

Влияние механодеструкции угля на формирование газодинамических процессов при подземной разработке угольных пластов

В.В. Дырдин, д-р техн. наук, проф., **А.А. Фофанов**, ст. преподаватель, **Т.Л. Ким**, канд. техн. наук, зав. кафедрой, tanyakim@list.ru, **В.Г. Смирнов**, канд. физ.-мат. наук, доцент, **В.П. Тащиенко**, д-р техн. наук, проф., директор Института промышленной и экологической безопасности (КузГТУ, Кемерово, Россия), **А.А. Козлов**, гл. инженер, **Е.А. Плотников**, канд. техн. наук, зам. начальника участка (ПАО «Распадская», Кемерово, Россия)

Рассмотрен вопрос, связанный с безопасным ведением горных работ в угольных шахтах, — влияние механодеструкции угля на формирование газодинамических процессов при подземной разработке угольных пластов. Десорбция газа и разложение газовых гидратов метана при разрушении части массива и падении газового давления — не единственные источники образования дополнительного объема свободного газа, которые влияют на газовую динамику призабойной части угольного пласта. На шахте «Распадская» в Кузбассе проведен эксперимент по установлению закономерностей выделения метана при разрушении угля и его влиянии на газодинамические процессы, происходящие в угольных шахтах.

Ключевые слова: угольный пласт, газодинамические процессы, газогидраты метана, газовый мешок, угольная шахта, механодеструкция, состав природного газа.

DOI: 10.24000/0409-2961-2017-8-10-15

Введение

Принято считать, что основой проектирования систем вентиляции и выбора режимов проветривания очистных и подготовительных выработок, а также управления газодинамической безопасностью является газоносность угольных пластов [1, 2]. Актуальность данной задачи возрастает по мере увеличения глубины горных работ, внедрения в производство высокопроизводительной техники и вовлечения в разработку угольных пластов с труднообрушаемыми кровлями и неблагоприятными горно-геологическими условиями. Газоносность угольных пластов определяется по редкой сетке геологических скважин, пробуренных с дневной поверхности. В большинстве случаев получают значения газового давления, отличающиеся от реальных [3, 4]. Кроме природной газоносности, на газовыделение в выработку влияет концентрация напряжений, определяющих протяженность зоны фильтрующих трещин, т.е. зоны отжима. При расчетах параметров процессов не учитывается возможность образования в зоне опорного давления «газового мешка». Изменение газового давления в его пределах при вторичных осадках основной кровли влияет на динамику метанообильности призабойной зоны и может приводить к формированию выбросоопасных ситуаций [5, 6]. Натурными исследованиями установлено, что в не очень крепких породах кровли при глубине залегания около 100 м поднятие нижней части кровли может составлять около 3 см на расстоянии 10–15 м от очистного забоя [5].

Зависание пород труднообрушаемой кровли в выработанном пространстве и последующие обрушения, по данным М.Ф. Шклярского и П.Ф. Глу-

шихина [7], создают динамические нагрузки на краевую часть пласта, а коэффициент концентрации напряжений при этом может достигать 4–9. Это вызывает разрушение отдельных зон угольного пласта, т.е. приводит к зональной дезинтеграции массива [8, 9].

В этой связи задача данной работы — изучение процессов газовыделения при разрушении угля и оценка возможности их влияния на газодинамические процессы в краевой зоне угольного пласта.

Десорбция газа и разложение газовых гидратов метана

Разрушение отдельных слоев и зон угольного пласта может происходить в разных формах. Одна из них — образование протяженных трещин, субпараллельных очистному забою, что приводит к уменьшению в этой зоне и газового давления, и механических напряжений. Следовательно, если термобарические условия и влажность на данном участке соответствуют условиям существования газовых гидратов метана, то дальше будут происходить их диссоциация и резкий рост газового давления. Необходимо заметить, что газовые гидраты метана могут образовываться при температуре выше 10 °С при суммарном давлении в системе более 7 МПа. Если угольный газ, кроме метана, содержит до 25 % примеси этана, то газовые гидраты могут образовываться при температуре до 17 °С. У метана, в отличие от других газов, не существует квадрупольная точка, поэтому он может образовывать гидраты и при более высоких температурах. Необходимо только давление в системе выше давления, определяемого равновесной кривой для данной температуры. В массиве оно достигается за счет суммарного действия свободного метана

и механических напряжений угольной матрицы. Поскольку газовые гидраты метана образуются из метана и поровой влаги, то размеры их не превышают размеров пор, поэтому скорость их диссоциации достаточно высокая [10, 11]. При влажности пластов 2,5–3,5 % гидратонасыщенность может составлять 2,6–3,9. Следовательно, при образовании трещин или разрушении отдельных участков пласта впереди очистного забоя силами горного давления давление свободного газа за счет диссоциации газовых гидратов метана может увеличиваться в 1,5–2 раза [10].

