – невыбросоопасный	10/9	4,9	1,6	0,77	0,47
	II – выбросоопасный	11/9	0,74	0,86	0,13	0,25
	Отношение I/II	—	6,0	1,93	5,9	1,9
А	I – невыбросоопасный	42	2,7	0,13	0,87	0,16
	II – выбросоопасный	39	2,2	0,15	0,65	0,15
	Отношение I/II	—	1,2	0,9	1,3	1,1

* Содержание FeO определялось не по всем пробам. В знаменателе – число проб, по которым определялись все компоненты, в том числе и FeO, в числителе – общее число проб.

Для углей марок Д – Г отношение окисных и закисных форм железа, определённых для невыбросоопасных и выбросоопасных песчаников, составило 4,2 и 1,5, а для углей марок Ж и К – 6,0 и 1,93 при практически неизменном содержании обеих форм оксида железа. Следует обратить внимание на то, что факт более интенсивного восстановления закисных форм железа в песчаниках районов залегания углей марок Ж и К совпадает с ранее установленным фактом значительного отличия физико-механических свойств выбросоопасных песчаников от свойств невыбросоопасных песчаников, залегающих в районах разработки углей других марок.

В табл. 2.2. песчаники районов развития антрацитов разделены на светлые и тёмные, поскольку посветление – один из признаков выбросоопасности песчаников. Но в районах разработки антрацитов выбросы породы и газа не происходили. Для объяснения этого факта отобрали пробы песчаников в одних и тех

же слоях на участках обычного. характерного для него цвета, и на участках по-
светления. Полагали, что посветление здесь – это «остаточные явления» от того
посветления, которое в районах разработки углей марок Г – Ж – К являлось
признаком выбросоопасности. При этом выбирались такие слои песчаников, в
которых при проведении выработок в других районах Донбасса (угли марок Г –
К) выбросы породы и газа не происходили.

Для песчаников, залегающих в районах разработки антрацитов, соотноше-
ние окисных и закисных форм железа составило 1,2 и 0,9, т. е. различие оказа-
лось незначительным. Однако мы обратили внимание на то, что изменение от-
ношения содержания в невыбросоопасных и выбросоопасных песчаниках, на-
пример, окисных, закисных форм железа, оксидов магния по мере перехода уг-
лей марок Д – Г к марке А – очевидно, но и своеобразно. Для оксидных форм
железа, как и для других названных в примере оксидов, от углей марок Д – Г к
углям марок Ж – К – это увеличение с 4,2 до 6,0, но от марок Ж – К к марке А –
снижение с 6,0 до 1,2.

Это навело на мысль проследить характер анализируемых отношений не
по отдельным химическим соединениям, а для всех в среднем. Исходили из то-
го; что, во-первых, сравнение средних величин всегда надёжней, чем частных, и
во-вторых, что семь химических соединений более надёжно позволяют оценить
общую направленность превращений, чем каждое отдельно взятое. Но не забы-
вая, что осреднение может «скрыть» наиболее представительные превращения,
мы рискнули прибегнуть к нему потому, что о направленности химических ре-
акций, происходящих в процессе метаморфизма, имеются лишь самые общие
предположения.

По данным табл. 2.2. для тех групп марок углей (Д – Г; Ж – К и А) рассчи-
тали среднее значение отношений семи компонентов, определённых для выбро-
соопасных и невыбросоопасных песчаников. Для районов разработки углей ма-
рок Д – Г оно составило 2,0, марок Ж – К 2,9, а для антрацитов 1,1.

Полученный результат обязывал ещё раз более внимательно оценить ди-
намику изменения содержания каждого химического соединения по мере роста
степени метаморфизма углей тех районов, где отбирались пробы песчаников.

Оказалось, что изменение содержания трёх из семи химических соедине-
ний Al_2O_3 , CaO , $C_{орг}$ никак не определяется изменением степени метаморфизма
углей. Но зато по оставшимся четырём химическим соединениям изменения со-

вершенно очевидны: рост их содержания от марки углей Д – Г к маркам Ж – К с 2,1 до 3,9 и снижение от марки Ж – К к А – с 3,9 до 1,1. Следовательно, изменение отношений рассматриваемых химических соединений носит как бы возвратно-поступательный характер – сначала растёт, а потом уменьшается.

Полученные результаты вполне доказательно позволяют утверждать, что формирование угленосной толщи, погружавшейся на различные глубины, происходило не только за счёт уплотнения пород под действием горного давления (трёхосного сжатия), но и за счёт физико-химических превращений исходного органического материала.

Представляет значительный интерес как частный случай проблемы в целом направленность физико-химических превращений песчаников, в пустотности (пористости) которых содержались углеводороды (метан и его гомологи). Глубина погружения, определившая степень метаморфизма органических остатков, на этапе перехода от формирования углей марки Г к углям марок Ж – К обусловила увеличение различий между песчаниками, содержащими в пустотности углеводороды и не содержащими их. Но на следующем этапе перехода от угля марки К к углям марок ОС – Т различие это уменьшалось. В районах залегания антрацитов различий практически нет.

Рассматривая связь изменений описанных отношений с выбросоопасностью, отметим следующие положения. Первый этап (переход от районов залегания углей марки Г к районам залегания углей марок Ж – К) – это увеличение вероятности возникновения и силы выбросов породы и газа в связи с тем, что именно на этом этапе метаморфизма рост природной метаносности особенно значителен.

Второй этап (переход от районов залегания углей марки К к районам залегания углей марок ОС – Т) – уменьшение вероятности возникновения и силы выбросов породы и газа до нулевой, т. е. прекращение выбросов породы и газа. Процесс этот, так же как и для угольных пластов, объясняется тем, что теперь метаморфизм сопровождается расходом метана и его гомологов.

Ранее неоднократно производились ссылки [6, 7 и др.] на зависимость прочности угля по копру от степени его метаморфизма. Прочность от 600 у. е. (условных единиц) при $V^{\text{daf}} = 45\%$ уменьшается до примерно 120 у. е. при $V^{\text{daf}} = 27\%$, а затем вновь возрастает от $V^{\text{daf}} = 17\%$ до $V^{\text{daf}} = 0\%$, достигая 880 у. е., т. е. увеличиваясь почти в 7,3 раза. Но во всех использовавшихся разновидностях

пород всегда есть органика, влияние которой на их прочность несомненно. Поэтому можно полагать, что и изменение прочности осадочных пород при увеличении степени метаморфизма углей должно соответствовать аналогичной или близкой к ней зависимости.

Имеет несомненное научное и практическое значение рассмотрение вопроса о зависимости прочностных и деформационных свойств горных пород, особенно аргиллитов и алевролитов от степени метаморфизма угля, который они вмещают. Подобные исследования ранее вполне успешно и достаточно интенсивно выполнялись в шестидесятые – семидесятые годы в Украине, особенно институтами ДонУГИ (Б.П. Овчаренко), ДПИ (Б.А. Лысыков) и трестом Артёмгеология (В.Л. Сержевский). Методика испытаний во всех случаях была идентичной: по образцам определялись прочностные и физико-механические свойства пород, залегающих в различных геолого-промышленных районах, где разрабатываются угли разных марок.

Однако в последние 6 – 8 лет ДонГТУ развивает новые представления о природе разрушения осадочного массива, вмещающего выработку, в основе которых находится склонность пород к деформациям обратной ползучести. Такие представления приводят к необходимости поиска природной зависимости склонности к деформациям обратной ползучести осадочных пород от степени метаморфизма угля, который они вмещают. Она особенно актуальна для аргиллитов и алевролитов, ибо сохранение устойчивости выработок, пройденных в этих породах, представляет значительные сложности.

Подводя итоги изложению раздела, считаем возможным сделать вывод о том, что природу выбросоопасности вполне можно отнести к достаточно полно изученной и описанной. В ближайшие 15 – 20 лет навряд ли окажутся необходимыми какие-либо дополнительные серьёзные исследования.

С удовлетворением можно констатировать, что удалось подтвердить давнее и принципиально правильное мнение общего плана о совокупности в формировании потенциальной выбросоопасности двух факторов: физико-механических свойств газоносных массивов ($ФМ_2$) и горного давления. Но одновременно из изложенного совершенно очевидно следует, что совокупность эта совершенно разноплановая. В частности, $ФМ_2$ закономерно определяет

ся степенью метаморфизма углей и совсем далеко не всегда зависят от глубины разработки.

Небольшая глубина разработки (до 400 м.) может характеризовать зону газового выветривания, в которой из-за естественной (природной) дегазации и из-за практического отсутствия газоносности (до $2 \text{ м}^3/\text{т.с.б.м.}$) выбросы угля (породы) и газа становятся невозможными. Не бесспорной остаётся идея о вырождении выбросоопасности на больших глубинах [5, 6, 7].

Самым главным результатом раздела 2 является доказательство природы отсутствия фильтрационной связи между отдельными участками выбросоопасного пласта и, как следствие, локальности выбросоопасности. Последняя представляет собой самое основное, наиболее характерное свойство выбросоопасного шахтопласта. Два важнейших следствия этого свойства, имеющих диаметрально противоположные значения, являются основными.

Первое. Локальность выбросоопасности, учитывающая, что реально выбросоопасные участки по площади шахтопласта не превышают 1%, может рассматриваться как своеобразный подарок природы. Она определяет основную направленность исследований по прогнозу выбросоопасности призабойной части пласта для создания высоконадежных способов прогноза – способов оценки выбросоопасности. В этом её несомненное положительное значение.

Второе. На практике нередки случаи, когда предусмотренные паспортами способы прогноза выбросоопасности или предотвращения выбросов иногда, нередко, а порой даже постоянно не применяют. После какого-то числа таких случаев выбросы угля и газа из-за локальности выбросоопасности не происходят. Но в сознании рабочих, ИТР, невыполняющих предусмотренные паспортами мероприятия или знающих о таких невыполнениях, но не понимающих природу локальности выбросоопасности, возникает и растёт убеждение в том, что выбросы – это выдумки МакНИИ и горнотехнической инспекции. У наиболее грамотной части нарушителей могут возникать мысли, что вообще где-то они есть, но только не на нашей шахте, не в нашей выработке, ибо никакие специальные мероприятия мы не выполняем, а выбросы угля и газа не происходят. В этом её второе, приводящее к снижению производственной дисциплины отрицательное значение. Лицами надзора, контролирующими организаций такие «настроения» должны самым решительным образом постоянно выкорчёвываться.

