



С. П. МИНЕЕВ,
доктор техн. наук
(ИГТМ НАН Украины)

УДК 622.817 (571.17)

О предупреждении аварий, связанных со взрывами метана в угольных шахтах*

Рассмотрены основные вопросы предупреждения шахтных аварий, связанные со взрывами метановоздушных смесей и повышенной взрыво-, газо- и пылеопасности при ведении горных работ в шахтах. Проанализированы случаи взрывоаварийности и рассмотрены основные причины и факторы, вызывающие взрыв.

Ключевые слова: авария, взрывы метана, пожар, аэрогазовый контроль, угольная шахта

Контактная информация: sergmineev@gmail.com

К основным факторам, которые приводят к взрыву метана, относят внезапные выбросы угля и газа, суфлярные и импульсные выделения метана. Кроме того, причины взрыва – неправильное разгазирование ранее заперемыченных выработок при изоляции пожаро- или взрывоопасного участка, плановые остановки главных и вспомогательных вентиляторов в результате ревизии, ремонта, демонтажа и переноса оборудования, реверса воздушной струи, инженерные ошибки в расчетах, замерах воздуха, применение несовершенных схем вскрытия, подготовки и отработки пластов, систем разработки, неудовлетворительный контроль за провериванием горных выработок, а также некорректно работающая газоизмерительная аппаратура и другие факторы.

Проанализированы причины и факторы скопления метана, классификация их в отдельные группы, их многообразие, сочетание неблагоприятных факторов, недооценка пылегазовой обстановки в процессе ведения горных работ.

Общие сведения. Сущность вопроса повышенной взрыво-

газо- и пылеопасности при ведении горных работ в шахтах.

Считается, что взрыв метана и угольной пыли – одна из самых опасных подземных аварий. Застигнутые аварией в шахте люди подвергаются угрозе поражения взрывной волной, термического воздействия и отравления ядовитыми продуктами взрыва, возможны также тяжелые последствия от недостатка кислорода в воздухе.

На угольных шахтах ежегодно происходят десятки вспышек и взрывов метана. Наиболее опасны взрывы метана с угольной пылью и последующим возгоранием. Они, как правило, приводят к более катастрофическим последствиям для шахтеров и вызывают серьезные, а иногда и невозможные разрушения на предприятиях. К таким можно отнести аварии на шахтах Украины: им. К. Маркса (г. Енакиеве, в результате взрыва метана разрушилось надшахтное здание), им. А. Ф. Засядько (г. Донецк), «Суходольская-Восточная» (г. Краснодар), «Краснолиманская», шахтоуправление «Покровское» (г. Покровск) и др.

Сообщения о взрывах и погибших вызывают вопросы: почему и что необходимо сделать, предпринять и рекомендовать, предупреждая подобную аварию [1, 2]. Данная проблема не нова, ею занимались высококвалифицированные специалисты и ученые, предложены эффективные меры по предотвращению подобных аварий [1–18]. Однако окончательного решения проблемы нет, поскольку до конца не изучен механизм метановыделения в выработки, его статический и импульсный характер, всевозможные причины появления источника воспламенения, варианты и параметры углепородного массива, существенно влияющих на эти факторы в различных горно-геологических условиях предприятия. Каждое новое расследование и рассмотрение данной проблемы или ее анализ, по нашему мнению, приближает к ее решению, поэтому автор статьи проанализировал проблему с учетом известных ему результатов.

Общеизвестно, что наиболее эффективное средство борьбы с загазированием горных выработок метаном – вентиляция. Воз-

* В порядке обсуждения.

духа в шахту должно подаваться столько, чтобы содержание метана в атмосфере выработок не превышало нормы, установленной Правилами безопасности. Однако на большинстве шахт только вентиляцией невозможно обеспечить безопасную и высокопроизводительную выемку угля. Для таких условий применяется дегазация и другие меры. Кроме того, необходимо учитывать, что при высоких скоростях выемки угольных столбов нередко образуются неожиданные местные и слоевые скопления метана опасной концентрации в результате суфлярных выделений, обрушений основной породы кровли и других загазований импульсного и статического характера.

Взрывоаварийность на шахтах, анализ основных причин. Рассматривая проблему взрывоаварийности, многие специалисты шутят: «Если есть метан – искра всегда найдется». Однако сложнее найти причины и факторы, влияющие на скопления, – статические и импульсные загазования и взрывы метана – их несколько десятков. Проанализируем основные причины и факторы.

- *Нарушение режима проветривания из-за перераспределения воздуха между выработками.* В одних случаях это происходит вследствие: сбойки двух или более подготовительных или выемочных выработок и отсутствия контрольного замера специалистами участка вентиляции и техники безопасности (ВТБ) количественных изменений подачи воздуха по забоям и выработкам прежде всего наиболее удаленных от главных вентиляторов и труднопроветриваемых; нарушения целостности вентиляционных сооружений при выполнении ремонтных, монтажных и других работ; открытие рабочими вентиляционных дверей и перемычек (преднамеренное, вынужденное, непреднамеренное) при передвижении и транспортировании грузов. В настоящее время на угольных шахтах нет профессии дверовых, основные вентиляционные двери в околоствольных и главных выработках автоматизированы или имеют дистанционное управление с блокировкой для шлюзования. К сожалению, вентиляционные двери на участках не обслуживаются, многие не имеют дистанционного контроля их положения и блокировки при шлюзовании. Нередко это может стать основным фактором, вызывающим загазование выработок и аварии. В некоторых

случаях воздухоперераспределяющие перемычки периодически открываются и закрываются, т. е. депрессия периодически изменяется, что является негативным фактором для устойчивости проветривания. То же самое происходит при запуске новых лав – почти всегда возникают новые воздушные потоки, существенно изменяющие депрессию, и воздух часто движется по одному из новых потоков.

