

ТЕХНОЛОГИЯ ДОБЫЧИ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

УДК 622.831.325.3

ВЗРЫВЫ МЕТАНА НА ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ УЧАСТКАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ И ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ

М. В. Курленя, В. А. Скрицкий

*Институт горного дела им. Н. А. Чинакала СО РАН, E-mail: scritsky@mail.ru,
Красный проспект, 54, 630091, г. Новосибирск, Россия*

Приведен анализ материалов исследований взрывов при отработке механизированными комплексами пологих и наклонных угольных пластов. Показано, что наиболее вероятной причиной их возникновения является воспламенение метановоздушной смеси и последующие за этим взрывы в выработанном пространстве, которые инициируются очагами самовозгорания угля. При этом горящий газ выносится взрывной волной в очистной забой и в прилегающие горные выработки, вызывая взрывы угольной пыли. Описан механизм самовозгорания угля в краевых частях межглавных целиков, находящихся под воздействием горного давления.

Угольный пласт, горное давление, вентиляция выработок, самовозгорание угля, взрыв метана, безопасность горных работ

DOI: 10.15372/FTPRPI20170509

Разработка газоносных угольных пластов на высокопроизводительных участках шахт является одной из сложнейших проблем, связанной со взрывом метановоздушных или метанопылевоздушных смесей с катастрофическими последствиями. За период с 16.06.1992 г. по 24.08.2010 г. на шахтах Кузбасса произошло 40 аварий различного вида и погибло 538 человек. Для 492 человек жизнь закончилась летально из-за имевших место 23 взрывов метана, 13 из которых случились на шахтах, обрабатывавших пологие пласты. Они унесли жизни 456 человек. На шахтах, обрабатывавших крутые пласты, было зарегистрировано 10 взрывов метана и погибло 36 человек [1, 2].

В 70–80-е гг. прошлого столетия взрывы и воспламенения метана в Кузбассе происходили в основном при выемке крутых пластов. Источником огня, инициировавшим воспламенение метана, главным образом были очаги самовозгорания угля в выработанном пространстве, которые из-за особенностей технологических схем горных работ обнаруживались не на ранней стадии, а на стадии, когда наблюдались выделение дыма в выработки и вспышки метана. Локальные объемы метана взрывоопасной концентрации накапливались в вышерасположенном выработанном пространстве и не примыкали к очистному забою, поэтому, когда в эти скопления метана перепускался горящий уголь из очагов самовозгорания, то за исключением ударной волны вспышки и взрывы метана обычно не распространялись по очистному забою и смежным горным выработкам.

Пологие и наклонные угольные пласты средней мощности в эти годы обрабатывались преимущественно системой длинных столбов по простиранию с обрушением пород кровли. Проветривание выемочных участков осуществлялось только возвратноточным способом. Межлавные целики не прорезались сбойками, что позволяло исключить аэродинамическую связь между выработками. Воздух для проветривания очистного забоя подавался по конвейерному штреку. Исходящая струя воздуха отводилась по вентиляционному штреку. На сопряжении вентиляционного штрека с выработанным пространством, помимо замеров концентрации метана, выполнялся анализ проб газов и оценивалась текущая эндогенная пожароопасность по балансу влагосодержания в утечках воздуха. В результате такого контроля за термовлажностными параметрами и концентрацией оксида углерода (СО) в потоках воздуха, проходящих через выработанное пространство, очаги самонагрева угля выявлялись на начальной стадии их образования. В случае превышения концентрации СО и иных индикаторных газов оперативно принимались меры по локализации и подавлению очагов самонагрева угля. Именно поэтому на выемочных участках, проветриваемых возвратноточным способом, взрывы метана не происходили.

Ранее производительность очистных забоев при отработке пластов пологого и наклонного залегания на шахтах не превышала 1 тыс. т угля в сутки и проблем с проветриванием выемочных участков не возникало. Однако, когда производительность машин и оборудования в очистных забоях достигла 3–5 тыс. т угля в сутки и более, появились сложности с соблюдением законодательно закрепленных “Правилами безопасности” (ПБ) нормативных требований к скорости воздуха и предельной концентрации метана (1 %) в исходящей струе воздуха.