Десорбция газа и разложение газовых гидратов метана при разрушении части массива и падении газового давления — не единственные источники образования дополнительного объема свободного газа, влияющего на газовую динамику призабойной части угольного пласта. В работе [12] показано, что рост трещин в массиве только за счет газа, заключенного в трещине и примыкающем объеме, невозможен. Это связано с тем, что при этом растет объем самой трещины, а газовое давление опускается ниже, необходимого для поддержания роста трещины. Но сам факт возникновения газодинамических процессов в краевой зоне пласта свидетельствует о появлении метана из дополнительных источников.

Метан в интеркалированной форме

В конце прошлого столетия российскими учеными открыто свойство органического вещества угля образовывать с газами системы по типу твердых растворов [13–15]. Они возникают как в результате метаморфизма угля, так и путем внедрения молекул газа в межмолекулярное пространство угля при совместном воздействии газового и механического давления [16]. Действительно, расстояние между графитоподобными слоями углеродной решетки, представленной правильными шестиугольниками, составляет около 335 пм, а диаметр полости между слоями — 440 пм. Молекула метана имеет эффективный диаметр около 414 пм [17]. Таким образом, молекула метана, встроенная в решетку угля, свободно перемещаться в ней не может и в процессах сорбции-десорбции не участвует. Такую форму связи молекулы с матрицей называют интеркалированной. В работе [18] проведена оценка максимального количества газа, которое может быть в интеркалированной форме. По мнению авторов, оно может составлять от 60 до 90 м³ метана на 1 т угля. Но дан-

ный газ может выделяться только при частичном или полном разрушении решетки угля.

Экспериментальные исследования

Для установления закономерностей выделения метана при разрушении угля и влияния его на газодинамические процессы в массиве проведен эксперимент на шахте «Распадская» в Кузбассе. Для этого из разрабатываемого угольного пласта 10 с помощью специального керноотборника и перфоратора с глубины 1,5 м отобрали две пробы угля в виде частично разрушенных кернов, одну из которых поместили в герметичный стакан, в крышку которого ввернули кран со штуцером для подключения манометра. В стакан также поместили стальной стержень, с помощью которого дробили керн при вращении стакана. Вторая проба угля подвергалась механическим воздействиям в лаборатории в том же временном интервале, что и первичная проба, для установления зависимости средневзвешенного диаметра частиц от времени разрушения в стакане.

Общая мощность пласта 10 составляет 1,84 м. Выход летучих — 36,3 %, средняя зольность — 13,9 %, а газоносность не превышает 15 м³/т.

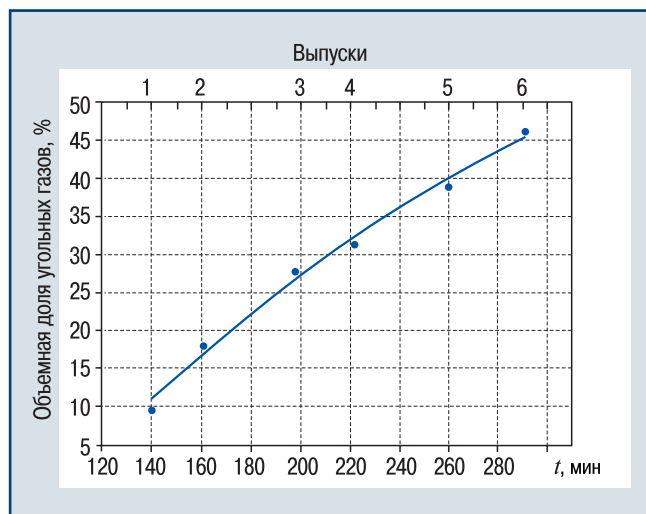
Перед началом дробления угля измеряли давление газа в стакане, который десорбировался из пробы за время доставки ее из шахты в лабораторию. Избыточное давление составило 17,33 кПа. После этого газ из стакана отобрали в специальную «грушу» и отправили на хроматографический анализ. Затем стакан поместили на лабораторную установку с электроприводом, с помощью которой осуществлялось его вращение. При вращении стакана стальным стержнем образец угля разрушался. Дробление осуществлялось в течение минуты. По истечении некоторого времени после дробления (10–15 с) измеряли давление газа в стакане. После нескольких последовательных циклов дробления в течение минуты при достижении давления около 10,6–12,5 кПа весь газ собирали в резиновую камеру и отправляли на хроматографический анализ. Угольную пробу далее подвергали следующему циклу дробления в течение минуты. Опыт повторяли до тех пор, пока не прекращалось выделение газа. В конце исследования оказалось, что крупные кусочки пробы размолоты полностью. В таблице приведены результаты анализа проб газа на хроматографе после каждого из шести циклов разрушения проб угля в стакане.