При этом, как правило, расчет устойчивости проветривания не выполняется или выполняется с некоторой задержкой. Одна из основных причин аварии 2 марта 2017 г. на шахте «Степова» ГП «Львовуголь» – неуправляемость перераспределением воздуха между выработками. Взрыв и последующее горение метановоздушной смеси произошли, когда в очистном забое работы по добыче не производились.

По указанным причинам часто проветривание не полностью управляемое, поэтому хорошо, когда на шахте имеется значительный резерв воздуха, за счет которого частично покрываются такие потери. Тем не менее низкая скорость движения воздуха приводит к недостаточной турбулентности воздушной струи, что способствует образованию слоевых скоплений метана повышенной концентрации, загазованию куполов, «углов» и других участков. Согласно исследованиям, около половины вспышек и взрывов метана в подготовительных выработках прямо или косвенно связано со слоевыми скоплениями метана. Из-за недостаточной скорости струи воздуха в местах воздействия исполнительных органов проходческих и добычных комбайнов на угольный массив возникают скопления метана высокой концентрации, что нередко приводит к авариям.

- *Изменения режима работы добычных машин и организации работ в сторону ускорения, непринятие при этом мер по увеличению подаваемого в забой воздуха.* На высокопроизводительных угольных шахтах такая причина достаточно распространена для возможных загазований и аварийности. Например, на шахтах есть документация, в которой расчет количества воздуха, необходимого для проветривания очистного забоя, выполнен исходя из среднесуточной нагрузки 1000 т, а в конце или в середине месяца очистной забой два-три дня работает с нагрузкой 2000–3000 т. Аналогичное несоответствие расчетных данных по проветриванию,

фактическому режиму работы характерно и при скоростном проведении горных выработок проходческими комбайнами. При этом техническая служба участков и шахты часто не делает перерасчет количества воздуха, необходимого для соблюдения требований Правил безопасности, а также не увеличивает частоту уборки и увлажнения угольной пыли. По этой причине произошли взрывы метана и пыли на шахтах «Распадская», «Молодогвардейская» (Россия) [4, 5], им. А. Ф. Засядько (Украина) и на др.

• *Изменения горно-геологических условий.* При вскрытии забоем выработки геологического нарушения, зон разгрузки пласта, повышенного горного давления, устьев дегазационных, разведочных и других технических скважин без принятия мер по улучшению проветривания достаточно часто случаются загазования импульсного характера. Изменение среды в горно-геологических нарушениях бывает не очень ярко выражено – в виде перемятого угля, появления пликвативного нарушения, изменения структуры и кливажа угля, крепости и устойчивости вмещающих пород, цвета угля, «потения» забоя и бортов выработки, увеличения притока воды, горного давления на крепь, потрескивания и шелушения забоя на пластах, опасных по внезапным выбросам угля и газа, и др. При этом участок продолжает по инерции выполнять необходимый цикл работ в забое по установившемуся ранее режиму и параметрам. Главное для руководителей и рабочих – своевременно заметить изменения горно-геологических условий и при необходимости вызвать геолога, маркшейдера для выполнения исследований и замеров, пробурить разведочные скважины и на основании имеющейся информации сделать прогноз условий впереди забоя. В соответствии с прогнозом внести коррекцию в параметры технологии, организации работ и меры по безопасности труда.

Даже опытные руководители нередко забывают, что проведение выработки – это разведка пласта и вмещающих пород, так как более половины всех мелких геологических нарушений – непрогнозируемы и, к сожалению, вскрываются только при проходке выработок. Наблюдения и контроль за структурой и поведением пласта нужны не только геологу и маркшейдеру для нанесения на планы горных работ, а прежде всего тем, кто работает в забое для повышения безопасности.

При этом необходимо учитывать начало отработки лавы перед первой посадкой непосредственной и основной кровли во время отхода забоя от монтажного ходка. Такое ежесменное внимание к поведению лавы должно быть сосредоточено особенно до перехода лавой так называемого «квадрата аэрогазовой опасности». На большинстве новых лав в зависимости от горно-геологических условий, свойств угля и вмещающих пород, их газонасыщенности и других параметров выделяется максимум метана в этой зоне «квадрата» и нередко в виде импульса. Еще большую опасность при ведении горных работ представляют лавы, когда монтажный ходок сооружен вблизи геологического нарушения.

