

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОЙ ОТРАБОТКИ ПЛАСТОВ, СКЛОННЫХ К ГАЗОДИНАМИЧЕСКИМ ЯВЛЕНИЯМ НА ШАХТАХ ДОНБАССА

к.т.н. Брюханов А.М. (МакННІІ Минтопэнерго Украины)

Наведено статистику обсягів розробки вугільних пластів, схильних до газодинамічних явищ, кількості цих явищ та травматизму від них на шахтах Донбасу. Викладені результати робіт МакННДІ щодо розробки засобів автоматизованого контролю викиднебезпеки по параметрах акустичних сигналів під час технологічного діяння машин та механізмів на вугленородний масив.

STATE-OF-THE-ART AND CHALLENGES OF SAFE MINING OF SEAMS LIABLE TO GAS DYNAMIC EVENTS IN DONBASS COAL MINES

Bryukhanov A.M

Statistics on the volume of gas dynamic coal seam mining, the number of the events, and the injury rates in Donbass coal mines are presented. MakNII research findings on the development of automated outburst monitoring by acoustic signals with mining machines operation impact on coal / rock strata are stated.

Донецкий бассейн, являющийся основным источником природных топливно-энергетических ресурсов Украины, известен как уникальное по сложности и разнообразию горно-геологических условий месторождение высококачественных коксующихся и энергетических углей, представленное большим количеством угольных пластов, главным образом тонких и средней мощности. Около 50% разрабатываемых пластов склонны к различного рода газодинамическим явлениям (ГДЯ), среди которых преобладают внезапные выбросы угля и газа, представляющие реальную опасность травматизма работающих и повреждения оборудования и горных выработок. Не менее опасны и катастрофичны по тяжести последствий и другие виды газодинамических явлений, такие как внезапные выдавливания и обрушения угля, внезапные выбросы породы и газа, внезапные прорывы метана из почвы выработок.

Учитывая социальную и технико-экономическую значимость проблемы борьбы с газодинамическими явлениями в шахтах, оказывающей существенное влияние на уровень безопасности и эффективности ведения горных работ, научный и практический интерес представляет статистический анализ частоты возникновения этих явлений. Необходимость такого анализа обусловлена также происшедшими за последнее десятилетие изменениями в отрасли вследствие закрытия шахт, сокращения объемов разработки пластов, склонных к газодинамическим явлениям, количества за-

боев на них, а следовательно, и самих явлений. Так, если в 1994 г. на 138 шахтах разрабатывалось 384 шахтопласта, склонных к газодинамическим явлениям, на которых очистные работы велись в 473 забоях и годовая добыча угля из них составляла 26,1 млн. т, то к началу 2004 г. количество таких шахт сократилось до 76, разрабатываемых опасных и угрожаемых по ГДЯ шахтопластов до 201, очистных забоев до 268, а добыча угля до 25 млн. т. За этот же период количество ГДЯ, в ежегодной совокупности которых внезапные выбросы угля и газа составляют в среднем 82%, уменьшилось пропорционально сокращению объемов разработки таких пластов почти на 46% с 165 в 1994 г. до 88 в 2003 г.

Динамику изменения объемов разработки пластов, склонных к ГДЯ, и количества этих явлений за период 1994 – 2003 г.г. можно проследить по данным, приведенным в таблице 1.

Как видно из этой таблицы, резкое снижение количества шахт, разрабатывающих пласты, склонные к ГДЯ, происходило до 1997 г., а затем продолжалось, но менее интенсивно. Таким же образом изменялось количество шахтопластов и забоев, но характерно, что если до 1997 г. количество опасных по ГДЯ пластов, забоев на них и угледобыча были больше, чем на угрожаемых, то в последующие годы наблюдается тенденция наращивания этих показателей на угрожаемых пластах, что обусловлено менее жесткими ограничениями темпов ведения горных работ на них по фактору газодинамической активности.