Чтобы обеспечить высокую производительность выемочных участков и соблюсти требования ПБ к вентиляционным параметрам, система разработки длинными столбами по простиранию с обрушением кровли была существенно преобразована (рис. 1) [3, 4]. В этом случае отработка угольных пластов вне зависимости от наличия или отсутствия их склонности к самовозгоранию проводится с использованием многострековой подготовки выемочных столбов и комбинированной схемы проветривания вентилятором ВМЦГ-7 для отвода метана из выработанного пространства [5]. Вследствие этого суточная добыча из одного очистного забоя достигает 10–20 тыс. т и более, например, на шахте им. В.Д. Ялевского.

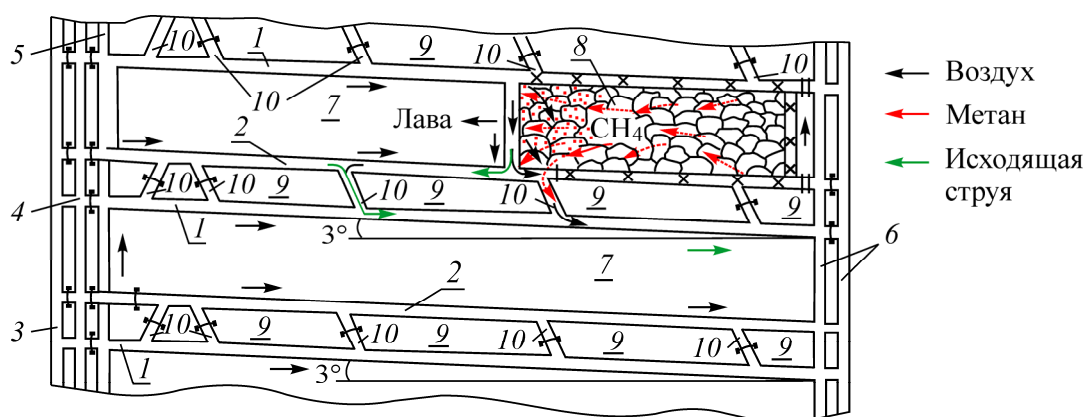


Рис. 1. Технологическая схема многострековой подготовки пологих угольных пластов с применением комбинированной схемы проветривания очистных забоев, обеспечивающая высокопроизводительную отработку выемочных участков: 1 — вентиляционные штреки; 2 — конвейерные штреки; 3–6 — уклоны, соответственно, конвейерный, вентиляционный, людской и фланговые; 7 — выемочные столбы; 8 — выработанное пространство; 9 — межлавные целики; 10 — вентиляционные сбойки

Для обеспечения такой производительности длина очистных забоев возросла до 300 м, а скорость подвигания очистных забоев достигла 200–300 м/мес. Интенсификация очистных работ способствовала увеличению опорного горного давления, действующего на краевые части угольных целиков, остающихся в выработанном пространстве.

В горнодобывающей промышленности по мере роста механизации труда производственный травматизм снижается. Однако в течение последних 20–25 лет на шахтах Кузбасса возникла парадоксальная ситуация: с повышением уровня механизации и производительности труда наблюдается существенное возрастание травматизма со смертельным исходом, вызванным взрывами метана на выемочных участках. Весьма симптоматично, что, начиная с 1992 г., после введения многоштрековой подготовки почти ежегодно стали происходить взрывы метана, причем с катастрофическими последствиями по групповому производственному травматизму со смертельным исходом (таблица).