Прогнозирование горно-геологических условий, возможных осложнений и принятия мер по безопасности можно отнести к элементам горного искусства, которым должны владеть все квалифицированные специалисты, осуществляющие надзор и контроль за ведением горных работ. В результате неудовлетворительного прогноза геологических нарушений происходило загазирование на многих шахтах, причем нередко импульсного характера, приведшее к авариям на шахтах «Золотое» ГП «Первомайск-уголь» (24.09.93 г.), им. С. М. Кирова ГП «Макеев-уголь» (7.05.01 г.), «Суходольская-Восточная» (29.07.11 г.), «Краснолиманская» (26–27.10.15 г.) и др. [15].

• *Неудовлетворительное управление кровлей и проведение неплановых (часто ненужных) выработок с их последующей изоляцией без погашения.* В этом случае метан скапливается в выработанном, но не обрушившемся пространстве очистных забоев. На некоторых шахтах недооценивают скрытые, неконтролируемые скопления метана в куполах, завалах за механизированной крепью лавы, в изолированной, но не погашенной выработке, на основании того, что метан почти всегда есть в выработанном пространстве. Нельзя считать изоляцией тесовую или органную перемышку, например в тупиковой части вентиляционного или конвейерного штреков, и, тем более, профилактической мерой против попадания метана в действующие выработки. При ведении горных работ наличие старых, неучтенных и давно забытых выработок также может привести к серьезным проблемам, особенно расположение их вблизи газоносного слоя пород или пласта (пропласт-

ка), которые образуют разупрочненные газонасыщенные зоны в массиве. В случае расположения таких выработок и зон несколько выше рассматриваемого очистного забоя породы кровли могут обрушиться и загазировать его. Кроме того, такие обрушения еще более опасны, если, допустим, вышележащий пласт или пропласток находится на стадии самовозгорания или тления.

Неудовлетворительная изоляция выработанного пространства, наличие пустот, больших утечек воздуха, особенно в зонах геологических нарушений и на начальной стадии отработки лавы, неоднократно были причиной самовозгорания угля и последующих взрывов метана с приостановкой горных работ на длительное время. Такие аварии, в том числе с человеческими жертвами, происходили на многих шахтах.

- *Нарушение проветривания тупиковых забоев из-за остановки вентилятора местного проветривания, разрыва вентиляционных труб, пережатия и несвоевременного наращивания в призабойном пространстве.* Особое внимание необходимо уделять низкой скорости движения воздуха по выработкам. Так, в результате слабой турбулентности воздушной струи образуются местные и слоевые скопления метана высокой концентрации, загазирование куполов, «углов», тупиков и других слабообдуваемых участков выработок (забоев). Нередко из-за недостаточного проветривания (скорости струи воздуха) и отсутствия дегазации, а также при отсутствии орошения рабочего органа комбайна возникает скопление метана высокой концентрации и в местах воздействия исполнительного органа проходческих и добычных комбайнов на угольный массив происходит искрение, которое иногда приводит к взрывам метана.

- *Внезапные выбросы угля и газа, суфлярные и импульсные выделения метана.* На шахтах Донецкого, Кузнецкого и других бассейнов аналогичные загазирования выработок участка, крыла, горизонта неоднократно происходили при вскрытии пластов квершлагами, сотрясательном взрывании, когда всех людей из шахты необходимо вывести и отключить электроэнергию. Известны случаи взрывов метана во время или после внезапных выбросов, в том числе спровоцированных выбросов.

Газодинамические явления могут привести к загазированию, последующим взрывам метана

и к взрывам пыли. Так, на шахте «Суходольская-Восточная» в выработке, проводимой взрывными работами в режиме сотрясательного взрывания, произошел выброс, который сбил рукав вентиляционной трубы. После проветривания шахтеры осмотрели забой и восстановили сбитую трубу, в результате из него было выдута незначительное количество метана. В это время электрослесарь начал ремонтировать пускатель, зона проветриваемого метана приблизилась к пускателю, слесарь все скрутил и по телефону попросил проверить, не прикрутив крышку, что было исполнено, произошла вспышка метана, пыль поднялась и взорвалась, в результате все, кто находился в километре от ствола, а это более 20 человек, погибли. Если проанализировать подобную аварию, то это как будто случайное стечение обстоятельств, однако в забой пошли люди, которые уже знали, что из забоя будут выдувать газ, что электрослесарь вместе с механиком должен ремонтировать электропускатель и т. д., а в результате произошла серьезная авария.

- *Неправильное разгазирование ранее заперемыченных выработок при изоляции пожаро- или взрывоопасного участка вследствие быстрого вытеснения из него метана высокой концентрации в выработки.* Контроль состояния аварийного участка во время изоляции осуществляется по концентрации индикаторных газов в выработанном пространстве и температуре, оцениваемой по непредельным углеводородам. По составу рудничного газа оценивают, прекратился ли процесс горения в изолированном пространстве. Содержание оксида углерода в рудничной атмосфере изолированного пространства стабильно в течение одного–двух месяцев ниже допустимой нормы и фоновых значений. На основании изложенного и в соответствии с требованиями «Правил безопасности в угольных шахтах» принимается решение: пожар можно перевести в категорию потушенных и списать с последующим выполнением работ по восстановлению нормального режима проветривания аварийного участка.