3. Механизм выбросов

В соответствии со схемой рис. 2.1. научной основой создания способов предотвращения выбросов угля (породы) и газа является знание и понимание того, что и как приводит к зарождению – возникновению выброса, как этот процесс разрушения происходит, продолжается, а затем и как он прекращается. Кратко эта сумма знаний получила название, вынесенное в заголовок, которое и далее для краткости будем называть механизмом выброса.

3.1. Изменения во времени представлений механизма выбросов. Первые представления о механизме выбросов угля и газа ещё в начале XX века были заимствованы в тех странах (Франция, Бельгия, Германия), в которых проблема выбросов была изучена наиболее глубоко. Считалось, что выброс зарождается в глубине угольного массива, откуда газом горная масса выбрасывается в выработки. Профессор Биленко В.Л. представлял механизм выброса, принятый в европейских странах, следующим образом: «Классическим примером внезапного выделения газа может служить катастрофа, происшедшая в Фрамери (Бельгия) в 1879 г. Во время этой катастрофы погибло 121 чел. Газ вырвался из глубины около 300 м., совершенно разрушил угольный забой и, вызвав бурное движение воздуха, выделился на поверхность. В этом случае газ на поверхности воспламенился в результате чего возник взрыв» [с. 3, 1]. Такое представление сохранялось практически неизменным продолжительное время - до начала пятидесятых годов.

В начале пятидесятых годов акад. С.А. Христиановичем было выполнено математическое описание принципиально нового представления механизма выбросов угля и газа, сущность которого в несколько упрощённом изложении кратко сводилась к следующему

Основная предпосылка при решении задач и заключалась в том, что впереди любого движущегося забоя под действием горного давления возникают (прорастают) микротрещины, параллельные забою. Из угля стенок микротрещины в неё выделяется (десорбируется) газ и оказывается в микротрещине. Количество газа в ней увеличивается, создаётся какое-то давление. Если энергия газа достигнет предельных значений, достаточных для отрыва пластины угля, находящейся между забоем выработки и микротрещиной, произойдёт отрыв

пластины. Он будет сопровождаться возникновением новой микротрещины, выделением в неё газа и т. д. Выброс угля и газа может прекращаться в том случае, если после образования очередной микротрещины запасы энергии сжатого газа окажутся меньше предельных.

Два важнейших положения характеризуют описываемое новое представление:

- выброс угля и газа возникает не в глубине массива, а в непосредственной близости от забоя выработки;
- выброс – это разрушение газоносного угля, возникающее при выемке в забое выработки и представляющее последовательный отрыв пластин угля, распространяющийся от забоя выработки в глубину массива, т. е. не мгновенное разрушение, а протекающее во времени, временное.

Сотрудниками ИГД (они развивали т. н. энергетическую теорию выбросов) механизм выброса был представлен почти дословно так: существующая вблизи выработки в массиве горных пород концентрация напряжений может привести в результате действия на забой к внезапному разрушению призабойной части пласта. При условии сообщения зоны разрушающегося угля с атмосферой выработки из измельчённого угля происходит быстрая десорбция находящегося там газа, который, устремляясь в сторону пониженного давления, увлекает за собой угольную мелочь. При наличии достаточно большой зоны раздавленного угля десорбирующийся и расширяющийся газ в состоянии отбросить разрушенный уголь на значительное расстояние.

Такое представление позволяет акцентировать внимание на двух положениях: утверждение того, что разрушается призабойная часть пласта до области концентрации напряжений, в сущности совпадает с представлениями о выбросе из глубины массива. Остаётся непонятным, как быть с формулировкой механизма выбросов в подготовительных выработках., впереди которых нет концентрации напряжений, но в которых происходит большинство выбросов.

«Поочерёдность» роли горного давления (сначала разрушение угля) и газового фактора (вынос разрушенного угля) противоречит природе разрушения, тезису А.А. Скочинского о совместности воздействия этих факторов и утверждению сторонников энергетической теории, что они будто развивают взгляды А.А. Скочинского.

Два выделенных нами положения механизма выбросов С.А. Христиановича очевидны только сейчас с позиции понимания современного состояния познания проблемы выбросов. В пятидесятые годы многие, в том числе акад. Скочинский А.А. считали их необоснованными. Примерно через 20 – 25 лет названные положения в явном или неявном виде принимаются ведущими специалистами – сотрудниками ИГД им. Скочинского, ВНИМИ, ИГТМ НАН Украины, ВостНИИ и др.

МакНИИ (В.И. Николин), считая неточными представления как акад. С.А. Христиановича, так и ИГД, сформулировал механизм выбросов, имея в виду теперь уже и выбросы песчаников, иначе. Утверждалось, что перераспределение напряжений, вызываемое внедрением в газоносный горный массив – образованием своеобразной полости (выемки), сопровождается деформированием призабойной его части в направлении проведенной полости. Величина деформаций упругого восстановления, упругого последствия и обратной ползучести, по своей природе являющихся деформациями растяжения, в выбросоопасной зоне может привести к самопроизвольному (самоподдерживающемуся) разрушению призабойной части пласта. Разрушение послойно-лавинообразное: отрыв каждого слоя вызывает новое перераспределение напряжений, новое разрушение, которое прекращается или вследствие того, что величина деформаций растяжения окажется недостаточной для дальнейшего разрушения, или потому, что выброшенная горная масса сыграет роль своеобразной перемычки, не допускающей дальнейшего увеличения в объеме разрушающегося массива, без чего разрушение невозможно.

Метан, содержащийся в поровом объеме угольного (породного) массива, увеличивает склонность угля (песчаника) к разрушению при разгрузке. Выделяясь из разрушенного угля (песчаника), он совершает часть работы по отбросу и работу по транспортированию горной массы по выработкам. Транспортирование сопровождается дальнейшим измельчением угля и образованием дополнительных объемов «бешеной муки».

Самоподдерживающееся разрушение в выбросоопасных зонах возможно лишь в случаях, когда внедрение в газоносный массив (выемка, бурение и прочее нарушение его целостности) производится на величину большую безопасной глубины выемки, где оно и зарождается.

Принципиальность отличия сформулированного МакНИИ представления о механизме выбросов от высказанных ранее заключается в том, что оно учитывает как особенности формирования осадочного угленосного массива, так и обусловленные ими особенности разрушения такого массива, в том числе его

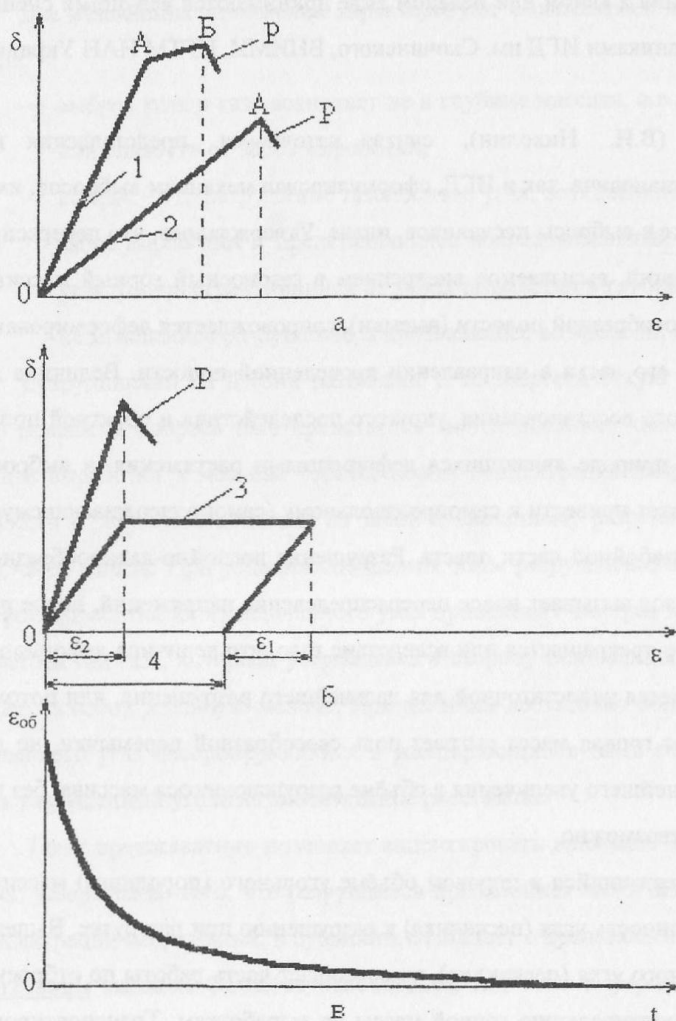


Рис. 3.1. Деформирование образцов упругих тел и осадочных пород при мгновенных нагружениях до разрушения, при длительных нагружениях и после разгрузки: $\epsilon_{об}$ – деформации обратной ползучести; t – время, прошедшее после разгрузки.

призобойной части. Эти вопросы в течение многих лет изучались ДонГТУ совместно с МакНИИ. Основные результаты исследований сводятся к следующим.

3.2. Некоторые особенности свойств образцов осадочных горных пород.

Первая особенность. Обычный (классический) график зависимости относительных деформаций (ϵ) от напряжений (δ), получаемый при определении прочности большой группы широко используемых на практике материалов и названных упругими, показан на рис. 3.1., а. Прямолинейная зависимость 1 между двумя названными величинами, завершающаяся в точке А, соответствует закону Гука и достижению предела упругости. Отрезок АВ соответствует площадке текучести, которая предшествует разрушению Р образца, изготовленного из упругого материала.

Образцы большинства осадочных пород (за исключением отдельных глинистых разностей) ведут себя в соответствии с зависимостью 2 на рис. 3.1., а. Предел упругости практически полностью совпадает с пределом прочности, а разрушению Р образование площадки текучести не предшествует.