В целом же несмотря на сокращение объемов разработки пластов, склонных к ГДЯ, уровень угледобычи на них не только не сократился, но даже вырос в среднем на 28% с 20,5 млн. т в год за период 1994 - 1996 г.г. до 26,3 млн. т в течение 1997 – 2003 г.г., что могло быть достигнуто лишь за счет интенсификации горного производства и повышения нагрузки на оставшиеся в эксплуатации забои и вновь вводимые взамен выбывших. Следовательно, закрытие шахт, считавшихся нерентабельными, хотя и привело к уменьшению общего количества действующих забоев, но не вызвало спада угледобычи, что является положительным результатом проводимой в отрасли реструктуризации, направленной на концентрацию финансовых и материальных ресурсов на перспективных шахтах.

Тем не менее, однозначной тенденции в изменении количества ГДЯ за прошедшее десятилетие, как видно из таблицы, не наблюдается: периодические спады сменяются всплесками частоты возникновения этих явлений, основную долю в совокупности которых составляют внезапные выбросы угля и газа. Поскольку в статистическом учете они подразделяются на собственно внезапные (неожиданные) выбросы, происходящие вследствие нарушения или невыполнения предусмотренных способов прогноза их и предотвращения, выбросы при дистанционном управлении машинами и механизмами и при сотрясательном взрывании, когда способы предотвращения их не применяются и предусматриваются лишь меры

Таблица 1. Сведения об объемах разработки угольных пластов, склонных к газодинамическим явлениям на шахтах Донбасса за период 1994-2003 г.г.

Показатели	Величина показателей по годам									
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Количество шахт	138	132	114	100	103	99	96	86	78	76
Количество шахтопластов:										
опасных по ГДЯ	214	181	159	116	129	124	113	106	110	98
угрожаемых	170	158	118	159	140	161	153	120	110	103
всего	384	339	277	275	269	285	266	226	220	201
Количество очистных забоев на пластах:										
опасных по ГДЯ	284	220	194	208	198	183	168	165	143	134
угрожаемых	189	175	124	167	212	218	209	167	135	134
всего	473	395	318	375	410	401	377	332	278	268
Количество подготовит. забоев на пластах:										
опасных по ГДЯ	292	258	197	285	305	280	242	247	212	227
угрожаемых	236	218	155	263	397	386	358	264	219	215
всего	528	476	352	548	702	666	600	511	431	442
Добыча угля, млн. т на пластах:										
опасных по ГДЯ	15,9	11,9	10,8	12,0	12,2	11,5	12,5	11,9	15,4	15,2
угрожаемых	10,2	7,4	5,2	9,7	13,7	17,4	15,5	12,1	13,0	9,8
всего	26,1	19,3	16,0	21,7	25,9	28,9	28,0	24,0	28,4	25,0
Количество ГДЯ	165	98	64	82	144	94	113	126	129	88
в т.ч. выбросов угля и газа ^{*)}	118	84	56	56	133	76	90	94	114	73
внезапных обрушений	9	5	3	2	2	1	1	2	2	1
внезапных выдавливаний	14	4	-	1	2	3	8	4	6	-
выбросов породы	24	5	5	23	7	14	14	26	7	14
Плотность выбросов, 1/млн.т	7,4	7,0	5,2	4,7	10,9	6,6	7,2	7,9	7,4	4,8

^{*)} Суммарное количество выбросов угля и газа, включая внезапные, при сотрясательном взрывании и дистанционном управлении машинами и механизмами.

обеспечения безопасности работающих за счет вывода их на безопасное расстояние от места выемки угля, в таблице 2 приведено распределение выбросов угля и газа по указанным условиям их возникновения.

Таблица 2. Распределение выбросов угля и газа по условиям их возникновения.