Однако в реальных условиях при выполнении работ по разгазированию заперемыченных ранее участков нередко образуются зоны скопления метана повышенной концентрации, которые, двигаясь по выработкам, могут встретить очаги самовозгораний, либо источники

тления или не окончательно потушенного пожара, что приведет к новой вспышке.

- *Плановые остановки главных и вспомогательных вентиляторов в результате ревизии, ремонта, демонтажа и переноса оборудования, реверса воздушной струи.* Из-за изменения депрессии, перераспределения воздуха между выработками и их аэродинамической связи с отработанным пространством происходят подсосы воздуха, непригодного для дыхания, что приводит к групповым несчастным случаям. Кроме того, неудовлетворительное состояние главных вентиляторов, вентиляционной сети из-за нарушений схем вскрытия, недостаточной площади сечения выработок часто служит причиной огромных внешних и внутренних потерь воздуха и не позволяет увеличить количество подаваемого в шахту воздуха. Нередко в этом случае расчеты необходимого количества воздуха «правильно» подгоняются за счет разных коэффициентов к максимально возможным значениям. Это относится к так называемой категории шахт с неудовлетворительным проветриванием вследствие недостаточной подачи воздуха вентиляторами. На некоторых шахтах до их ликвидации подача главных вентиляторов составляла 25–40 тыс. м³/мин, а подавалось в шахту 15 тыс. м³/мин при потребности 18–20 тыс. м³/мин.

- *Инженерные ошибки в расчетах, замерах воздуха, в том числе во время работы главных вентиляторов в разных режимах, на максимальное развитие горных работ, неправильно выбранные режимы проветривания при ликвидации аварий, обрушениях и завалах (наиболее часто при пожарах), в том числе согласно плана ликвидации аварий, могут привести к повторным взрывам.*

- *Применение несовершенных схем вскрытия, подготовки и отработки пластов, систем разработки приводят к образованию местных скоплений метана в «углах» очистных забоев, нишах, тупиках у перемычек при возвратном точном проветривании. Причем местные скопления часто невозможно проконтролировать системой аэрогазового контроля (АГК). Работающие в шахте нередко пренебрегают и тем фактом, что скоплению взрывчатой концентрации метана в отдельных выработках способствует тепловая депрессия, в том числе возникающая во время пожара.*

- *Неудовлетворительный контроль за проветриванием горных выработок.* При оснащении шахт системой аэрогазового контроля (АГК) существенно сокращали штат службы ВТБ и теперь даже раз в сутки не всегда обеспечивается оперативный контроль службы ВТБ за концентрацией метана в выработках и местах, где нет датчиков АГК. Кроме того, используемые системы АГК на шахтах имеют недостатки, которые условно можно разбить на две группы. *Первая* – ошибки при разработке проекта АГК (неправильные расстановка датчиков и подключение их к отключаемому оборудованию, недостаточный учет всех горно-геологических факторов шахты); *вторая* – ошибки при эксплуатации системы АГК, т. е. получение недостоверных данных от датчиков контроля. Основные причины получения не соответствующих действительности данных от датчиков АГК: проблема с электропитанием; перенос датчиков; неправильная настройка и расположение датчиков контроля; потеря связи с сервером; нестабильность системы проветривания; ремонтные операции в системе контроля; отсутствие датчиков скорости воздуха в местах размещения датчиков контроля метана; сбой программного обеспечения работы компьютерного комплекса; технические неисправности аппаратуры, а также человеческий фактор.

- *Некорректно работающая газоизмерительная аппаратура.* В последнее время некоторые элементы газоизмерительной аппаратуры не всегда тарируют и продлевают сроки их эксплуатации в установленном требованиями ПБ порядке и в необходимые сроки. Например, во время работы системы УТАС, выполняющей на шахтах роль информационного канала или управляющей системы, не всегда осуществляется ежесменный контроль – проверка работы датчиков. Это может привести к неточному измерению и к возможному загазированию.

- *Недостаточно правильный учет влияния буровзрывных работ (БВР) на аэрогазовое состояние массива.* На шахтах в процессе и после выполнения взрывных работ происходит интенсивное выделение метана из отбитой горной массы, обнаженного массива, забоя и боков выработки, а также взрывом нередко вскрываются суффлярные выделения газа. В таких случаях, как правило, рекомендуется через 3–5 мин после взрывных работ замерять концентрацию

метана и оценивать возможные кратковременные или длительные загазования с помощью специальной газоизмерительной аппаратуры. При загазованиях забоя выработки и нарушении требований ПБ во время взрывных работах неоднократно происходили загорания, вспышки и взрывы метана от высокотемпературных продуктов взрыва или выгорания взрывчатых веществ (ВВ).

При отработке выбросоопасных угольных пластов в процессе взрывных работ в режиме сотрясательного взрывания часто возникают разные газодинамические явления, в результате которых нередко случаются аварии с человеческими жертвами. В некоторых случаях такие аварии – первопричина дальнейшего их развития в виде последующих взрывов и иногда пожаров [19, 20].