Вторая особенность. Пластическое деформирование упругих материалов имеет место после достижения предела упругости (АВ на рис. 3.1., а). Принципиальное отличие от них поведения образцов осадочных пород заключается в том, что пластическое деформирование (деформации ползучести) имеет место при напряжениях меньших, чем предельные (рис. 3.1., б). Особенностью деформаций ползучести (3 на рис. 3.1., б) является то, что при разгрузке они сохраняются (4 на рис. 3.1., б). Деформации упругого восстановления (ϵ_1 , на рис. 3.1., б), происходящие практически мгновенно, равны упругим деформациям ϵ_2 , имевшим место при нагружении. Деформации ползучести восстанавливаются в течение периода времени, примерно равному тому, во время которого они произошли под нагрузкой, и называются теперь деформациями обратной ползучести ($\epsilon_{об}$, на рис. 3.1., в).

Осадочные горные породы отличаются от классических упругих тел разносопротивляемостью напряжениям сжатия и растяжения (третья особенность), которая в направлении перпендикулярном наложению всегда значительно больше, чем по наложению. Для критериальной оценки этого свойства можно использовать предложенный нами ранее численный показатель хрупкости X_n , рассчитываемый по формуле:

$$X_n = \frac{\delta_{сж}}{\delta_p}, \quad (3.1.)$$

где $\delta_{сж}$ и δ_p — предел прочности сжатию и растяжению.

Пределы прочности сжатию и растяжению, определённые перпендикулярно наслоению и параллельно ему, отличаются не очень значительно, чаще всего не более чем на 20 – 25%. Различие по пределу прочности растяжению более существенно и в среднем составляет примерно 1,5 раза. Показатель хрупкости, рассчитанный по (3.1.), изменяется в широком диапазоне, но почти никогда для песчаников не бывает менее 10.

Природа перечисленных особенностей хорошо объясняется формированием (см. раздел 1) осадочного массива, для которого состояние трёхосного сжатия было естественным, «привычным». Именно оно и обусловило как принципиальную особенность разрушения части осадочного массива, вмещающего горные выработки, так и разрушения образцов горных пород.

Факт разрушения образцов горных пород в момент разгрузки, а не при увеличении напряжений в начале 1940-х годов был впервые случайно обнаружен П.В. Бриджменом.

Испытывались образцы – цилиндры различных материалов, в том числе стекла в установках, позволяющих создавать трёхосное напряжённое состояние. Соотношение напряжений кармановское: $\delta_z > \delta_x = \delta_y$.

Основной смысл экспериментов заключался в исследовании деформационных возможностей различных материалов при трёхосном сжатии. После записи деформаций ползучести в течение определённого времени испытания завершались. Совершенно неожиданно при извлечении из установки очередного образца было обнаружено, что стекло не разорвалось, а распалось на несколько дисков. Опыты повторили, и ещё дважды констатировалось, что оставшаяся после разрыва часть стекла была разделена большим количеством тонких трещин на диски, ещё слегка связанные между собой. Было очевидно, что «диски» – трещины могли образовываться только после окончания испытаний образцов, т. е. после разгрузки.

При обсуждении результатов экспериментов П.В. Бриджмен подчеркнул, что «разрыв при снятии, а не приложении напряжения представляет собой парадоксальное явление», которое пока никак не может быть объяснено. Необходимо отметить, что этот случайно обнаруженный феномен разрушения продолжительное время оставался без внимания специалистов. Более чем через 20 лет эксперименты на установках для трёхосного сжатия в целях определения зависимости размеров пластических деформаций от напряжённости выполняли

Г.Д. Бузер, К.Х. Хиллер, С. Серденгекти. Испытывались образцы пяти разновидностей нефтеносных пород Индианы. Соотношение компонентов напряжений соответствовало использовавшемуся П. Бриджменом.

Запись пластических деформаций позволяла не только измерять их величину, но и контролировать разрушение. Неожиданно в очередной серии испытаний, когда нагрузка до разрушения не сохранялась, экспериментаторы обнаружили разделение цилиндров при разгрузке на «вафлеобразные пластины», плоскости которых были перпендикулярны оси максимальных сжимающих напряжений. Вот тогда и вспомнили, что подобное разрушение впервые обнаружил П.Бриджмен.

При исследовании природы разрушения осадочного горного массива особое значение имеют два полученных в обсуждаемых экспериментах результата.

При $\delta_x = \delta_y = 7$ МПа образцы известняка из Индианы при трёхосном сжатии разрушались хрупко. При $\delta_x = \delta_y = 21$ МПа диаграммы напряжения-деформации показывают более пластичный тип разрушения. Некоторые образцы деформировались до 10% без полной потери сцепления. Но разделение на вафлеобразные пластины при разгрузке не происходило. При $\delta_x = \delta_y = 35$ МПа образцы деформировались без потери сцепления, имело место деформационное упрочнение. Некоторые образцы расслоились после разгрузки на тонкие диски, перпендикулярные оси максимальных сжимающих напряжений. Со ссылкой на П.В.Бриджмена экспериментаторы констатировали, что разрушение этого типа возникает в процессе снятия напряжений.

Следовательно можно отметить, что трёхосное сжатие образцов горных пород, если компоненты его значительны и приводят к неупругому деформированию, обуславливает приобретение нового свойства – способность разрушаться при разгрузке, после разгрузки.

3.3. Особенности разрушения осадочного массива при разгрузке. Весьма своеобразным и в какой-то степени неожиданным доказательством правильности представления о разрушении горных пород при разгрузке является разделение кернов на диски при бурении скважин в выбросоопасных пластах.

Сам факт разрушения кернов на диски при бурении скважин в песчаниках очень необычен и потому интересен. Он довольно детально изучался как в Украине, так и за рубежом. У нас особенный интерес вызвала не столь необычность

разрушения, которая в естественных условиях отражает своеобразие формирования горных массивов и их особых свойств, сколько стремление понять, объяснить это явление, чтобы использовать в практических целях. В дальнейшем был разработан, стал нормативным и широко применяется способ прогноза степени выбросоопасности песчаников, основанный на разделении кернов на диски при бурении скважин в направлении проведения полевых выработок [2, 3].

Принципиально важно то, что в лабораторных условиях была доказана, а в натурных условиях подтверждена реальность разрушения кернов на диски при бурении скважин в различных породах (пять разновидностей) только при достижении определённого уровня напряжённости, обуславливающей достаточно значительный уровень деформаций ползучести. По сути эти факты доказали, что случайно обнаруженное ранее разрушение при разгрузке образцов горных пород, находившихся продолжительное время в состоянии трёхосного сжатия, - это отражение природных особенностей разрушения осадочного горного массива.

Резюмируя изложенное с учётом публикаций последних лет [6] вполне можно утверждать, что к началу девяностых годов была вскрыта природа особенностей разрушения осадочного угленосного массива, вмещавшего горные выработки, - разрушение от разгрузки, сопровождавшейся деформациями упругого последействия и обратной ползучести. Вопросы эти, по нашему мнению, имеют громадное научное и практическое, но совершенно ещё и самостоятельное - кроме проблемы выбросов - значение. Однако, если вернуться к рассмотрению механизма выбросов, то следует констатировать, что пока остаётся недостаточно чётко определённой двоякая роль метана в процессе разрушения угля (породы) во время выброса.

3.4. Сущность влияния природной газоносности на возникновение и протекание выбросов. С позиции изложенных в разделе 2 представлений о природе выбросоопасности можно удовлетворительно объяснить сущность прекращения деформаций сближения пород кровли и почвы пласта в лавах перед выбросами. Но одновременно с этим следует констатировать, что на таких участках уменьшение деформационной способности угля при сжатии приведёт к существенному росту разносопротивляемости угольного пласта - деформациям сжатия и растяжения. Можно полагать, что показатель хрупкости по (3.1.) возрастет не

менее чем в несколько раз, что так же значительно увеличит склонность угля (породы) к разрушению при разгрузке – выбросу породы и газа.

В связи с изложенным рассмотрим результаты фундаментальных исследований металловедов, направленность которых кратко можно назвать как «водород в металлах». По наиболее принципиальным (в научном и практическом плане) выводам исследований можно констатировать просто удивительное совпадение с тем, как мы оцениваем сущность влияния метаноносности на склонность к выбросоопасности, а металловеды – к охрупчиванию металлов при наличии в них водорода.

Во-первых, было доказано, что наличие водорода в металлах приводит к их охрупчиванию. Под ним понимается не изменение прочностных и деформационных свойств металлов при мгновенных испытаниях, а их изменения при длительных сроках службы. У нас это показатель хрупкости углей, миллионы лет находившихся в состоянии трёхосного сжатия.

Во-вторых, охрупчивание имеет место не при любом содержании водорода в металлах, а только после достижения какого-то минимального необходимого уровня. У нас это минимальный (критический) уровень природной газонасности, определяющий отнесение шахтопласта к угрожаемому.

Роль газа в транспортировании разрушенного угля (породы) по выработкам относим ко второй разновидности двоякости роли газа. Выполненные в течение примерно 10 последних лет исследования ДонГТУ позволили вскрыть следующие особенности газо-угольных потоков, возникающих при выбросах.

Очевидно, что если в процессе зарождения и развития выброса весь разрушенный уголь будет выноситься от забоя выработки бесконечно далеко, создадутся благоприятные условия для дальнейшего развития выброса, ибо исключается эффект самоподбучивания как разрушенным углём, так и газом, выделяющимся из него и сосредотачивающимся в призабойной части выработки.

Ближайшим аналогом процесса переноса газом разрушенного угля по выработке, особенно очевидного для выбросов значительной силы, может служить пневмотранспорт угля по трубам. Однако отличительной особенностью транспортирования разрушенного угля по выработке во время выброса являются следующие процессы.

В реальном потоке разрушенный до мелких фракций уголь переходит в псевдоожиженное (газовзвешенное) состояние за счёт интенсивного временного

(немгновенного) выделения газа из каждой частички угля. Такое утверждение требует более детального рассмотрения как сущности процесса псевдооживления, так и вопроса о продолжительности выделения метана из разрушенного до мельчайших фракций угля.