Время отбора проб	Избыточное давление, кПа	Объемная доля, %						Т, °С	Номер хроматограммы
		CO ₂	O ₂	CO	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈		
12:50	17,33	0,30	17,8	0,0008	9,3	0,07889	0,01019	21,5	13921,1
13:10	12,27	0,44	16,0	0,0011	17,5	0,16549	0,02993	21,5	13922,1
13:38	13,07	0,56	13,6	0,0016	27,0	0,27894	0,05168	21,5	13923,1
14:12	10,93	0,58	12,7	0,0018	30,5	0,31364	0,05796	21,5	13924,1
14:50	10,67	0,64	10,9	0,0023	38,2	0,10565	0,07514	21,5	13925,1
15:21	10,67	0,71	9,4	0,0029	44,9	0,47704	0,08947	21,5	13926,1
15:43	10,67	0,78	7,6	0,0032	52,2	0,56739	0,10662	21,5	13927,1

Каждый последующий цикл разрушения характеризуется уменьшением средневзвешенного диаметра частиц угля и последующим увеличением суммарного объема выделившегося газа.

Малая объемная доля угольных газов, т.е. газов, выделившихся в пробе после доставки ее из шахты и последующих разрушений, объясняется попаданием в стакан атмосферного воздуха. При дальнейших опытах его также нельзя было полностью исключить, так как воздух содержался в трубках, переходниках и т.д.

На рис. 1 представлено изменение объемной доли угольных газов (без кислорода) при последовательном разрушении угля и выпуске для анализа на хроматографе (здесь t — время, отсчитанное от начала загрузки пробы угля в стакан).



▲ Рис. 1. Изменение концентрации угольных газов в смеси, выпускаемой после разрушения пробы угля
▲ Fig. 1. Change of coal gases concentration in the mixture produced after the breakage of the coal sample

После окончательного выпуска в 15:43 разрушений больше не проводилось, но через сутки избыточное давление в стакане составило 25,33 кПа, а объемная доля угольных газов также существенно возросла.

Поскольку разрушение пробы угля в стакане проводилось при его вращении с помощью одного стального стержня в течение короткого промежутка времени, то подводимая энергия расходовалась на разрушение угля и температура системы изменялась незначительно.

При механодеструкции пробы угля объемная доля метана в выделившемся угольном газе увеличилась в 5,6 раза, этана — в 7,2, пропана — в 10,5. Следовательно, можно предположить, что в зонах вторичной дезинтеграции природный газ представлен не чистым метаном, а смесью газов.

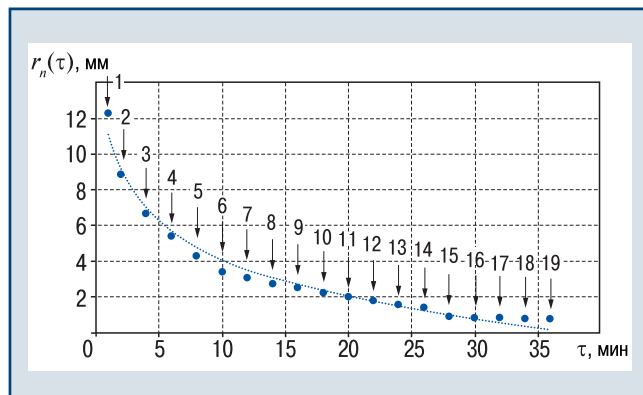
По окончании эксперимента с первой пробой весь разрушенный уголь извлекали из стакана и взвешивали на лабораторных весах, при этом ста-