- *Недостаточное внимание, уделяемое сопряжению лав с вентиляционными выработками.* Проведенные газовоздушные съемки на 60 выемочных участках шахт Донбасса при прямо- и возвратноточных схемах проветривания с подсыжением исходящей струи воздуха (схемы типа 2-В и 3-В) и при возвратноточных с погашением выработок (схемы типа 1-М) показали, что абсолютная метанообильность выемочных участков изменялась от 1,5 до 45 м³/мин. Установлено, что даже при наиболее прогрессивных схемах проветривания с подсыжением исходящей струи со стороны целика угля опасные местные скопления метана могут образовываться у верхних охранных полос и в вентиляционной выработке на расстоянии до 25 м от очистного забоя. В лаве такие скопления метана образуются, когда со стороны выработанного пространства у вентиляционной выработки устраивают плотную охранную полосу шириной более 5 м без газоотводящих каналов. При этом метан с утечками воздуха поступает из выработанного пространства в рабочее, образуя в нем местные слоевые скопления со взрывоопасными концентрациями. Длина таких скоплений может достигать 50 м, а толщина при концентрации метана не менее 5 % в основном не превышает 20 см. Местные скопления формируются на участках выработок в 20–100 м от лавы [16].

В случае применения схем проветривания с подсыжением исходящей струи воздуха со стороны выработанного пространства (схема

типа 2-М) на сопряжении очистной выработки с вентиляционной в рабочем пространстве лавы под охранной полосой при метанообильности выработанного пространства более 1,5 м³/мин всегда формируются опасные местные скопления метана. На образование местных скоплений метана влияет скорость движения воздуха в подсыжающей струе. При скорости движения воздуха до 1 м³/мин опасные скопления метана образуются в лаве, а при меньшей – вдоль охранной полосы в выработке с подсыжающей струей. Отметим, что на некоторых шахтах в проектах проветривания выемочных участков схемы не проверяют на опасность образования местных скоплений метана, что приводит к повышенной угрозе аварии.

- *Недостаточное внимание, уделяемое устойчивости вентиляционной выработки.* Установлено, что в результате потери устойчивости выработок (пучение, зажатие, обрушение пород и пр.), как правило, уменьшается площадь их сечения, т. е. уменьшается количество воздуха, проходящего через них и, соответственно, в очистной забой. Это обуславливает существенное уменьшение скорости струи воздуха, что способствует образованию местных и слоевых скоплений метана, особенно на участке сопряжения очистного забоя с вентиляционным штреком. Иногда даже незначительное скопление метана (объемом менее 1 м³) при возгорании и вспышке служит причиной серьезных аварий. Такие аварии зафиксированы в последнее время на шахтах «Степова» (3 марта 2017 г.), «Новодонецкая» (12 июня 2017 г.) и др.

- *Неправильный выбор места размещения участкового электрооборудования.* В некоторых случаях на шахтах, обрабатывающих пологие пласты, на вентиляционном штреке устанавливают электрооборудование, иногда в нем обустраивают и скребковый конвейер, т. е. вентиляционный штрек фактически начинает выполнять роль конвейерного. В подобном случае исходящая струя нередко с повышенными концентрациями метана попадает на участковое электрооборудование, которое не всегда имеет надежную взрывозащиту.

- *Недостаточное внимание, уделяемое содержанию метана и индикаторных газов для дорабатываемых лав.* При ведении горных работ в высокопроизводительных лавах, особенно после длительной остановки забоя по разным

причинам (например, после аварий в этой лаве или на соседних участках) фоновые концентрации индикаторных газов не всегда корректно оцениваются по длине очистного забоя и во времени. Часто, особенно при доработке лав, начинают периодически изменяться показатели CO и другие. Указанные изменения не позволяют однозначно констатировать процессы, происходящие в углепородном массиве. Это может быть горение, а может увеличение CO дать и гниение. Поэтому в дальнейшем при доработке конкретной лавы может реализовываться как негативное, так и позитивное развитие событий. Для быстрой изоляции рассматриваемого участка необходимо подготовить и согласовать в установленном порядке техническую документацию на случай возможной реализации аварии, вести постоянный мониторинг газовой ситуации и температуры, предварительно рассчитать и подготовить опасные места в выработках (возможного установления переемычек), продумать вопросы приобретения гипса и других материалов.

● *Недостаточная изученность закономерностей выделения газов в горные выработки.* Источниками газовыделения в шахтах, как правило, являются вмещающие пласт породы, угольные пласты, работающее оборудование и взрывные работы. Две последние группы источников можно рассматривать как точечные, интенсивность которых определяется преимущественно техническими параметрами и несложными для описания и расчета. Газоносные породы – это распределенные источники со существенно изменяющейся во времени интенсивностью. Применительно к метану различают три вида выделения газа с обнаженных поверхностей: обыкновенное, суфлярное и импульсное (внезапное). Поэтому адекватное математическое описание этих процессов и установление корректных закономерностей метановыделения в выработки имеет весьма значительное научное и практическое значение с точки зрения повышения безопасности ведения горных работ.

Не менее серьезным моментом для оценки возможного метановыделения в шахте является учет влияния солнечной активности, приливных деформаций, фаз луны и других факторов космогенного характера. К настоящему времени выполнен комплекс исследований по возможности прогнозирования разных аэрогазовых про-

явлений как динамического, так и статического характера. В частности, было изучено влияние приливных деформаций, солнечной и лунной активности на газодинамические явления.