Если в вертикальную трубу 1 (рис. 3.2.) на решётку 2 через патрубок 4 сыпать зернистый материал 3, то он ляжет плотным слоем. Поверхность слоя 6 будет наклонена под углом естественного откоса α . При подаче через решётку 2 восходящего потока газа с постепенно увеличивающейся скоростью засыпанный материал будет оставаться неподвижным, а его сопротивление будет расти по мере увеличения скорости газа. Когда сила сопротивления фильтрации сравняется с массой слоя, дальнейший рост гидравлического сопротивления прекратится, а увеличение скорости потока газа приведёт к расширению слоя. Наступит так называемый предел устойчивости плотного слоя и переход его в псевдооживлённое состояние. Слой начнёт взвешиваться, расширяться, сцепление и

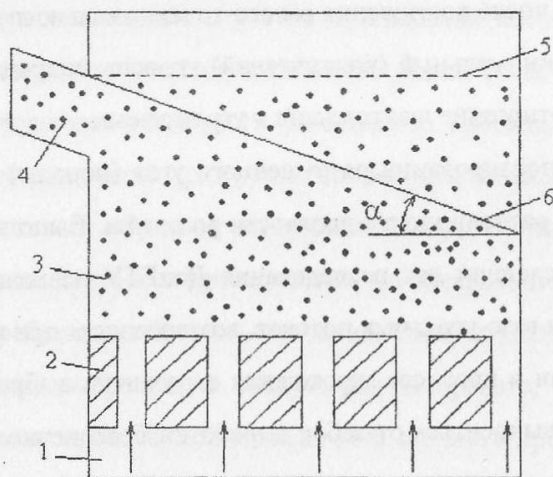


Рис. 3.2. Модель перевода зернистого материала из насыпного состояния в псевдооживлённое (газовзвешенное): 1 - вертикальная труба; 2 - горизонтальная решётка; 3, 5 - зернистый материал и поверхность его после перехода в псевдооживлённое состояние; 4 - патрубок; 6 - поверхность слоя, расположенного под углом α естественного откоса зернистого состояния.

плотное прилегание частиц друг к другу прекратится, они приобретут подвижность. Поверхность слоя выровняется (5), станет подобной поверхности жидкости, а если в стенке, ограничивающей слой, сделать отверстие, то через него будет вытекать струя материала. Отсюда и название слоя – псевдооживлённый. При дальнейшем увеличении скорости газа, проходящего через псевдооживлённый

ный слой, будут прорываться газовые пузыри, слой начнёт интенсивно перемешиваться и бурлить, уподобляться кипящей жидкости. Ещё увеличивая скорость газа, можно достичь выноса частиц из трубы. Псевдоожиженный слой перейдёт в уносимый потоком слой.

Для переноса описанных процессов в горные выработки необходимо рассмотреть продолжительность выделения метана из разрушенного угля.

В пятидесятые – шестидесятые годы господствовало такое мнение, что при разрушении угля до мелких фракций (10^{-4} – $8 \cdot 10^{-3}$ м.) выделение газа из него происходит практически мгновенно. Однако экспериментальные работы, выполненные ИГД им. А.А. Сковинского (М.Ф. Яновская, Ю.Е. Премыслер), не подтверждают эту точку зрения. Было установлено, что выделение газа из разрушенного угля зависит от его свойств и происходит во времени. Из построенных названными сотрудниками номограмм следует, что продолжительность газовыделения из угольных частиц составляет 60 – 120 с., что превышает продолжительность подавляющего большинства выбросов угля и газа. Следовательно, аналогия с формированием газовых потоков в горных выработках вполне допустима.

В выработке при выбросе уже в начальный момент из частиц разрушенного угля выделяется газ. Из каждой новой «порции» разрушенного угля выделяются новые порции метана и одновременно продолжается выделение газа из ранее разрушенного угля. За счёт работы выделяющегося газа разрушенная масса угля расширяется, превращается в псевдоожиженную, а т. к. движение её в створу массива невозможно, то создаётся поток, который и выносится по выработкам.

Необходимо обратить внимание на то, что турбулентность газоугольного псевдоожиженного потока просто невероятна. Её «невероятность» доказывает, например, выброс, происшедший на шахте им. К. Маркса 29.11.86 г. при вымывании скважины агрегатом КГБ (комплексом безплодным гидравлическим), интенсивность которого ориентировочно составила 2000 т. Громадную энергию псевдоожиженного газоугольного потока доказывает направленность его передвижения [6]. Разрушенный уголь выбрасывался из скважины, которая бурилась в направлении восстания пласта из промквершлага, т. е. почти под прямым углом к подошве промквершлага. Затем газоугольный поток перемещался под прямым углом к стенке полевого штрека. Отразившись от неё, вновь под пря-

мым углом перемещался по полевому штреку в двух направлениях: в сторону забоя полевого штрека и по полевому штреку в направлении главного квершлага. Вагонетки по полевому штреку от промквершлага были отброшены на 100 -- 120 м. На торцевой части одной из вагонеток образовалась вмятина глубиной примерно 0,5 м., платформа другой вагонетки лопнула. На левой, если смотреть на забой промквершлага, стенке на расстоянии 3,5 м. от его сопряжения с полевым штреком на высоте около двух метров висела крышка самоспасателя, в которой находился журнал для записей. После такого мощного выброса угля и газа крышка с журналом осталась на месте.

Таким образом, механизм выброса угля (породы) и газа может быть сформулирован следующим образом. Во время отбойки угля (породы) имеет место перераспределение напряжений, сопровождающееся деформациями упругого восстановления, упругого последействия и обратной ползучести в направлении произведённой выемки, являющимися по своей природе деформациями растяжения. Если эти деформации по величине превосходят предельные значения, произойдёт отрыв пластины угля (породы), примыкающей к стенке выемки. Этот отрыв сопровождается новым (очередным) перераспределением напряжений, вновь приводящим к деформациям растяжения и т. д. и т. п. Выброс прекращается по двум причинам:

- очередное перераспределение напряжений сопровождается деформациями растяжения, не превосходящими предельных, т. е. исчерпана природой заложенная (сформированная) выбросоопасность;
- разрушенного угля (породы) в выработке оказалось так много, что теперь она препятствует («не допускает») дальнейшему увеличению объёма самопроизвольно разрушающегося пласта, без которого последующее разрушение становится невозможным.

Роль в сформулированном механизме выбросов метана, высших углеводородов и других веществ, содержащихся в угольном пласте и находящихся в макроусловиях в газообразном состоянии, двойка. Во-первых, собственно наличие их в микропустотности угольного пласта приводит к охрупчиванию угольного пласта – повышению склонности к разрушению его участка, примыкающего к образованной полости, из-за имеющей место разгрузки.

Во-вторых, последовательный отрыв пластин газоносного угольного (породного) массива сопровождается выделением в выработку газа и формирова-

ние в ней газозольного псевдооживленного потока, движущегося от забоя, в котором возник выброс, в сторону уже пройденных выработок.

Не следует думать, что газозольный поток перемещается по выработкам и не оказывает никакого воздействия на её стенки.

Получилось так, что после уже упоминавшегося рекордного выброса угля и газа, происшедшего при вскрытии пласта вспомогательным квершлагом на шахте им. Гагарина, осмотреть состояние крепи выработки удалось после уборки всего разрушенного угля только ограниченному числу специалистов, в числе которых был В.И. Николин и д.т.н. Степанович Г.Я. На какой-то протяжённости промквершлага, закреплённого металлической аркой в бетоне, уровень размещения разрушенного выбросом угля от подошвы выработки не превышал 1,5 – 2,5 м. В отдельных местах по промквершлагоу в кровле выработки обнаружили места ограниченной площади, примерно 0,3 м. х 0,4 м., в которых бетон был как бы продавлен. Высказано предположение, что бетон продавленным оказался в тех местах, где пустоты над крепью не были забучены, а нагрузка на него могла сформироваться только во время движения по выработке газозольного псевдооживленного потока. При выдавливании бетон работает в таких условиях на срез. Если предположить, что при изготовлении бетона использовался цемент марок 200 или 300, то давление газов в местах продавливания бетона могло достигать 6 – 7 мПа.

Изложение в данном разделе основных положений механизма выбросов произведено одновременно как для выбросов угля, так и для выбросов песчаников. Но ещё раз следует вернуться к тому, о чём уже говорилось в монографии ранее. Выполнение научно-исследовательских работ (НИР) по проблеме выбросов породы впервые началось примерно через 50 лет после того, как началось изучение проблемы выбросов угля и газа. К этому времени уже сформировалось много представлений о том, что такое выбросы угля и газа и как с ними бороться. Стремление решить проблему выбросов песчаника и газа в кратчайшие сроки привело к самым первым попыткам проверить то, что кажется положительным для выбросов угля. Именно из-за этого удалось разобраться со многими вопросами, которые для выбросов угля и газа казались дискуссионными.

Первое из них относится к локальности выбросоопасности. Уже говорилось о том, что был разработан и успешно применяется на шахтах Донбасса более 20 лет способ прогноза степени выбросоопасности песчаников, основанный

на явлении разделения кернов на диски при бурении скважин в направлении проведения выработок. Если пробурить скважину длиной 25 – 30 м., то отчётливо видно, что образуются диски только на отдельных или на некоторых её участках. Только на таких участках и происходят выбросы песчаника и газа, интенсивность которых зависит от того, сколько дисков образуются на 1 м. керновой скважины.

Помня о «мешках», или «гнездах» проф. Быкова Л.Н. в выбросоопасных угольных пластах, предположила, что места разделения кернов на диски – это те же «гнезда», но в породе. В это же время высказывались мнения о том, что диски не образуются во время бурения, а они уже были созданы природой в тех местах, где обнаруживаются при бурении.

В соответствии с изложенным механизмом выброса на контуре скважины должны возникать деформации растяжения. Такое утверждение привело к выводу о необходимости изучения состояния стенок шпуров, пробуренных на выбросоопасных участках, установленных с помощью способа прогноза.