кан тщательно очищали от угольной пыли. Образцы угля из второй пробы взвешивали на лабораторных весах и загружали в стакан. Масса навески второй пробы угля соответствовала массе навески первой пробы и равнялась 586 г. Стакан с навеской второй пробы угля помещали на лабораторную установку для дробления. Далее уголь в стакане подвергался дроблению в том же временном интервале, что и первичная проба. После каждого дробления уголь извлекали из стакана и подвергали ситовому анализу. При этом каждую фракцию взвешивали на лабораторных весах и загружали обратно в стакан для дальнейшего дробления. Число циклов дробления второй пробы угля совпадает с числом циклов дробления первичной пробы угля. По данным ситового анализа средневзвешенный диаметр частиц рассчитали по формуле (1):

$$r_n = \frac{\sum_{i=1}^N r_i \Delta m_i}{m}, \quad (1)$$

где N — общее число дроблений; r_i — диаметр частиц; Δm_i — масса частиц диаметром r_i ; m — масса всей навески.

На рис. 2 представлена зависимость средневзвешенного диаметра частиц $r_n(\tau)$ от суммарного времени разрушения угля в стакане τ , точками обозначены экспериментальные значения, пунктирной линией — аппроксимация, пронумерованными стрелками — моменты разрушения угля.



▲ Рис. 2. Зависимость средневзвешенного диаметра частиц при механодеструкции от времени разрушения угля
▲ Fig. 2. Dependence of particles average weighted diameter at mechanical degradation on the coal breakage time

Полученная зависимость средневзвешенного диаметра частиц угля от времени и числа циклов разрушения (мм) соответственно аппроксимируется выражением:

$$r_n(\tau) = -3\ln(\tau) + 11,55.$$

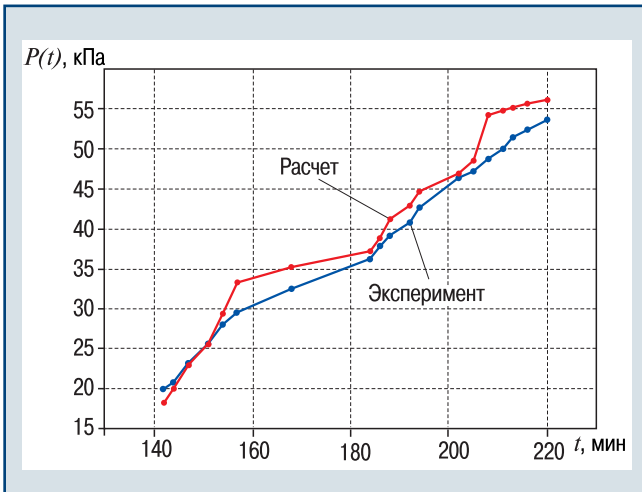
Поскольку давление газа в стакане зависит от степени разрушения и средневзвешенного радиу-

са частиц, то, по экспериментальным данным, для пласта 10 шахты «Распадская» установлена зависимость суммарного давления газа в стакане от начальных условий и диаметра частиц.

На рис. 3 представлены результаты измерения суммарного давления газа в стакане $P(t)$ после разрушения угля и газовыделений. Расчет проводили по формуле:

$$P(t) = \Delta P_0 + \gamma e^{\frac{r_{ni}-11,55}{3}}, \quad (2)$$

где ΔP_0 — приращение давления угольных газов после отделения пробы от массива за определенное время; γ — коэффициент, зависящий от начальных условий, в данном случае принятый равным $\gamma = 1,08$ Па; r_{ni} — средневзвешенный диаметр частиц разрушенного угля для определенного i -го цикла разрушения (его величина зависит также от свойств угля и подлежит экспериментальному определению для каждого пласта, так как зависит от скорости начальной газоотдачи).