Взрывы метана на высокопроизводительных участках шахт Кузбасса

Дата	Шахта, место аварии	Количество пострадавших		Горнотехнические параметры угольного пласта				Причина взрыва метана по заключению комиссий, расследовавших аварию
		Общее число	Со смертельным исходом	Пласт	Мощность, м	Глубина залегания, м	Газоносность, м ³ /т	
30.03.2001	“Распадская”, лавы 3-10-7 и 4-10-3	7	4	10	1.9–2.4	148	25	Искрение, перебит блокировочный кабель
02.04.2002	“Антоновская”, лава 30-29	9	—	К-1	3.0–3.8	320	12.85	Искрение при трении обрушенных пород
11.02.2003	“Алардинская”, лава 21-1-52	27	2	21	6.6	200	Сверх-категорийная	Источник воспламенения — повреждение бронированного кабеля ВМЦГ-7
10.04.2004	“Тайжина”, лава 1-1-5-5, конвейерный штрек 1-1-5-6	53	47	Е-5	2.8	320	Сверх-категорийная	Искрение при повреждении высоковольтного кабеля на конвейерном штреке 1-1-5-6
08.02.2005	“Есаульская”, лава 29-26	29	25	29	2.3	353	Сверх-категорийная	Самовозгорание угля в выработанном пространстве в окрестности лавы
19.03.2007	“Ульяновская”, лава 50-11	110	110	50	2.2–2.6	220	9.8	Искрение при повреждении силового кабеля комбайна
24.05.2007	“Юбилейная”, лава 15-16	39	39	15	1.54	450	Сверх-категорийная	Искрение между жилами в силовом кабеле при его натяжении

Подготовка выемочных столбов обычно проводится парными выемочными штреками с оставлением между ними угольных целиков. По мере подвигания проходческих забоев целики прорезаются 4–5 и более вентиляционными сбоями в зависимости от длины выемочного столба, через которые возникает аэродинамическая связь между очистными забоями и ранее выработанными пространствами. Выемочные участки проветриваются по комбинированной схеме. Воздух для очистного забоя подается по вентиляционному штреку и его направление движения по лаве изменяется на нисходящее. При высокопроизводительной отработке угольного пласта выделяется до 60–80 % метана в выработанном пространстве. Поэтому от 20 до

30 % воздуха для удаления из него метана пропускается в газоотводящую выработку, в качестве которой используется вентиляционный штрек подготавливаемого к отработке следующего выемочного столба [6–8].

В результате очистных работ на краевую часть пласта и межлавные целики действует опорное горное давление, интенсивно деформируется и разрушается угольный массив с выделением тепла. На рис. 2 представлены данные натуральных измерений изменения температуры угля в межлавленном целике при отработке пласта IV–V на шахте им. В. И. Ленина (г. Междуреченск, Кузбасс) [9].

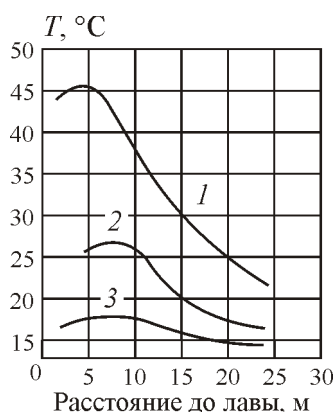


Рис. 2. Изменение температуры угля внутри краевой части межлавного целика по мере нарастания опорного горного давления в процессе подвигания очистного забоя: 1 — в 5 м от борта конвейерного штрека; 2 — в 4 м; 3 — в 2 м

Когда очистной забой приближается на расстояние 5 м к краевой части межлавного целика, температура угля неуклонно возрастает и достигает максимума. Внутри целика она увеличивается до 45 °С. Однако в местах сопряжения вентиляционных сбоек, прорезающих межлавные целики, зона с нагретым углем оказывается вполне проницаемой для воздуха, поскольку из выработанного пространства через них происходят утечки воздуха (рис. 3).