● *Недостаточный учет влияния выработанного пространства на взрывоопасность в шахтах.* Газовыделение из выработанных пространств наблюдается в выработках, оконтуривающих зону обрушения. В выработанные пространства метан поступает из угольных пластов и пропластков, невынимаемых целиков и пачек, попадающих в зону обрушения, а также из сближенных пластов в разгруженной части массива (подработанной и надработанной толщ пород). Фильтрация газа из выше- и нижележащих слоев осуществляется под действием разного давления газа в невынимаемых пластах и в выработанном пространстве. Оценка интенсивности газовыделения – наиболее сложная для ее формализованного математического описания, так как процесс выделения метана в данном случае в значительной степени определяется утечками воздуха через обрушенные породы. Условия поступления метана в область фильтрационного потока утечек также достаточно сложны, и взаимодействие потока утечек с процессами десорбции метана из вмещающего массива при его разгрузке почти не изучено. Прогноз газовыделения затрудняется тем, что источники его многочисленны и различны как по интенсивности, так и по своей локализации в пространстве.

Установлено, что метановыделение из вмещающего массива в выработанное пространство тесно связано с процессами сдвижения пород в процессе очистной выемки. Наиболее интенсивна газоотдача в зоне частичной разгрузки от горного давления, которая перемещается вслед за лавой. Так же перемещается и зона интенсивного проветривания обрушенных пород. Взаимоналожение этих зон распределяет метан в выработанном пространстве. Так, вблизи очистного забоя концентрации минимально низкие, по мере удаления в глубь выработанного пространства они возрастают, достигая максимума примерно на границе зоны интенсивного проветривания, и затем снижаются и стабилизируются на некотором уровне в зоне уплотнения обрушенных пород. Для ряда схем проветривания (с двусторонним примыканием выработок к выработанному пространству)

положение зоны высоких концентраций зависит от интенсивности фильтрационных потоков. Тем не менее решение таких задач может существенно повысить безопасность работ в шахтах.

• *Отсутствие в достаточной степени корректных методик и аппаратуры по оценке природной метаноносности угля и вмещающих пласты пород.* Отсутствие указанных методик не дает возможности оценивать фактическую опасность при разной степени метановыделение и возможности последующих загазирования выработок в реальных условиях ведения горных работ. Поэтому необходимы более глубокие исследования по совершенствованию методик определения метаноносности горного массива, повышению надежности проводимых исследований и совершенствованию технического оснащения лабораторий. Такой комплексный подход к изучению газоносности, совершенствованию нормативных документов и оснащению технических лабораторий позволит более надежно оценить фактическую метаноносность конкретного забоя, чем существенно повысить безопасность работ.

Анализируя и обобщая причины скопления, загазирования, взрывов метана с позиции проветривания следует заметить, что каждая из причин имеет свои разновидности. Выделение причин и факторов скопления метана, классификация их в отдельные группы выполнены условно для того, чтобы показать их многообразие, на конкретных примерах рассмотреть ту или иную особенность инкубационного периода скопления, загазирования и взрыва метана, обратить внимание на сочетание неблагоприятных факторов, недооценку пылегазовой обстановки в процессе работы.

Загазирования выработок, в том числе местные скопления метана, чаще всего происходят не по одной, а по двум, трем и большему числу перечисленных причин. При расследовании взрывов определяется основная причина, а косвенные, но не менее существенные, упускаются. Более того, иногда причины скопления метана до взрывной концентрации не относят к основным, так как при расследовании все внимание концентрируется на выявлении источника взрыва метана и угольной пыли. Это принципиально неправильное направление и ошибочное мнение. Если в выработке есть систематическое

превышение концентрации метана сверх норм ПБ, источник воспламенения всегда найдется. Большая половина перечисленных факторов и причин характерны для многих шахт, примерно половина из них присуща шахтам III категории и сверхкатегорийным, опасным по выделению и взрыву метана. Почти на каждой шахте сложилась тенденция к ежегодному повышению газовыделения.

Одновременно с наличием аналогичных причин взрывов метана и катастроф есть десятки, сотни разных сочетаний и неблагоприятных сочетаний обстоятельств как с выделением метана, так и проветриванием, т. е. каждый взрыв – это результат того, что кто-то что-то неправильно оценил, спрогнозировал, принял ошибочное решение, неправильно действовал и т. д.

Основные направления и меры по снижению взрывоопасности шахт. Извлечение метана, дегазация угольных пластов и горного массива с поверхности в региональном масштабе месторождений для подготовки запасов угля к высокоэффективной и безопасной работе пока не всегда осуществляется. Подземный способ дегазации пластов, их спутников, горного массива применяется в недостаточных объемах, чаще всего на тех шахтах (или пластах), где средствами вентиляции невозможно снизить содержание метана в горных выработках до норм, определенных ПБ, а не как профилактическая мера, повышающая безопасность, исключая взрыв метана.