▲ Рис. 3. Зависимость суммарного давления газа в стакане от времени, отсчитанного от момента начала загрузки пробы угля в стакан
▲ Fig. 3. Dependence of total pressure of gas in the glass on time counted from the moment of the beginning of coal sample loading into the glass

Число молей газа, выделившегося из разрушенного угля пробы и приходящегося на 1 кг массы пробы, рассчитано по формуле

$$\Delta v' = \frac{1}{m'} \left(\frac{\Delta P_0 + \gamma e^{\frac{r_{ni}-11,55}{3}}}{RT} \right) V_{\text{пр.газа}}, \quad (3)$$

где m' — масса пробы угля, кг; $V_{\text{пр.газа}}$ — объем газа в стакане, $V_{\text{пр.газа}} = V_{\text{стак}} - V_{\text{угля}} - V_{\text{ж.ст}} + \Pi V_{\text{угля}}$; $V_{\text{стак}}$ — объем стакана; $V_{\text{угля}}$ — объем пробы угля; $V_{\text{ж.ст}}$ — объем железного стержня; Π — исходная пористость угля; R — универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К); T — термодинамическая температура, К.

Расчет интенсивности газовыделения при механодеструкции угля

Как показала практика очистной выемки выбросоопасных пластов, внезапные выбросы угля и газа случались на участках, примыкающих к вентиляционному или конвейерному штрекам. В этой связи рассчитана интенсивность газовыделения при механодеструкции угля из участков, подвергшихся разрушению, для оценки формирования газодинамического явления. Условием начала перемещения угля после механодеструкции под действием газового потока примем следующее выражение [19]:

$$Q_1 + Q_2 = \frac{K_p m b}{\mu} \left[\frac{N' \Psi}{\xi} + \gamma_y \left(f \cos \alpha + \frac{\xi f m}{b} \cos \alpha \pm \sin \alpha \right) \right], \quad (4)$$

где Q_1, Q_2 — интенсивность газовыделения соответственно на фронте разрушения и из разрушенного угля, м³/с; K_p — газопроницаемость разрушенного угля; m — мощность пласта; b — ширина разрушенной части пласта по падению (в случае примыкания разрушенной части к вентиляционному штреку) или восстанию пласта (в случае примыкания к конвейерному штреку); μ — динамическая вязкость газа, Па·с; N' — несущая способность разрушенного угля, Па; $\Psi = 2\xi f(b + m)/(bm)$; ξ — коэффициент бокового распора; f — коэффициент трения угля по угляю; γ_y — удельный вес угля, Н/м³; α — угол падения пласта.

Переход динамического разрушения краевой части массива во внезапный выброс угля и газа начинается не мгновенно, а спустя некоторое время после процесса разрушения. Другими словами, когда суммарное газовыделение на кромке разрушаемого угля и из разрушенного угля будет больше, чем газовыделение, определяемое правой частью выражения (4). Для расчета правой части выражения (4) примем следующие значения: $K_p = 100 \cdot 10^{-12}$ м² [19]; $m = 2,5$ м; $b = 5$ м; $\mu = 7,76 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $N = 2 \cdot 10^5$ Па; $\alpha = 10^\circ$; $\xi = 0,6$; $\gamma_y = 14\,000$ Н/м³; $f = 0,3$.

Конечно, газопроницаемость разрушенного угля изменится в широком диапазоне $(80 \div 500) \cdot 10^{-12}$ м², но будем полагать, что она составляет около $100 \cdot 10^{-12}$ м². Ширина разрушенного слоя угля по падению или восстанию составляет 5 м, а мощность пласта $m = 2,5$ м.

После расчета по формуле для принятых условий установлено, что критическая интенсивность газовыделения составила $Q_{\text{кр}} = 12,84$ м³/с.