Такие исследования были выполнены на шахте им. Скочинского с помощью перископической оптической трубы РВП – 451 в шпурах, бурившихся для производства взрывных работ [5]. Установлено, что к устью шпуров примыкает зона трещиноватости, в которой трещины, как правило, перпендикулярны к оси шпуров и как бы опоясывают шпур по периметру. Расстояние между трещинами увеличивается в направлении от устья к забою шпура. На стенках шпуров появляются отдельные каверны, образовавшиеся в результате отрыва породообразующих минералов. За зоной трещинообразования обнаруживается зона с многочисленными следами кавернообразного разрушения стенок шпуров. На невыбросоопасных участках зона со следами кавернообразного разрушения отсутствует и стенки шпуров становятся гладкими. При проведении натурных экспериментов во всех случаях, когда обнаруживалась зона кавернообразного разрушения стенок шпуров, взрывные работы сопровождались выбросами породы и газа. Когда поверхность стенок шпуров была гладкой выбросы не происходили. Следовательно, можно считать, что локальность, или очаговость выбросоопасности вполне подтверждается, но природа её не в «мешках». Измерения давления газов и их состава, выполненные на участках, где в одной и той же скважине происходило и не происходило разделение кернов на диски, позволило установить более или существенно более значительные давления газов в первой

группе данных. Оказалось, что и состав газов песчаника зависит от величины давления газов.

Второе относится к послойному отрыву пластин угля, находящихся между образовавшейся под действием горного давления микротрещиной и забоем выработки. Многочисленные опубликованные в [4, 5, 6, 7, 8, 9] фотографии стенок выбросов, фрагментов разрушенных выбросами пород великолепно доказывали достоверность описания механизма выбросов. Толщина пластин (чешуек) непосредственно на стенке полости составляла буквально доли миллиметра, а в направлении массива увеличивалась, достигала сантиметров, а затем превращалась в отдельные трещины. Ещё один из них показан на рис. 3.3. с целью подчеркнуть, что в формулировке механизма выбросов не случайно говорится о деформациях обратной ползучести. Если бы деформации были только упругими, пластинки не могли бы изгибаться и повторять форму полости..

Третья заключается в доказательстве развития выброса от забоя выработки (скважины) в глубину массива. Оно состояло в проведении целой серии экспериментов, от заключавшихся в оценке отброса, во время выброса, специальных «меток» – металлических шайб с номерами, размещавшихся в скважинах до производства взрыва, сопровождавшегося выбросом, на различных расстояниях от забоя (методика Ленинградского горного института), до кинофотосъёмок процесса возникновения и развития выброса [4] – методика ИГТМ НАН Украины.

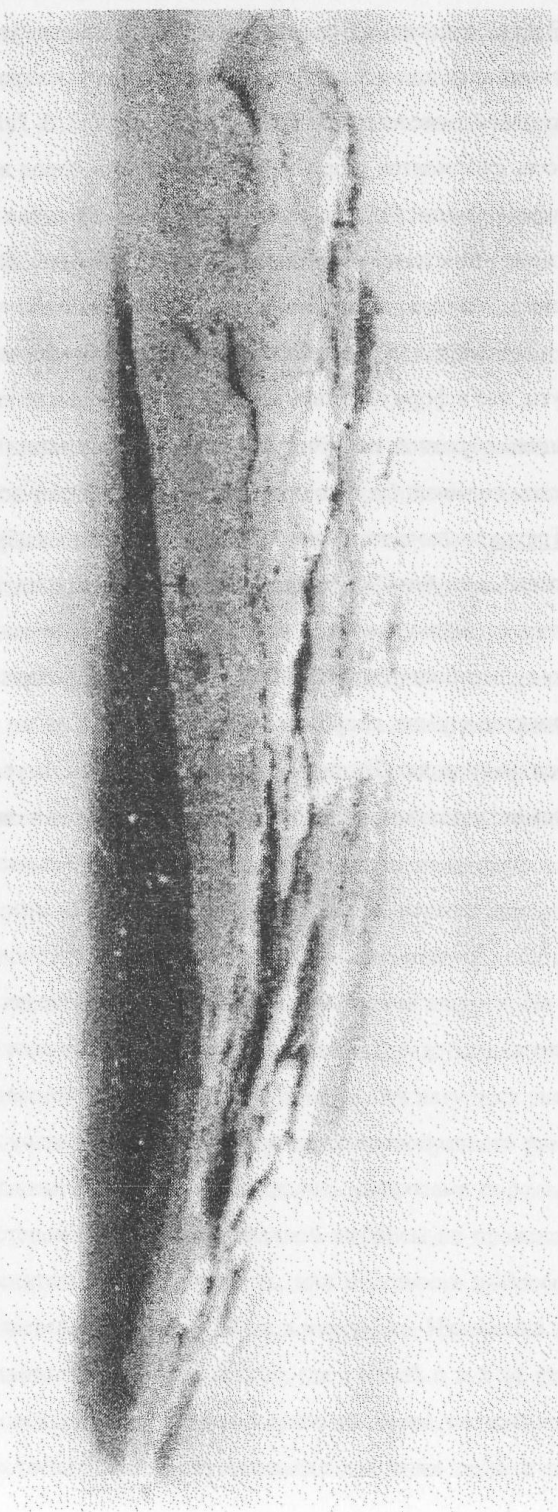


Рис. 3.3. Общий вид чешуеобразных пластин, образующихся во время выбросов песчаника и как бы оконтуривающих созданные при этом полости.

4. Сотрясательное взрывание

Сотрясательное взрывание как способ борьбы с внезапными выбросами угля и газа было предложено в конце XIX столетия в Бельгии. Предполагалось, что параметры сотрясательного взрывания должны обеспечить такое производство взрывных работ, которое не сопровождается отбойкой угля. Следовательно, устранение выбросоопасности должен был обеспечить эффект взрывного (сейсмического) воздействия на пласт, т. е. это своеобразное сотрясение, которое и принесло название способу.

В дальнейшем по мере приобретения отечественного опыта применения сотрясательного взрывания, выполнения экспериментальных исследований в шахтных условиях (почти исключительно МакНИИ) предлагались и испытывались всевозможные его модификации, называвшиеся камуфлетным, камуфлетно-сотрясательным взрыванием, торпедированием призабойной части пласта. Но только в последнем способе, особенно в его последней редакции, вошедшей в «Инструкцию...» [3], совершенно чётко определяется, что эффективность способа обуславливается не так называемой «встряской» выбросоопасного пласта, а степенью и возможностями разрушения его призабойной части. Только разрушение призабойной части пласта – уменьшение напряжённости может приводить к тому, что газопроницаемость ограниченного участка пласта становится отличной от нулевой и значительной, т. е. реально способствующей дегазации, без которой не может быть устранения выбросоопасности. Но до сих пор среди многих специалистов-производственников, и даже работающих на высоких должностях, сохранилось ошибочное мнение о том, что при сотрясательном взрывании производится настолько мощный «удар» по пласту, что какое-то последующее воздействие – удар по нему отбойным молотком или обушком – это такая «мелочь», которая не может вызвать выброс угля и газа.

Как понимание сущности сотрясательного взрывания, так и подход к выбору его параметров со временем коренным образом изменялось, а название оставалось прежним. Современное определение его сущности, в том числе с учётом отрицательных результатов ядерного взрыва, произведенного на шахте «Юнком» для устранения выбросоопасности [6], сводится к следующему.

Сотрясательное взрывание не является по своей сущности каким-то способом борьбы с выбросами. В связи с этим следует повторить [6], что в шахте никто ни с чем не борется – в ней добывают уголь. При разработке выбросоопасных пластов применяют способы прогноза выбросоопасности, способы предотвращения выбросов, способы контроля надёжности устранения выбросоопасности, способы дистанционной выемки угля (в т. ч. сотрясательное взрывание), а также комплекс мероприятий, обеспечивающих безопасность трудящихся на случай, если выброс всё-таки произойдёт. Таким образом, сотрясательное взрывание – это обычный буровзрывной способ разрушения части угольного массива выбросоопасных и угрожаемых пластов, выбросоопасных песчаников, при котором число шпуров, их расположение и величина зарядов не являются какими-то повышенными или усиленными. Но в настоящее время сотрясательное взрывание по сравнению со взрывными работами в газовых шахтах содержит дополнительные регламентации (ограничения) следующего характера.

До изложения сущности и обоснованности регламентаций необходимо отметить, что сотрясательное взрывание применяют в настоящее время во всех странах мира, в которых разрабатываются выбросоопасные (или склонные к выбросам) шахтопласты. На каком-то этапе разработки выбросоопасных шахтопластов у нас в стране появился термин, или категория выбросоопасности – пласты угрожаемые. А ещё позже было принято решение о том, что пласты выбросоопасные и угрожаемые следует объединить термином «склонные к внезапным выбросам угля и газа». Термин этот в дальнейшем стал нормативным и продолжает оставаться таким и сейчас. При разработке угольных шахтопластов именно этой категории и применяют в настоящее время сотрясательное взрывание.

Необходимо совершенно чётко представлять себе, что все параметры способа не являются научно обоснованными, они – результат анализа опыта применения сотрясательного взрывания. Именно поэтому разными в разных странах окажутся регламентации, относящиеся к расстояниям, на которых должен при производстве взрывных работ находиться взрывник; трудящиеся, выполняющие работы на этом и соседних участках, и т. д.

Сопоставление параметров, принятых в различных странах, подтверждает высказанное мнение, но загромождать текст раздела этими данными не имеет смысла, ибо нашим трудящимся надо соблюдать наши параметры.

В методическом плане изложение материала будет построено таким образом, что наряду со сведениями об «исторической» обоснованности каждой из регламентаций будут описываться примеры (частные случаи) того, как даже, казалось бы, совсем незначительные отступления от нормативных положений сотрясательного взрывания, приводят к смертельным (нередко групповым) случаям.

1. При производстве сотрясательного взрывания взрывник должен находиться от забоя на расстоянии не менее 600 м., а остальные работающие не менее 1000 м. по свежей струе. Если такие условия выполнить не представляется возможным, то взрывные работы производятся с другого горизонта или даже с поверхности.

Обоснованность этих требований с позиций безопасности труда доказывают многочисленные случаи выбросов значительной интенсивности, происшедших при сотрясательном взрывании и не приведших к травматизму. В частности, это относится и к ранее описанному выбросу-рекордсмену, происшедшему на шахте им. Гагарина. Из-за того что взрывные работы производились с поверхности, и несмотря на загазирование всех выработок шахты, травматизм отсутствовал.