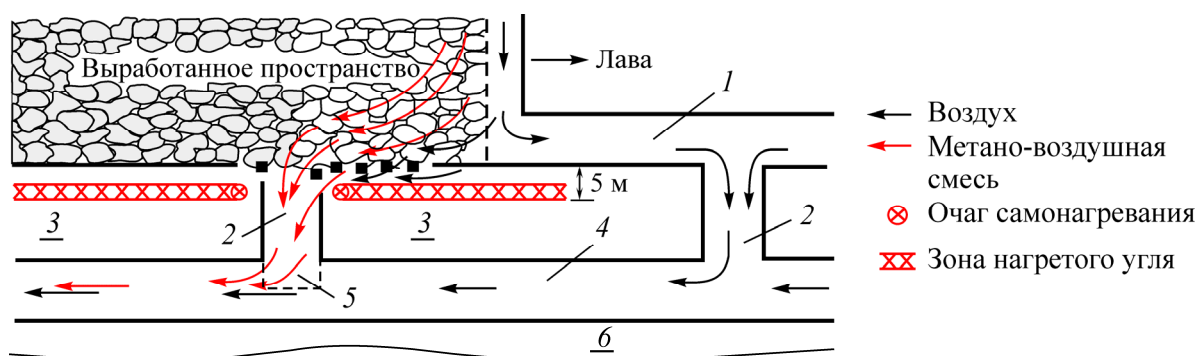


Рис. 3. Зоны с повышенной температурой угля и очагами самонагревания угля, формирующиеся в краевой части межлавного целика в процессе отработки выемочного столба лавой: 1 — конвейерный штрек; 2 — вентиляционная сбойка, прорезающая межлавный целик; 3 — межлавный целик; 4 — газоотводящая выработка (вентиляционный штрек следующей лавы); 5 — камера смешивания; 6 — подготавливаемый к отработке выемочный столб

Вследствие поступления воздуха в краевую часть целика не окисленный и нагретый уголь окисляется и растет его температура. Так как самонагревание угля начинается не с 10–12 °С, а при температуре не менее 35–45 °С [9], то инкубационный период его самовозгорания сокращается.

При отработке выемочного столба через каждую сбойку, прорезающую межлавный целик, в течение одного месяца происходят утечки воздуха, проветривающие выработанное пространство, что приводит к повышению температуры угля в процессе окисления, которое может достигнуть высоких значений — 100 °С и более.

Размеры очагов нагревания, зарождающихся и развивающихся внутри краевой части угольного целика, фактически не превышают 0.2–0.3 м его диаметра [10–12]. В большом количестве воздуха (до 500 м³/мин), перепускаемого через выработанное пространство для удаления метана, концентрация продуктов окисления, выделяющихся в вентиляционную сбойку из очага нагревания угольного массива, снижается настолько, что в отбираемых пробах газа СО не обнаруживается. Поэтому считается, что при высокопроизводительной отработке выемочных участков очаг самонагревания угля отсутствует. Вместе с тем после изоляции сбоек возникшие очаги с нагретым углем в межлавных целиках сохраняются, хотя их развитие приостанавливается.

После перехода к отработке следующего выемочного столба из вентиляционного штрека вновь начинают поступать утечки воздуха в сохранившиеся очаги с нагретым в них углем и возникшие во время отработки предыдущего выемочного столба (рис. 3). Большое количество воздуха, проходящее по вентиляционному штреку, предопределяет его высокий действующий напор. Так как межлавный целик прорезан вентиляционными сбояками, то через них, несмотря на возведенные изолирующие перемычки, существует аэродинамическая связь с системой выработок. Это объясняется тем, что при проходке горных выработок в окружающем массиве вокруг каждой из них образуются зоны разупрочнения углепородного массива. Поэтому даже если тело возведенной в сбойке монолитной перемычки является непроницаемым для воздуха, то вмещающий ее углепородный массив оказывается воздухопроницаемым. На рис. 4 и 5 показано, как утечки воздуха поступают к очагам самонагревания угля на сопряжениях выработанного пространства со сбояками, прорезающими межлавный целик, минуя изоляционную перемычку.

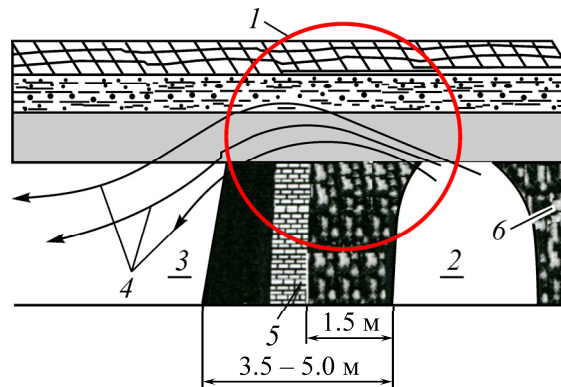


Рис. 4. Движение утечек воздуха через массив горных пород на сопряжении штрека с вентиляционной сбоякой, прорезающей межлавный угольный целик: 1 — техногенно низменное геомеханическое состояние массива горных пород; 2 — вентиляционный штрек; 3 — вентиляционная сбойка; 4 — утечки воздуха в выработанное пространство ранее отработанного выемочного столба; 5 — изоляционная перемычка; 6 — угольный пласт