Годы	Количество выбросов угля и газа			Всего
	внезапные	при дистанционном управлении	при сотрясательном взрывании	
1994	6	18	94	118
1995	3	10	71	84
1996	2	4	50	56
1997	2	3	51	56
1998	4	10	119	133
1999	4	18	54	76
2000	1	18	71	90
2001	5	20	69	94
2002	3	17	94	114
2003	4	14	55	73
Итого	34	132	728	894

Как следует из этой таблицы, внезапные выбросы малочислены и составляют в среднем не более 4% от общей совокупности выбросов угля и газа, а распределение их по годам носит случайный характер без видимой связи с изменением каких-либо показателей объемов разработки пластов, склонных к ГДЯ, приведенных в табл. 1. Наиболее многочисленны выбросы при сотрясательном взрывании и дистанционном управлении добычными и проходческими машинами и механизмами. Частота возникновения их, как и других видов газодинамических явлений, до 1997 г. неуклонно снижается, а в последующие годы имеет тенденцию к возрастанию, хотя количество разрабатываемых выбросоопасных пластов и забоев на них продолжает уменьшаться и лишь объем добычи угля увеличивается. Очевидно динамика изменения количества выбросов угля и газа предопределяется не столько количеством разрабатываемых шахтопластов и действующих забоев, сколько интенсивностью их разработки: чем больше объем добычи угля, да еще без применения противовыбросных мероприятий, тем чаще происходят эти явления. Если же отнести количество происшедших за год выбросов к массе добытого за это время угля, то определяемая таким образом плотность выбросов будет характеризовать степень выбросоопасности разрабатываемых пластов.

Из приведенных в таблице 1 данных видно, что несмотря на происходящие в течение десятилетия изменения, иногда в противоположных направлениях, количества разрабатываемых шахтопластов, забоев, угледобычи и выбросов, ежегодная плотность выбросов остается практически

стабильной и колеблется в пределах $6,9 \pm 1,7$ на 1 млн. т добытого угля, а следовательно, опасность возникновения этих явлений без применения мероприятий по предотвращению их не уменьшается.

Суммарное количество травмированных при различных видах ГДЯ за десятилетний период составило 140 чел., из них смертельно 101 чел. или 72%. Наибольшее количество пострадавших за этот период при выбросах угля и газа 97 чел., в том числе 68 чел. или 70% со смертельным исходом; при внезапных обрушениях угля травмировано 31 чел., из них 25 чел. или 80% смертельно; при внезапных выдавливаниях 12 чел., в том числе 8 чел. или 67% смертельно. При выбросах породы и газа, происходящих только при сотрясательном взрывании, травмированных не было. По условиям возникновения выбросов угля и газа количество пострадавших при этом распределяется следующим образом: при внезапных выбросах – 82 чел., из них 59 чел. (72%) смертельно; при дистанционном управлении машинами и механизмами – 8 чел., смертельно 4 (50%) и при сотрясательном взрывании 5 чел., смертельно 4 (80%).

На основании анализа причин травматизма при ГДЯ установлено, что в нередких случаях работающие подвергаются воздействию поражающих факторов не только из-за непредвиденного входа забоя выработки в опасную по этим явлениям зону, но и вследствие нарушения самими пострадавшими норм и правил безопасности ведения горных работ в таких зонах. Так, в течение 1994 – 1997 г.г. только из-за несоблюдения безопасных расстояний при дистанционном управлении добычными и проходческими машинами и проведении сотрясательного взрывания было травмировано 11 чел., из них 7 смертельно. В 1998 г. при четырех внезапных выбросах угля и газа было травмировано 12 чел., из них смертельно 6. В течение 1999 г. всего на трех шахтах ("Краснолиманская", им. Карла Маркса и "Комсомолец") произошло 4 внезапных выброса, при которых травмировано 23 чел., в том числе 15 смертельно. Вызывает тревогу и тот факт, что за последние 5-6 лет в ежегодной совокупности пострадавших от ГДЯ возрастает примерно на 10% в год количество травмированных при внезапных выбросах и в 2003 г. число их достигло 80%. Основными причинами внезапных выбросов, сопровождающихся травматизмом, являются несвоевременное выявление или ошибочность прогноза опасности зон, вход выработки в зону непрогнозируемого геологического нарушения, некачественное выполнение или неэффективность способов предотвращения этих явлений в изменившихся горно-геологических условиях и пр.