Сотрясательное взрывание, как уже говорилось ранее, в настоящее время, применяют почти во всех странах, которые разрабатывают выбросоопасные пласты. По двум разновидностям регламентаций, относящимся к величинам расстояний, на которых должны находиться взрывники и другие трудящиеся, решения в различных странах неодинаковы, а принятые для Донбасса и в России являются по гуманным соображениям наиболее жёсткими. Принимались они на основании анализа дальности отброса угля от забоя, в котором происходили выбросы, но совершенно волевым образом, а значит, с загадочным запасом. Полагаем, что названный загадочный запас с учётом многолетней его неизменности (рассматриваемым параметром не менее 25-ти лет) является вполне серьёзным основанием для уточнения этих параметров (корректировки).

К сожалению, названные ограничения расстояний, с которых должно производиться взрывание зарядов ВВ и на которое должны выводиться трудящиеся, нередко нарушаются. Иногда эти нарушения, если они происходят при сотрясательном взрывании, которое сопровождается выбросом угля и газа значительной или даже ограниченной интенсивности, имеет место травматизм, как пра-

вило, смертельный и групповой. За последние 25 лет (1973 – 1998 гг.) такие случаи регистрировались в среднем примерно один раз в 1,3 года.

В качестве примеров кратко опишем отдельные выбросы, смертельный травматизм при которых произошёл только из-за того, что взрывные работы производились с расстояний меньших и даже существенно меньших нормативных 600 м.

На шахте «Глубокая» ШУ «Донбасс» ГХК Донецкуголь, являющейся одной из лучших в Донбассе по организации служб, выполняющих противовыбросные мероприятия, во время выброса, происшедшего 25.11.97 г. при сотрясательном взрывании в бортовой выработке № 10 пласта h_4 Мандрыкинский (760 т.) погиб горный мастер подготовительного участка. Его тело было обнаружено горноспасателями на расстоянии 420 м. от забоя выработки, самоспасатель при нём отсутствовал.

На шахте им. 60-летия Советской Украины этого же ШУ во время выброса (350 т.), происшедшего 23.04.96 г. при сотрясательном взрывании в забое флангового ходка 6-ой западной лавы пласта h_8 , погибли помощник начальника участка № 5 (руководитель сотрясательного взрывания в шахте) и мастер-взрывник. Последний произвёл взрывание зарядов ВВ в присутствии руководителя сотрясательным взрыванием с расстояния от забоя 50 м. Самоспасатели при пострадавших отсутствовали.

На шахте им. Калинина ПО Донецкуголь во время выброса (1100 т.), происшедшего 06.07.82 г. при сотрясательном взрывании в забое конвейерного штрека 2-ой восточной лавы пласта h_{10} , погибли помощник начальника участка № 6 (руководитель сотрясательного взрывания в шахте) и мастер-взрывник. Экспертная комиссия, расследовавшая аварию, пришла к выводу, что «Причиной несчастного случая является внезапное загазирование выработки, обусловленное обрушением пород кровли в полости выброса, во время передвижения людей по 2 восточному конвейерному штреку». Но следует обратить внимание на то, что тела пострадавших, на которых тоже не было самоспасателей, были обнаружены на расстоянии друг от друга почти 85 м. (6,5 и 91 м. от сопряжения с промквершлагом № 12), а взрывная машинка ПИВ – 100 отдельно от мастера-взрывника на расстоянии 101 м. от сопряжения с промквершлагом № 12. Следовательно, вполне можно утверждать, что взрывные работы были произведены с расстояния существенно менее 600 м.

Не случайна констатация во всех трёх случаях того, что на пострадавших не обнаруживались самоспасатели. Объективно во всех случаях это не позволяло своевременно в них включаться во время происходивших при сотрясательном взрывании выбросов угля и газа.

2. Если при сотрясательном взрывании не достигнуто достаточное разрушение угля и поэтому невозможно получить правильную, предусмотренную паспортом конфигурацию забоя, категорически запрещается оборка или выравнивание забоя после сотрясательного взрывания любым ручным инструментом, механизмами. Оно должно производиться в следующем цикле сотрясательного взрывания. Объясняется эта регламентация двумя взаимосвязанными причинами.

Первая – в выбросоопасных зонах коэффициент использования шпуров иногда уменьшается настолько, что необходимая по наряду уборка угля превращается в выемку угля лопатой или погрузочной машиной за пределами фактического разрушения.

Вторая – разрушенный сотрясательным взрыванием, но не отброшенный уголь иногда трудно отличить от реального угольного пласта, особенно если он представлен тектонически препарированными пачками угля. И вновь в такой ситуации уборка разрушенного угля фактически превращается в выемку угля.

По названной причине на шахтах Украины официально зарегистрировано около 20 внезапных выбросов угля и газа, происшедших во время так называемой уборки угля или выравнивания-оформления забоя после сотрясательного взрывания.

На шахте «Красный Октябрь» ПО Орджоникидзеуголь откаточный штрек пласта h_{11} Безымянный – восток на гор. 790 м. проходил сотрясательным взрыванием. Во время выброса (60 т.), происшедшего 03.07.74 г., погибло 2 человека. Комиссия, расследовавшая аварию, пришла к выводу, что «причиной аварии послужило возможное внедрение ручным инструментом после сотрясательного взрывания в угольный пласт, неразрушенный взрывом ВВ» (с. 20).

На шахте им. Калинина ПО Донецкуголь во время выброса (150 т.), происшедшего 24.06.80 г. в нижней нише 4-ой западной лавы пласта h_{10} , погибло 4 человека. Экспертная комиссия, расследовавшая аварию, установила, что подвигание ниши за одно взрывание при принятом паспортом БВР коэффициенте использования шпуров ($K_{ИШ} = 0,9$) должно составлять 1,98 м. Она утверждает,

что сравнение ожидаемых и фактических данных указывает на превышение действительного подвигания по сравнению с возможным при ведении взрывных работ. В экспертном заключении отмечаются имевшие ранее место случаи, «когда в течение нескольких дней подряд лава работала по добыче угля с нормальной производительностью, а взрывные работы в нижней нише в это время не производились» (с. 11). Более того, после выбросов, происходивших при сотрясательном взрывании в мае – июне 1980 г., выравнивания забоя «с помощью сотрясательных взрываний не проводилось. Таким образом, зачистка угля в этих случаях могла производиться ручными инструментами, например, лопатой» (с. 12).

Причина выброса определена как «воздействие на угольный массив ручным инструментом (лопата, буровая штанга) при оборке или выравнивании забоя» (с. 13).

На шахте «Глубокая» во время выброса (380 т.), происшедшего 12.03.81 г. в 5-ом восточном конвейерном штреке пласта h₈, погибло 4 человека. Штрек проводился сотрясательным взрыванием. Обстоятельства, при которых произошёл выброс, во многом аналогичны имевшим место на шахте им. Калинина. Экспертная комиссия посчитала наиболее вероятным импульсом, спровоцировавшим выброс, воздействие на угольный забой обушком, но одновременно не исключает динамическое воздействие на него штанги электросверла.

Не можем не обратить внимание на некоторую «деликатность», «стеснительность» формулировок решений экспертных комиссий, специальных комиссий, расследовавших аварии, которую мы старались сохранить и которая с позиций основных положений первых трёх разделов монографии не совсем соответствует современным представлениям о природе выбросоопасности и механизме возникновения и протекания выбросов угля (породы) и газа.

3. Осмотр забоя мастером-взрывником и представителем технического надзора, который даёт разрешение на продолжение (возобновление) работ на участке после сотрясательного взрывания, допускается производить не ранее чем через 30 мин. после производства взрыва.

Время, через которое следует осматривать забой после производства взрывных работ, Правилами безопасности в часах, минутах не регламентируется, оно определяется продолжительностью времени необходимого для удаления из забоя (выработки) вредных (ядовитых) продуктов взрыва. Но после сотряса-

тельного взрывания осмотр забоя допускается не ранее чем через 30 мин. «Источник» этого требования заключается в следующем.

Примерно в сороковые - шестидесятые годы даже наиболее крупные специалисты по проблеме выбросов считали и об этом писали в монографиях, что после сотрясательного взрывания возможны и были так называемые «запоздалые выбросы». Такая «легенда» пришла к нам с Запада (Франция, Бельгия, Германия), а её принятие основывалось не на результатах выполнения научно-исследовательских работ, не на анализе собственного опыта разработки выбросоопасных пластов, а не свидетельских показаний очевидцев выбросов, исполнителей горных работ. Из показаний следовало, что большинство «запоздалых выбросов» произошло в течение примерно 30 мин. после производства взрывных работ. Говорилось, что они возможны даже через 24 часа. В результате и было принято нормативное решение разрешить осмотр забоя после сотрясательного взрывания не ранее чем через 30 мин., чтобы проверяющие забой не пришли в него в момент, когда произойдёт «запоздалый выброс».

Изучение механизма возникновения и развития выбросов угля и газа, породы и газа привело в 70-е — 80-е годы к выводу, что принципиально «запоздалых выбросов», если под ними понимать происходящие более чем через 10 мин. после производства взрыва, не может быть, так же как и выбросов от удара по забою, если удар не сопровождается разрушением призабойной части пласта. Выброс может происходить только при перераспределении напряжений, вызванном выемкой угля, породы, о чём говорилось подробно в разделе 3.

Однако в 70-е годы продолжали происходить внезапные выбросы угля и газа, которые в показаниях очевидцев по-прежнему объяснялись «запоздалостью», которую теперь уже связывали не только со временем производства взрывных работ. Более внимательное и объективное отношение к этим показаниям, сводившееся к осмотру забоев сразу же после происходивших «запоздалых выбросов», позволило установить, что показания не соответствовали действительности, так как авторами «показаний» всегда были работники, которые или непосредственно нарушали требования правил безопасности или способствовали этим нарушениям. Например, на шахте № 29 ПО Донецкуголь по особо опасному пласту h^1_6 Смоляниновский, угол падения которого был 8 - 10°, с вентиляционного горизонта (штрека) на откаточный проводили разрезную выработку с подрывкой пород кровли на 0,5 м. (мощность пласта 1,3 м.). Горную

массу грузили на скребковый конвейер, который подавал её в вагонетку на вентиляционном штреке.

Для предотвращения выбросов применяли разгрузочные пазы, которые выбуривали в направлении проведения выработки. Длина пазов 1,8 м., выемку угля после образования разгрузочных пазов производили сотрясательным взрыванием, длина шпуров 1,5 м. После уборки угля возводили временную крепь, а затем производили взрывные работы в породе.