Из-за поступления воздуха в очаги с нагретым углем его окисление в них активизируется. Если во время отработки выемочного столба окисление угля разовьется до стадии пламенного горения, то огонь выходит на кромку целика, в том числе и в сбойку, прорезающую межлавный целик. В сбояке от горящего угля метан воспламеняется, а затем взрывается в выработанном пространстве действующего очистного забоя. Наибольшую опасность по зарождению очагов самовозгорания представляют сопряжения выработанного пространства со сбояками, которые прорезают целики диагонально.

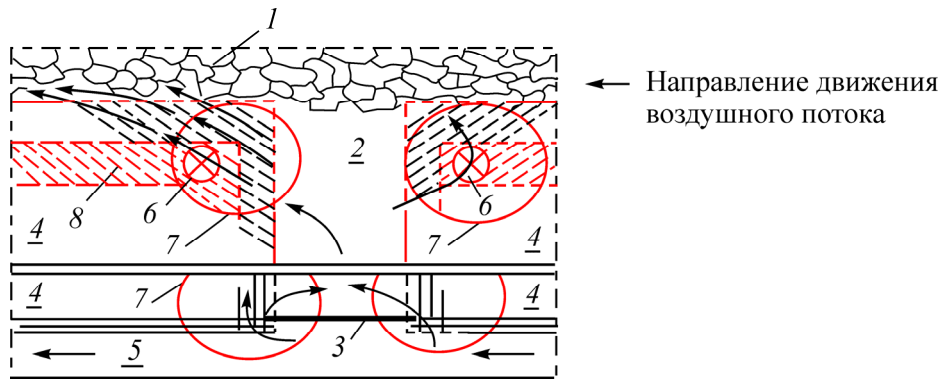


Рис. 5. Развитие очагов самонагрева угля в краевых частях межлавного целика при поступлении к ним утечек воздуха с воздухоподающего вентиляционного штрека: 1 — выработанное пространство; 2 — вентиляционная сбойка; 3 — изоляционная перемычка; 4 — межлавный целик; 5 — воздухоподающий вентиляционный штрек; 6 — потенциальный очаг самовозгорания угля; 7 — техногенно низменное геомеханическое состояние массива горных пород; 8 — нагретый уголь

Из выработанного пространства взрывная волна распространяется по лаве и по примыкающим к ней горным выработкам, где под ее воздействием угольная пыль переходит во взвешенное состояние и одновременно из-под купола обрушенных пород кровли с огнем выносятся метан. Таким образом, аэровзвесь детонирует и происходят повторные взрывы. На примере шахты “Ульяновская” представлена схема распространения взрыва из выработанного пространства по примыкающим к действующему очистному забою горным выработкам (рис. 6).