Таким образом, метан остается одним из самых опасных спутников шахтеров, особенно при проведении выработок и очистной выемки угля, создавая дополнительные трудности и экономические проблемы во время разработки многих угольных месторождений. Основным направлением снижения взрывоопасности следует считать дегазацию. В связи с интенсивностью горнопроходческих и очистных работ увеличивается количество выделенного метана из горного массива и отбитой горной массы. В отдельных выработках за сутки скапливается 1000–3000 м³, а в очистных забоях – в среднем 20–30 м³ на 1 т суточной добычи (на отдельных шахтах 100–150 м³). Этот фактор свидетельствует, что некоторые очистные и подготовительные забои работают на пределах возможности по проветриванию (наличию содержания метана на исходящих струях до 1–1,3%), что не

позволяет увеличить суточный объем добычи и проходки.

На шахтах имеются удлинения и усложнения вентиляционных сетей. В основном это связано с прекращением проходки стволов, отставанием проходки капитальных горных выработок, вскрытием запасов на нижележащих горизонтах по временным локальным схемам, что увеличивает протяженность поддерживаемых выработок на 1000 т добычи угля, расход электроэнергии на проветривание, внешние и внутренние потери воздуха.

Сложные вентиляционные сети, высокое сопотвление горных выработок, выборочная отработка пластов на многих шахтах требуют реконструкции вентиляции. Вентиляцию периодически необходимо реконструировать и упорядочивать основные ее параметры. Иногда выделение метана происходит неравномерно. Зональное, внезапное и импульсное выделение при выбросах угля и газа приурочено к периодическому обрушению основной кровли, геологическим нарушениям, в некоторых случаях оно труднопрогнозируемое и непредсказуемое. Всякая внезапность увеличивает вероятность аварии. Поэтому необходимо повысить достоверность выполняемого анализа горных и газовых условий.

● *Почему же, несмотря на существующие комплексы мероприятий, происходят взрывы в шахтах? Что лежит в основе этих аварий? И главное, что делается в направлении сближения с мировым уровнем газовой безопасности угольных шахт? Содержащийся в угольных пластах метан нельзя оценивать как свободный газ, так как миллионы лет он сохраняет свое состояние в составе углекислотного вещества, находясь достаточно близко к дневной поверхности при вполне значимой для этого периода времени проницаемости. Известно, что свободного газа в угле не более 8–15 %, а остальной находится в связанном состоянии, это в основном сорбированный газ, а также при определенных условиях в разном количестве гидратный, генерируемый в угле, и другие виды. Аналогичная ситуация и в окрестностях горных выработок, когда за небольшой зоной газоистощения газодинамические характеристики пласта сохраняются десятки лет. Границу этой зоны принято называть по-разному, например «газовый барьер». Природа его существования еще не со-*

всем изучена, хотя уже есть ряд научно обоснованных гипотез [11, 18].

В период разработки месторождения метан способен не только интенсивно выделяться, но и формировать процесс динамического саморазрушения пласта угля и даже прочного песчаника в виде внезапного выброса с интенсивностью десятки тонн угля и сотни кубометров метана в секунду. Так, на шахте им. Ю. А. Гагарина (г. Горловка) зафиксирована максимальная масса выброса до 14 тыс. т угля за 3,5 мин и 350 тыс. м³ метана.

Рассматривая особенности возникновения, развития и затухания различных видов газопроявлений, отметим принципиально важный момент. Все они приурочены к зонам влияния технологического воздействия – чем оно интенсивнее, тем динамичнее возможная реакция горного массива. В то же время скорости выемки угля становятся столь велики, что существующие методы и средства оценки ситуаций приводят к запаздыванию управляющих решений и, соответственно, к снижению их эффективности. Технолог и проектировщик на шахте сталкиваются с типичной ситуацией «информационного барьера», характеризующейся тем, что сложность управляемой системы, количество причинно-следственных связей по объему информации намного превосходят возможности по ее переработке человеком или группой специалистов. Выход может быть найден только на пути использования современных автоматизированных систем с компьютерным управлением. Однако известные системы, в том числе с компьютерным оснащением, пока ограничены информационно-контролирующими функциями.

Из опыта известно, что любое сооружение и предприятие имеют определенный срок эффективной эксплуатации. Однако по экономическим причинам его не всегда придерживаются, и, как следствие, снижаются требования к правилам безопасности. Статистика показывает, что в среднем система газового контроля шахт как минимум раз в сутки сигнализирует о неблагоприятном состоянии технологии подземной разработки. Считается, что до 2 % газифицированных перерастает в горение, вспышки и взрывы метановоздушной смеси.

Человеческий фактор – достаточно распространенная причина серьезных аварий. Как

правило, такие аварии происходят на шахтах, оснащенных современной высокопроизводительной угледобывающей техникой. С одной стороны, достаточно часто искрой для взрыва или вспышки является безразличное отношение к требованиям ПБ.

В последнее время принято считать, что практически все аварии, связанные со взрывами метана и угольной пыли, происходят в основном из-за грубых нарушений Правил безопасности, т. е. человеческого фактора.

К сожалению, так проще расследовать аварию, проще найти причину и виновника, которого накажут впоследствии. Хотя все понимают, что в результате извлечения из недр огромных объемов угля происходит существенное сдвигание подработанного и надработанного горного массива, что не может при определенных горно-геологических условиях не сопровождаться непрогнозируемыми естественными природными явлениями, в том числе и ранее неизвестными.