Когда было пройдено примерно 30 м. разреза в очередном проходческом цикле (06.09.73 г.) взрывная отбойка угля выбросом не сопровождалась, не вызвали его и выполненные затем, после уборки угля взрывные работы по породе. Однако при уборке породы (07.09.73 г.) происходит, по показаниям «очевидцев» - исполнителей работ (нарушителей) будто бы «запоздалый выброс».

Комиссия, расследовавшая аварию, доказала вопреки свидетельским показаниям, что после уборки породы была произведена без предусмотренного паспортом образования разгрузочных пазов выемка угля на глубину более 1 м., во время которой и произошёл выброс. Решающим в этом доказательстве был совсем нехитрый факт, который свидетельствует о необходимости при расследовании аварий знать детали технологии горных работ, быть внимательным и который мы кратко опишем.

На вентиляционном штреке около разрезной выработки обнаружили две вагонетки, заполненные породой, третья вагонетка находилась непосредственно под конвейером и была почти наполовину заполнена углем. Вся конвейерная линия от вентиляционного штрека до откоса разрушенного выбросом угля в разрезе тоже была заполнена углем, выемку которого в нарушение паспорта проведения выработки произвели проходчики. Версия о «запоздалости» отпала.

На шахте «Мушкетовская – Вертикальная» в 1972 г. комбайном ПК – 3 проходилась 8-ой западный откаточный штрек пласта h_8 смешанным забоем с верхней подрывкой. На каком-то этапе в силу различных причин было принято решение о проведении штрека сотрясательным взрыванием (одновременно по углю и породе) и использовании проходческого комбайна только как погрузочной машины.

В очередной раз сотрясательное взрывание было произведено 25.12.72 г. между 1 и 2 сменами, выбросом оно не сопровождалось. После уборки породы во вторую смену на третью смену был дан наряд добрать горную массу и уста-

новить 2 рамы крепи. Во время будто бы уборки горной массы через 12 часов после сотрясательного взрывания происходит «запоздалый выброс» угля и газа интенсивностью 70 т. Рабочие, увидевшие предупредительный признак — выдвижение угольного забоя в выработку, своевременно покинули (убежали) опасный участок выработки. Но при расследовании аварии члены комиссии обнаружили за затяжкой следы выемки угля комбайном. Версия о «запоздалости выброса» также отпала. Описанные здесь и ранее, в т. ч. [5] тщательны расследования т. н. запоздалых выбросов в течение последних 20 лет доказали правильность сделанной оценки. Но требование о тридцатиминутном интервале времени сохраняется, и мы не видим в этом особого ущерба, ибо при соблюдении требований п. 1 осмотр забоя ранее чем через 30 мин. практически нереален.

4. В случае отказа нескольких или даже одного заряда при выполнении сотрясательного взрывания ликвидация их должна производиться под наблюдением ответственного лица технического надзора и мастера-взрывника следующим образом:

- отбитый уголь (порода) должен быть убран;
- забой закреплён временной крепью;
- параллельную шпuru с невзорвавшимся зарядом на расстоянии не ближе 30 см. от него должен быть пробурен новый, параллельный предыдущему шпур с таким расчётом, чтобы при взрыве заряда был отбит отказавший заряд.

Дополнительный заряд должен взрываться с выполнением всех требований, предъявляемых к сотрясательному взрыванию.

«Источником» этого требования является громадный и нередко уникальный опыт разработки выбросоопасных пластов, доказавший как реальность возникновения выбросов угля и газа при выемке угля на глубину всего 2 — 3 десятка сантиметров, так и выбросов угля (породы) и газа при взрывании зарядов отдельных шпуров и даже «подбурков» — коротких шпуров, в которых располагается всего один патрон ВВ [5, 8, 9].

5. При ведении взрывных работ по породе в подготовительных выработках, проводимых смешанным забоем, включающем выбросоопасный пласт, взрывание должно производиться с расстояния не менее 200 м. от забоя по свежей струе при условии, что предварительно произведена выемка по угольному

забою, а расстояние (опережение) от окончания шпуров, пробуренных по породе, до угольного забоя составляет не менее 0,5 м.

Смысл этого требования очевиден: при взрывном разрушении пород, вмещающих выбросоопасный угольный пласт, перераспределение напряжений не должно распространяться на пласт. Многолетний опыт выполнения этого требования доказал его обоснованность. Рассмотрение влияния взрыва зарядов ВВ на проявления выбросоопасности с таких позиций позволило установить, что использование менее мощного ВВ увеличило, а не уменьшило статистическую вероятность возникновения выбросов. Доказано [5], что интенсивность выброса при прочих равных условиях зависит не от массы одновременно взрывающейся взрывчатки и не от силы ударной волны, формирующейся в массиве в результате взрыва, а от размеров и порядка отрыва частей напряженного, в том числе и выбросоопасного породного массива.

Одним из наиболее убедительных доказательств правильности высказанного положения является опыт применения взрывной отбойки угля в лавах толстых пластов Донбасса (1953 – 1976гг.), при которой зарегистрировано 368 выбросов угля и газа. Они разделены на две группы. К первой отнесены выбросы, когда взрывная отбойка производилась на участке лавы длиной до 10м, а ко второй – более 20м. Первая группа включает 80 выбросов, их средняя интенсивность составляет 95т; вторая – 105 случаев и 103т. Различие интенсивностей составляет всего 8% и находится в пределах точности измерений.

Средняя масса одновременно взрывавшегося ВВ для первой и второй групп составляла 8,4 и 26,7кг и различалась в 3,2 раза, что не повлияло на интенсивность выбросов. Значит можно утверждать, что величина заряда ВВ, располагавшегося в породах, вмещающих выбросоопасные пласты, не могла повлиять на возникновение выброса.

В [5] констатировалось, что за период 1958 – 1977гг. на шахтах Донбасса зарегистрировано 74 выброса угля и газа, которые произошли при ведении взрывных работ в породе, когда угольный забой опережал породный. В большинстве случаев глубина шпуров, пробуренных во вмещающих пласт породах, была равна глубине выемки угля или даже превышала ее.

Особый интерес представляет анализ обстоятельств, при которых произошли выбросы угля и газа при проведении штреков крутых пластов смешанным забоем. Ведение взрывных работ в породе может сопровождаться выбро-

сами угля, так и его обрушениями. Отсутствие критерия отнесения двух названных разновидностей ГДЯ к выбросам или обрушениям осложняло квалификацию явлений.

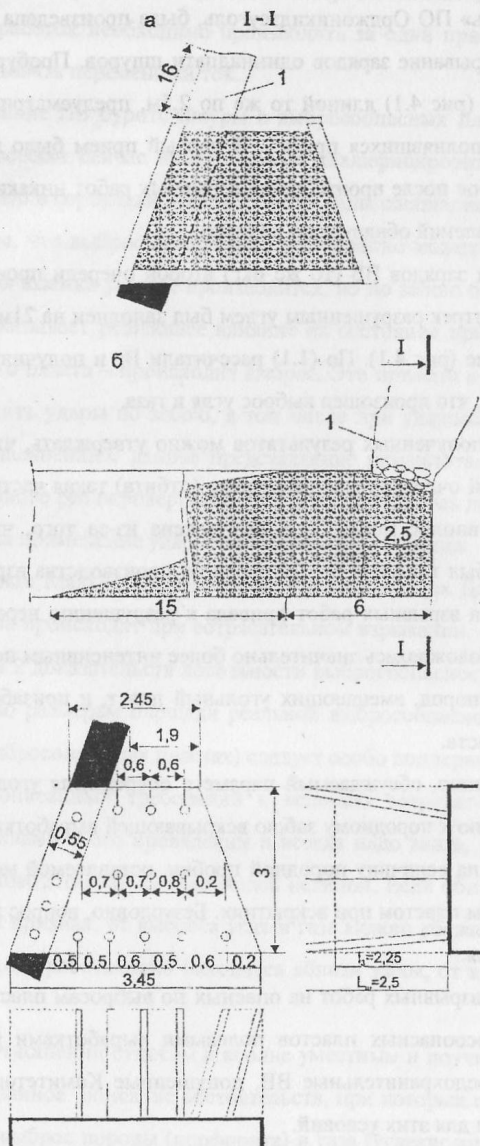


Рис. 4.1. Эскиз места выброса угля и газа, происшедшего 4 июня 1958г. В забое откаточного штрека на шахте №4 "Красный Октябрь" (пласт h_7 Смоляниновский) ПО "Атемуголь" (а) и паспорт буровзрывных работ (б): 1 - полость выброса.

За 14 лет (1953 – 1976гг.) зарегистрировано 12 выбросов угля и газа, происшедших при взрывной отбойке пород в штреках крутых пластов, проводившихся смешанным забоем. Перед выбросом, происшедшим 04.06.58г. на ш. «Красный Октябрь» ПО Орджоникидзеуголь, была произведена выемка угля на глубину 2,5м. Взрывание зарядов одиннадцати шпуров. Пробуренных в породах почвы пласта (рис 4.1) длиной то же по 2,5м, предусматривалось в три последовательно выполнявшихся приема. В первый прием было взорвано бкг ВВ. при осмотре забоя после производства взрывных работ никаких признаков газодинамических явлений обнаружено не было.

При взрывании зарядов ВВ (то же бкг) второй очереди произошло ГДЯ. Во время которого штрек разрушенным углем был заполнен на 21м, из которых 6м на полное сечение (рис 4.1). По (1.1) рассчитали V_g и получили $V_g=0,3$ т.е. подтверждение тому, что произошел выброс угля и газа.

На основании полученных результатов можно утверждать, что при взрывании зарядов первой очереди была разрушена (отбита) такая часть пород почвы пласта, которая вполне могла быть разгружена из-за того, что угольный пласт в этом месте был вынут за 8 – 10 часов до производства взрыва. Вторая очередь производства взрывных работ привела к разрушению неразгруженных пород и потому сопровождалась значительно более интенсивным перераспределением напряжений пород, вмещающих угольный пласт, и призабойной части выбросоопасного пласта.

Пока, к сожалению, обсуждаемый параметр опережения угольного забоя (пласта) по отношению к породному забою вскрывающей выработки до сих пор не распространяется на величину породной пробки, оставляемой между забоем квершлага и угольным пластом при вскрытиях. Безусловно, вопрос этот требует специального решения.