Как показывает практика и мировой опыт мониторинга техногенной и экологической безопасности освоения недр, успешное решение проблемы борьбы с газодинамическими явлениями в шахтах при высоких темпах ведения горных работ возможно лишь в условиях непрерывного контроля за реакцией углепородного массива на технологическое воздействие забойных машин и механизмов.

В последние годы МакНИИ разработаны способы оценки массива

горных пород, основанные на установленных закономерностях взаимосвязи параметров искусственных акустических сигналов с напряженно-деформированным состоянием угольного пласта и вмещающих пород. Наибольшие успехи научного и практического значения достигнуты в разработке автоматизированных способов контроля выбросоопасности по параметрам акустических сигналов, генерируемых добычными и проходческими комбайнами в призабойной части горного массива.

При возбуждении слоистого массива в каждом его слое, разделенном ослабленными контактами, возникают собственные резонансные колебания, частота которых обратно пропорциональна мощности слоя, а амплитуда зависит от степени ослабления контактов. В призабойной части массива ослабление контактов является следствием развития деформаций в процессе выемки угля.

Исследованиями установлено, что при выемке угля активные межслоевые деформации пород кровли происходят на расстоянии до 20-40 м от пласта. Причем, на неопасных участках деформации развиваются регулярно после каждого цикла выемки угля, как правило, на расстоянии 20; 10; 5; 2,5 м от пласта, в спектр акустического сигнала содержит серию резонансных частот, соответствующих указанным мощностям слоев.

На опасных же по выбросам участках происходит задержка деформаций, которая охватывает прежде всего контакты слоев большой мощности и служит источником потенциальной энергии для развития выброса угля и газа. На спектрах акустического сигнала это проявляется в уменьшении амплитуд низких частот и увеличении высокочастотной составляющей.

Чтобы надежно зафиксировать процесс задержки деформаций, анализируются четыре параметра спектра – два частотных и два амплитудных.

Для каждого параметра на неопасном участке пласта определяется критическая величина, превышение которой означает вход забоя в зону задержки деформаций и повышение вероятности формирования выбросоопасной ситуации.

Схема реализации способа контроля следующая. В забое устанавливается сейсмоприемник, который преобразует упругие колебания в электрический сигнал. При помощи аппаратуры сигнал по линии связи передается на поверхность, где он обрабатывается непрерывно на персональном компьютере в реальном времени по специальной программе, обеспечивающей полную автоматизацию процесса обработки информации и выдачи заключения, что исключает влияние субъективного фактора на результаты прогноза выбросоопасности.

Преимущество акустического способа контроля выбросоопасности состоит в низких затратах на его выполнение, в объективности получаемой информации и снижении затрат на противовыбросные мероприятия. Применение этого способа позволило, например, на шахтах им. А.Ф. Засядько, "Комсомолец Донбасса", "Краснолиманская" обеспечить темпы подвига-

ния подготовительного забоя до 10-12 м в сутки.

При ведении очистных работ весьма актуально определение момента посадки основной кровли. Особенно важен момент посадки кровли при отходе забоя лавы от монтажного ходка на величину, близкую к длине очистного забоя. По мере отхода забоя от ходка зависающие слои породы на расстоянии более 10 м от пласта накапливают потенциальную энергию, которая может служить причиной различного рода динамических явлений. Опыт ведения акустического контроля состояния массива в очистных забоях показал, что возможно не только прогнозировать разрушения удаленных от пласта слоев горных пород, но и по величине аномалий параметров акустического сигнала давать оценку степени опасности проявлений горного давления.