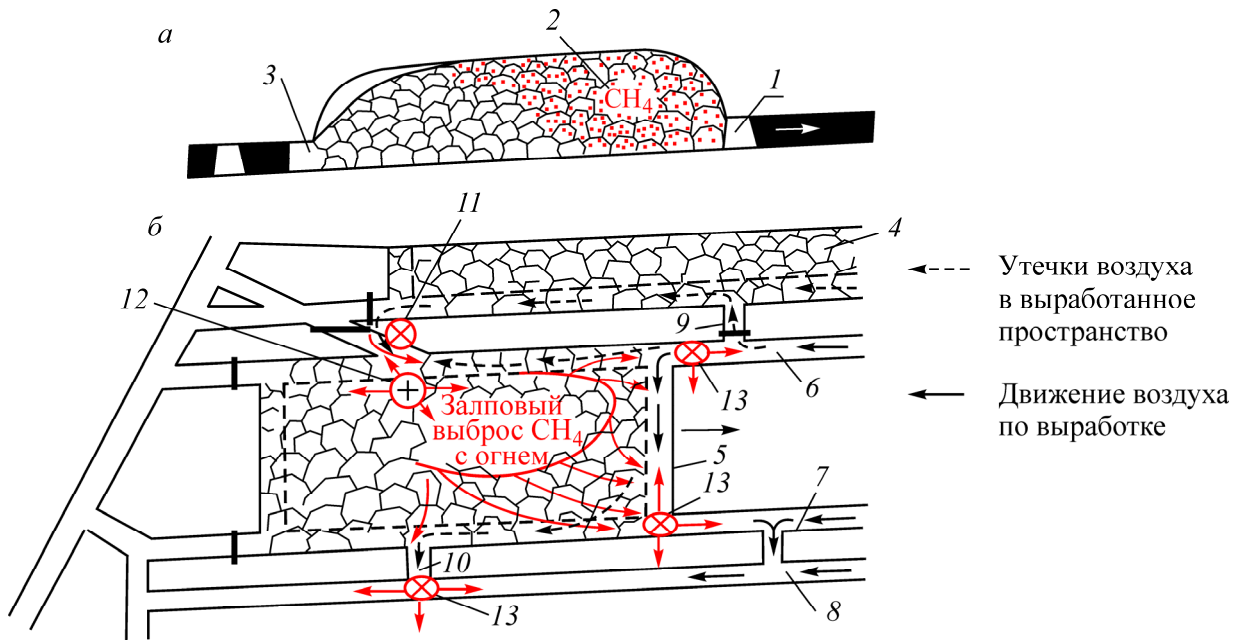


Рис. 6. Схема распространения взрыва метана из выработанного пространства в лаве № 50-11^{бис} шахты “Ульяновская” и в примыкающих к ней выработках: а — формирование метанового “облака” в куполе обрушения пород кровли непосредственно за очистным забоем; б — залповый выброс метана и пламени в лаву из-под купола обрушенных пород кровли под действием взрывной волны от взрыва метановоздушной смеси: 1 — лавы; 2 — аккумулярованный метан в куполе обрушенных пород кровли выработанного пространства; 3 — монтажная камера; 4 — выработанное пространство лавы 50-11; 5 — лавы № 50-11^{бис}; 6 — вентиляционный штрек 50-11^{бис}; 7 — конвейерный штрек 50-11^{бис}; 8 — вентиляционный штрек 50-15; 9 — сбойка № 4; 10 — сбойка № 5; 11 — очаг самовозгорания в краевой части целика; 12 — эпицентр взрыва метана в выработанном пространстве; 13 — эпицентр повторного взрыва метана при наличии угольной пыли

При взрывах метана, особенно с присутствием угольной пыли, повреждаются крепи горных выработок, оборудование и кабельные сети. Поэтому после взрыва метана в горных выработках можно обнаружить как повреждения силовых электрических кабелей, так и изолирующие самоспасатели с пробитыми корпусами, из которых выгорел кислородосодержащий продукт. Это позволяет объяснить практически любой взрыв метана случайными стечениями обстоятельств, включая нарушения правил безопасности, которые допустили сами пострадавшие при аварии. К сожалению, именно к таким стереотипным выводам, как правило, сводятся результаты расследований произошедших аварий. Что касается источников воспламенения метана, то в одних случаях оно вызывалось искрением, образующимся при трении обрушающихся пород кровли, а в других — искрением при повреждении электрических кабелей.

Из заключений о причинах взрывов метана на шахтах следует, что для решения проблемы предотвращения таких аварий отсутствует необходимость в проведении специальных исследований с последующим внесением изменений в технологию отработки выемочных участков и в действующие нормативные документы, регламентирующие безопасный порядок ведения горных работ. Особую озабоченность вызывает то, что взрывы метана на шахтах РФ превратились в повторяющиеся однотипные аварии, на предупреждение которых не оказывали и не оказывают влияния результаты расследований ранее произошедших подобных аварий.