6. Для ведения взрывных работ на опасных по выбросам пластах, а также при вскрытии выбросоопасных пластов полевыми выработками разрешается применять только предохранительные ВВ, допущенные Комитетом Госнадзорхрантруда Украины для этих условий.

Иницирование зарядов может осуществляться электродетонаторами мгновенного и короткозамедленного действия с общим временем замедления не более 135 мс. В чистопородных забоях в вертикальных стволах и в случае при-

менения водораспылительных завес максимальное время срабатывания последней ступени замедления должно быть не более 195 мс.

Взрывание зарядов при проведении горизонтальных, наклонных и вертикальных выработок необходимо производить за один приём. Запрещается при этом использовать переменный ток.

Требование ПБ бурить шпуров в выбросоопасных пластах только вращательным способом сейчас вполне можно квалифицировать как историческое. Дело в том, что в сороковые – пятидесятые годы специалистами высказывалось мнение о том, что выброс совершенно неожиданно может возникнуть и тогда, когда никакая выемка угля не производится, но по забою был произведён удар, который и оказывает решающее влияние на состояние призабойной части выбросоопасного пласта – происходит выброс. Это привело к выводу о необходимости запретить удары по забою, в том числе при ударном бурении шпуров и скважин. В дальнейшем данное представление результатами специальных исследований много раз опровергалось. Но всё-таки удалось добиться пока только разрешения на применение ударно-вращательного бурения.

По данным МакНИИ за последние 8 лет на шахтах Донбасса 78% выбросов угля и газа происходят при сотрясательном взрывании. С учетом приведенных в разделе 2 доказательств локальности выбросоопасности, чрезвычайно ограниченной по размерам площади реальной выбросоопасности (до 1% в среднем даже в выбросоопасных пластах) следует особо подчеркнуть необходимость выполнения описанных требований к ведению сотрясательного взрывания. Всем участвующим в его проведении и всегда надо знать, понимать, и в своих поступках руководствоваться следующей истиной. Если обнаруживается предвещательный признак, от выброса угля и газа можно убежать. Но если выброс уже произошел, а работающий находится вблизи забоя, от выброса не убежать, не уехать.

В этом отношении относим к вполне уместным и поучительным, подтверждающим сказанное описание обстоятельств, при которых произошел и развивался первый выброс породы (порфирита) и газа (углекислого) при проведении гидротехнического тоннеля Арпа-Севан в Армении (13.03.1977г.).

Тоннель проводился для переброски стока реки Арпа в озеро Севан буровзрывным способом с применением скального аммонита №1 и аммонита ЖВ.. Одновременно взрывались 28-42 шпуровых заряда массой 64-74кг. Длина шпу-

ров 1,6 – 2,0 м, взрывание огневое. Высока прочность изверженных пород ($f=12-20$). обусловила отсутствие временной крепи и возведение постоянной (бетонной) с отставанием примерно 500 м.

Рабочие (11 человек) на момент производства взрывных работ находились на расстоянии 500 м при общей длине тоннеля 2800 м. Здесь же были два электровоза. Рабочие услышали вначале последовательные взрывы первых трех зарядов, которые воспринялись как обычные. Взрыв четвертого шпурового заряда отличался повышенным и как бы более продолжительным звуковым эффектом, сопровождавшимся более интенсивным движением воздуха – «ветром». По предлежнию машиниста электровоза двое рабочих вместе с ним поехали к стволу (условно электровоз №1). Электровоз проехал половину пути (1400 м), когда их настигло облако углекислого газа и все они потеряли сознание. В околоствольном дворе электровоз столкнулся с порожняком. От удара двое рабочих пришли в сознание и вместе со ствольным и погибшим от механической травмы машинистом электровоза выехали на поверхность.

Остальные рабочие на электровозе №2 поехали к стволу вслед за электровозом №1, но проехали всего 30-320 м и остановились, где все и погибли.

Литература

1. Биленко В.Л. Внезапные выделения газа и меры борьбы с ними // Безопасность труда в горной промышленности. – 1932. – № 4. – с. 4 – 13; № 5. – с. 4 – 13.
2. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, склонным к внезапным выбросам угля, породы и газа. – М.: Недра. – 1977. – 264 с.
3. Инструкция по безопасному ведению горных работ на пластах, опасных по внезапным выбросам угля, породы и газа. – М.: ИГД им. Скопинского. – 1989. – 192 с.
4. Прогноз и предотвращение выбросов пород и газа / В.Н. Потураев, А.Н. Зорин, В.Е. Забигайло и др. – Киев: Наукова Думка. – 1986. – 160 с.
5. Николин В.И., Бабиченко И.И., Симонов А.А. Борьба с выбросами угля и газа в шахтах. – М.: Недра. – 1981. – 300 с.
6. Николин В.И., Васильчук М.П. Прогнозирование и устранение выбросоопасности при разработке угольных месторождений. – М.: ПолиМЕдиа. – 1997. – 495 с.
7. Забигайло В.Е., Николин В.И. Влияние катагенеза горных пород и метаморфизма углей на их выбросоопасность. – Киев: Наукова Думка. – 1990. – 168 с.
8. Николин В.И., Лысиков Б.А., Ткач В.Я. Прогноз выбросоопасности угольных и породных пластов. – Донецк: Донбасс. – 1972. – 128 с.
9. Николин В.И., Меликсетов С.С., Беркович И.М. Выбросы породы и газа. – М.: Недра. – 1967. – 81 с.

Широкий круг рассмотренных вопросов в соответствии с представлениями, установившимися в течение не менее чем пятидесятилетнего периода времени, строго говоря, всегда относился к теории выбросов. Но теперь в монографии представлено, во-первых, новое толкование этого понятия, справедливость которого считаем доказанной и вполне очевидной. Во-вторых, положения, характеризующие выбросы угля и выбросы песчаников как по формированию выбросоопасности, так и по её реализации, т. е. по механизму возникновения и протекания выбросов, впервые рассматриваются совместно. Такое рассмотрение, безусловно, относим только к положительной особенности выполнения исследования, ибо она приводит как бы к эффекту «взаимного проникновения» явлений выбросов угля и выбросов песчаника, взаимного дополнения. Он хорошо доказывается основными положениями формулировки понятия выброса.

Например, причудливость формы полостей, образующихся в результате выбросов угля и выбросов песчаника, совершенно очевидна и в каких-то дополнительных доказательствах не нуждается.

То же относится к дальности отброса, повышенному газовыделению, к образованию бешеной муки при выбросах угля и выбросах песчаников.

Доказать локальность выбросоопасности в угольных пластах оказалось значительно сложнее, чем в песчаниках. Для последних своеобразной методической палочкой-выручалочкой оказалась разработка способа прогноза степени выбросоопасности по интенсивности разделения кернов на диски при бурении скважин. С его помощью всё удалось расставить по местам.

Механизм выбросов угля и газа описывается, убедительно доказывается как последовательный отрыв газоносных пластин. Но зримо очевидным последовательный отрыв пластин во время выбросов оказался только тогда, когда начались расследования выбросов песчаников и газа.

Одним из краеугольных вопросов механизма выбросов угля (породы) и газа является вопрос о природе, особенностях разрушения осадочного углепородного массива. Его значение значительно превосходит направленность, содержащуюся в названии монографии, и имеет ещё и самостоятельное значение.

Основной смысл написания данной монографии – всё-таки, познавательный, обучающий. Многие из рассмотренных в ней вопросов ещё десяток лет тому назад выглядели неизученными. Теперь они, в том числе с учётом выполнения научно-исследовательских работ в сочетании с опытом чтения в ДонГТУ (бывший ДПИ) курса лекций по «Проблемам безопасной разработке выбросоопасных пластов» выглядят вполне решёнными. Но учитывая, всё-таки, просветительское назначение монографии, воздержались пока от формулирования направленности решений по разработке способов прогноза выбросоопасности, предотвращения выбросов. Некоторым оправданием такого решения может быть, во-первых, ссылка на то, что некоторые рекомендации этого плана содержатся в журнальных статьях последних пяти – семи лет. Во-вторых, это специальная самостоятельная тема другой монографии.

Содержание

Введение	
1. Общие понятия и сведения о сущности газодинамических явлений в угольных шахтах...	5
1.1. Терминология, принятая или использовавшаяся ранее...	6
1.2. «Инструкции...» издания 1977 и 1989 гг....	8
1.3. Горные удары...	14
1.4. Повсеместное выполнение специальных мероприятий...	16
1.5. Критерий отнесения ГДЯ к выбросам или обрушениям...	19
1.6. Учёные, внесшие наибольший вклад в решение проблемы выбросов...	27
1.7. Некоторые сведения о физико-химических свойствах выбросоопасных углей...	29
2. Природа выбросоопасности...	39
2.1. Физическая модель выбросоопасного пласта...	39
2.2. Закономерность связи выбросоопасности угольных пластов со степенью метаморфизма углей...	49
2.3. Особенности проявлений выбросов песчаников и газа, подтверждающие основные положения природы выбросоопасности...	53
2.4. Природа зависимости склонности осадочных пород к деформациям обратной ползучести от степени метаморфизма органики...	58
3. Механизм выбросов...	66
3.1. Изменение во времени представлений механизма выбросов	66
3.2. Некоторые особенности свойств образцов осадочных горных пород...	69
3.3. Особенности разрушения осадочного массива при разгрузке...	74
3.4. Сущность влияния природной газоносности на возникновение и протекание выбросов...	75
4. Сотрясательное взрывание...	82
Заключение...	95

Современные представления природы выбросоопасности и механика выбросов как научная основа безопасности труда

В.И.Николин, А.Г.Заболотный, С.Г.Лунев.

Подп. к печати 25.05.99 г.
Цифровая трафаретная печать.
Уч. из. л. 5,8

Формат 60×84 $\frac{1}{16}$
Усл. печ. л. 5,8
Тираж 2000 экз.

Бумага Prima Copy.
Усл. кр.-отт. 5,75
Заказ № 325

Рекламно-издательское агентство ДонГУ

340000, г. Донецк, Артема, 58, ДонГУ, 9 уч. корпус
Тел.: (0622) 99-99-94, 90-36-31