Для оценки количественных параметров напряженно-деформированного состояния забоя разработан и применяется в шахтных условиях акустический способ определения величины зоны разгрузки. Способ основан на установленных закономерностях изменения параметров акустического сигнала, возникающего при бурении контрольного шпура, пересекающего зоны различного напряженного состояния: зону отжима, зону разгрузки и максимум опорного давления. Для каждой из них установлены характерные признаки параметров акустического сигнала. Реализация способа осуществляется следующим образом. Вблизи от устья бурящегося шпура устанавливается сейсмоприемник, который подключается к систем передачи сигнала на поверхность, где выполняется его обработка с помощью компьютера по специальной программе. Акустический сигнал обрабатывается непрерывно и в реальном времени. После завершения бурения программа выдает сообщение о величине зоны отжима, разгрузки, расстояния до максимума опорного давления, если шпур перебурил его, и коэффициент пригрузки в максимуме опорного давления по сравнению с зоной отжима. Эти параметры дают достаточно полную и объективную оценку состояния призабойной части угольного пласта.

Поскольку в каждом слое массива горных пород, ограниченном ослабленными контактами, возникают собственные колебания, акустический сигнал – отклик на импульсное возбуждение содержит информацию о его строении. Это является физической основой способа импульсного зондирования кровли или почвы угольного пласта. В спектре импульсного сигнала по резонансной частоте вычисляется мощность слоя, в котором возникли эти колебания, а величина амплитуды характеризует степень ослабления контакта. Помимо этого, по спектру акустического сигнала рассчитываются прогностические параметры, применяемые при контроле выбросоопасности и напряженно-деформированного состояния массива в процессе ведения горных работ.

Акустическое зондирование выполняется путем нанесения ударов по кровле или почве пласта и записи акустического сигнала на шахтный регистратор, что дает возможность выполнять наблюдения оперативно в лю-

бых точках горной выработки с любым заданным расстоянием между ними. Обработка и анализ акустических сигналов производится на поверхности с помощью компьютера. Импульсное зондирование используется для изучения характера развития межслоевых деформаций, расслоения массива, оценки напряженно-деформированного состояния и выбросоопасности в подготовительных и очистных выработках. Данные о характере расслоений горного массива вдоль выработки, о наличии зон повышенных напряжений могут быть использованы для принятия решений об усилении крепления отдельных участков, оценки эффективности крепления, в том числе анкерного. Эта задача решается путем проведения систематических (режимных) наблюдений за состоянием пород кровли вдоль выработки.

Импульсное зондирование применяется также при определении расстояния от полевой выработки до выбросоопасного пласта и при текущем прогнозе прорывов метана из почвы выработок.

Текущий прогноз прорывов метана осуществляется путем импульсного зондирования почвы угольного пласта. Признаком опасной ситуации служит спектр акустического сигнала, на котором лишь одна резонансная частота, соответствующая расстоянию до угольного пласта-спутника. Такая ситуация свидетельствует об интенсивном расслоении вдоль пласта-спутника с образованием источника прорыва метана. Применение текущего прогноза прорывов метана — позволяет рационально использовать бурение дегазационных скважин в качестве профилактических мероприятий.

Принятая методология решения различных задач контроля состояния массива базируется на унифицированном техническом обеспечении: аппаратура передачи акустического сигнала из забоя на поверхность, персональный компьютер, программы обработки информации.

Применение новых разработок МакНИИ позволяет получить не только социальный эффект в виде снижения уровня травматизма, но и экономический, достигаемый за счет ускорения процесса контроля состояния массива, сокращения трудозатрат на его выполнение, повышения темпов проведения подготовительных выработок и нагрузки на очистные забои.

В настоящее время разрабатывается новый программный комплекс, обеспечивающий не только многоканальность приема и обработки информации, но и возможность решать одновременно различные задачи. Ядром обработки будет сервер, к которому подключаются компьютеры малой мощности. Упрощается включение сервера в АСУ шахты, обеспечивается выход в Интернет, что позволит усилить контроль со стороны МакНИИ за состоянием безопасности ведения горных работ.