ВЫВОДЫ

В большинстве случаев взрывы метана в действующих горных выработках на высокопроизводительных выемочных участках шахт Кузбасса являются их развитием в выработанном пространстве, где от образовавшихся очагов самовозгорания угля воспламеняется метан и происходят первичные взрывы. Официальные расследования практически не устанавливают причины возникновения подобных аварий, а объясняют их случайными стечениями обстоятельств. Ни собственники угледобывающих предприятий, ни Ростехнадзор РФ не озадачивают ученых решением этой актуальной проблемы. Именно поэтому на высокопроизводительных шахтах России продолжают взрываться метан и угольная пыль, что приводит к тяжелым социальным последствиям. С этой целью необходимо проведение аналитических и шахтных исследований, на основании которых должен быть разработан комплекс мероприятий как по предотвращению очагов самовозгорания угля, так и по дегазации выработанного пространства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Анализ** аварийности на предприятиях угольной промышленности России за 1998 год / А. С. Голик, И. Г. Федоров, В. А. Скрицкий и др. — Кемерово: РосНИИГД, 1999. — 11 с; Анализ аварийности на предприятиях угольной промышленности России за 1999 год. — Там же, 2000. — 80 с; Анализ аварийности на предприятиях угольной промышленности России за 2000 год. — Там же, 2001. — 107 с.
2. **Анализ** аварийности на предприятиях угольной промышленности России за 2002 год / А. С. Голик, В. А. Зубарева, И. Г. Федоров и др. — Кемерово: РосНИИГД, 2002. — 123 с.
3. **Технологические схемы** подготовки и отработки выемочных участков на шахтах ОАО “СУЭК-Кузбасс” / В. Н. Демур, С. В. Ясученя, К. Н. Копылов и др. — М.: ООО Киммерийский центр, 2014 (Б-ка горн. инженера. — Т. 3. Подземные горные работы. Кн. 12). — 256 с.
4. **Технологические схемы** многострековой подготовки выемочных столбов для отработки высокогазоносных и самовозгорающихся пологих угольных пластов, обеспечивающих высокопроизводительную и безопасную работу комплексно-механизированных забоев. Утв. приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 22 декабря 2011 г., № 735.

5. **Ордин А. А., Никольский А. М.** О необходимости изменения горного законодательства и нормативных актов для предотвращения взрывов метана на угольных шахтах России // Уголь. — 2016. — № 6. — С. 38–41.
6. **Звягильский Е. Л., Бокий Б. В., Касимов О. И.** Управление метановыделением на выемочных участках угольных шахт. — Донецк: Ноулидж, 2013. — 125 с.
7. **Минеев С. П., Лыжков М. В., Шевченко В. В., Матвий С. П.** Исследование метановыделения в выработки в сложных условиях // Перспективы развития строительных технологий: сб. тр. конф. НГУ. — Днепропетровск, 2009. — С. 144–148.
8. **Минеев С. П., Лыжков М. В., Шевченко В. В.** Особенности оценки метановыделения в выработки выемочного участка // Геотехническая механика: межвед. сб. науч. тр. ИГТМ им. Н. С. Полякова НАН Украины. — Днепропетровск, 2013. — Вып. 111. — С. 112–119.
9. **Попов В. Б., Скрицкий В. А., Храмцов В. И., Обидов С. В.** О природе начального теплового импульса при возникновении очагов самовозгорания угля в шахтах // Безопасность труда в промышленности. — 2002. — № 3. — С. 36–38.
10. **Скрицкий В. А.** Механизм возникновения очагов самовозгорания угля в шахтах и способы их предотвращения. — Новосибирск: ФБОУ ВПО “НГАВТ”, 2013. — 278 с.
11. **Линденау Н. И., Маевская В. М., Крылов В. Ф.** Происхождение, профилактика и тушение эндогенных пожаров в угольных шахтах. — М.: Недра, 1977. — 387 с.
12. **Маевская В. М.** Определение оптимальных утечек воздуха на процесс самовозгорания угля при щитовой системе разработки // Вопросы безопасности в угольных шахтах: сб. науч. тр. ВостНИИ. — М.: Недра, 1961. — С. 54–62.

Поступила в редакцию 31/VIII 2017