Выводы. Проанализированы основные, по мнению автора, причины взрывов, вспышек и возгораний метановоздушных смесей при ведении горных работ в угольной шахте.

Выполнено предварительное классифицирование причин аварий, связанных со взрывами метана.

Автор хотел бы надеяться на серьезную научную и техническую дискуссию в печати по поднятой теме.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Минеев С. П.* Враг или друг шахтный метан? Это решают люди / С. П. Минеев // Охрана труда: приложение к журналу. – 2017. – № 12. – С. 49–53.
2. *Минеев С. П.* Способы прогноза и борьбы с газодинамическими явлениями на шахтах Украины / С. П. Минеев. – Мариуполь: Вост. издат. дом, 2016. – 286 с.
3. *Бабокин И. А.* Профилактика и ликвидация аварий в угольных шахтах / И. А. Бабокин // Уголь. – 1996. – № 9. – С. 53–55.
4. *Опарин В. Н.* Аналитический обзор взрывов метана в шахтах Кузбасса / В. Н. Опарин, В. А. Скрицкий // Уголь. – 2012. – № 2. – С. 29–32.
5. *Костарев А. П.* О предупреждении взрывов метана и пыли и снижении взрывоопасности шахт / А. П. Костарев // Уголь. – 2002. – № 1. – С. 57–62.
6. *Сластунов С. В.* Обоснование выбора и эффективная реализация способов дегазации при интенсивной отработке газоносных угольных пластов – ключевой вопрос обеспечения метанобезопасности угольных шахт / С. В. Сластунов, Г. П. Ермак. – Уголь. – 2013. – № 1. – С. 21–24.
7. *Носенко В. Д.* Как ликвидировать взрывы метана на шахтах / В. Д. Носенко, Ю. Л. Худин // Уголь. – 2012. – № 2. – С. 33–36.
8. *Рубан А. Д.* Подготовка и разработка высокогазоносных угольных пластов: Справочное пособие / [А. Д. Рубан, В. Б. Артемьев, В. С. Забурдаев, В. Н. Захаров и др.]. – М.: Горная книга, 2010. – 500 с.
9. *Колесниченко Е. А.* Причины и возможные методы предотвращения взрывов метана и пожаров в шахтах России / Е. А. Колесниченко, И. Е. Колесниченко // Горная пром-ть, 2004. – № 1. – С. 5–11.
10. *Булат А. Ф.* Управление аэрологическими и геомеханическими процессами в угольных шахтах / [А. Ф. Булат, К. К. Софийский, Б. В. Бокий, А. В. Шейко и др.]. – Мариуполь: Вост. издат. дом, 2016. – 300 с.
11. *Минеев С. П.* Горные работы в сложных условиях на выбороопасных пластах / С. П. Минеев, А. А. Рубинский, О. П. Витушко, А. Г. Радченко. – Донецк: Вост. издат. дом, 2010. – 604 с.
12. *Мясников А. А.* Предупреждение взрывов газа и пыли в угольных шахтах / А. А. Мясников, С. П. Старков, В. И. Чикунов. – М.: Недра, 1985. – 205 с.
13. *Эндогенные пожары на угольных шахтах Донбасса. Предупреждение и тушение. Инструкция: КД 12.01.401-96.* / [П. С. Пашковский, В. К. Костенко, В. П. Заславский и др.]. – Донецк: НИИГД, 1997. – 68 с.
14. *Брюханов А. М.* Расследование и предотвращение аварий на угольных шахтах / [А. М. Брюханов, В. И. Бережинский, К. К. Бусыгин и др.]. – Донецк: Изд. НОРД-ПРЕСС, 2004. – Ч. 1. – 548 с.
15. *Минеев С. П.* Оценка импульсного метановыделения в зонах геологических нарушений при обрушении кровли / С. П. Минеев, В. Н. Кочерга, А. С. Янжула // Уголь Украины. – 2016. – № 1. – С. 11–18.
16. *Агафонов А. В.* Условия образования метана на сопряжениях лав с вентиляционными выработками // А. В. Агафонов, А. И. Бобров, Е. П. Захаров, И. Н. Попов // Уголь Украины. – 2004. – № 7. – С. 30–31.
17. *Ун Л. Х.* О результатах расследования аварий на шахтах Кузбасса, отрабатывающих склонные к самовозгоранию пласты / Л. Х. Ун, П. А. Шлапоков, А. И. Кравченко, А. В. Лебедев // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной пром-сти: Кемерово. – 2013. – № 2. – С. 20–25.
18. *Минеев С. П.* Активация десорбции метана в угольных пластах / С. П. Минеев, А. А. Прусова, М. Г. Корнилов. – Днепропетровск: Вебер, 2007. – 250 с.
19. *Mineev S.* Application of shock blasting mode in mine roadway construction / S. Mineev, O. Yanzhula, O. Yulai, O. Miniev, V. Zabolotnirova // Mining of Mineral Deposits, National mining university. – 2016. – Vol. 10. – Is. 2. – Pp. 91–96.
20. *Минеев С. П.* Використання режиму струсного підривання при проведенні виробок / С. П. Минеев, А. С. Янжула, М. А. Кишкань, О. С. Минеев // Геотехн. механіка. – 2016. – Вып. 129. – С. 173–180.