Газовыделением на фронте волны разрушения Q_1 пренебрежем (т.е. суфляры не присутствуют). Для расчета газовыделения из разрушенного угля воспользуемся выражением (3). Исходное число молей газа, содержащегося в массиве до разрушения, считаем по формуле:

$$v_{\text{исх}} = P_{\text{исх}} m b \Delta \Pi / (z R T), \quad (5)$$

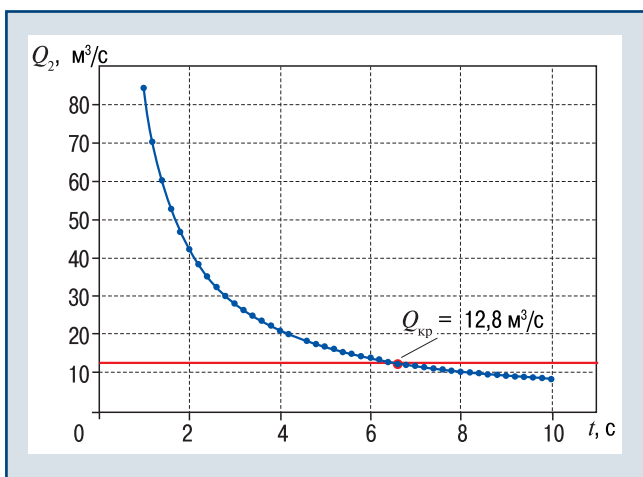
где $P_{исх}$ — исходное давление газа в пласте; Δl — размер разрушенной зоны по простиранию пласта; z — коэффициент сжимаемости, $z = 0,888$.

Интенсивность газовыделения из разрушенного угля, приведенную к условиям $P_{атм} = 10^5$ Па, $T = 288$ К, найдем по формуле

$$Q_2 = \frac{(v_{исх} + \Delta v') z R T}{P_{атм} \Delta t}$$

Исходные данные для расчета: $P_{исх} = 4$ МПа; $m = 2,5$ м; $b = 5$ м; $\Delta l = 1$ м; $\gamma_{уг} = 1400$ кг/м³; $P = 0,1 = 10\%$; $T = 288$ К; $z \approx 0,888$; $R = 8,31$ Дж/(моль·К); $V_{пр.газа} = V_{стак} - V_{угля} - V_{ж.ст} + PV_{угля} = 0,005767$ м³; $v_{исх} = 2350$ моль; $Q_2 = 12,04313$ м³/с.

На рис. 4 представлена зависимость интенсивности газовыделения Q_2 от времени t .



▲ Рис. 4. Зависимость интенсивности газовыделения от времени t

▲ Fig. 4. Dependence of gas emission intensity on time t

Получили, что интенсивность газовыделения из разрушенного угля в результате механодеструкции превышает минимально необходимую величину для начала перемещения угля, если время t при этом меньше 6,5 с.

Выводы

1. Участки угольного пласта, подвергнутые механодеструкции при колебаниях основной кровли, возникающих при вторичных осадках, являются источником дополнительного газовыделения из разрушенного угля, что может приводить к формированию газодинамических явлений и в некоторых случаях — к внезапным выбросам угля и газа.

2. Интенсивность газовыделения в большинстве случаев определяется природной газоносностью, начальной скоростью газоотдачи и степенью разрушения угля.

3. Для повышения безопасности ведения очистных работ на угольных пластах с труднообрушаемыми кровлями, склонных или опасных по газодинамическим явлениям, необходимо дополнительно изучать

характеристики разрушения угля и способность его к газоотдаче, что во многом зависит от наличия в массиве твердого углегазового раствора.

Список литературы

1. Оценка влияния напряжений на газоносность приконтурной части пласта/ Г.Я. Полевщиков, Е.Н. Козырева, А.А. Рябцев и др.// Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. — 2016. — № 1. — С. 16–24.
2. Инструкция по применению схем проветривания выемочных участков угольных шахт с изолированным отводом метана из выработанного пространства с помощью газоотсасывающих установок: приказ Минприроды России от 8 окт. 2009 г. № 325. URL: base1.gostedu.ru/57/57045/ (дата обращения: 01.06.2017).
3. Сластунов С.В., Каркашадзе Г.Г., Мезаник Е.В. Методика и результаты измерения пластового давления метана и сорбционных свойств угольных пластов// Газовая промышленность. — 2012. — Спец. выпуск. — С. 48–49.
4. Малышев Ю.Н., Трубецкой К.Н., Айруни А.Т. Фундаментально-прикладные методы решения проблемы угольных пластов. — М.: АГН, 2000. — 519 с.
5. Канлыбаева Ж.М. Закономерности сдвижения горных пород в массиве. — М.: Наука, 1968. — 108 с.
6. Полевщиков Г.Я., Козырева Е.Н., Шинкевич М.В. Влияние периодичности процессов сдвижений пород на динамику метанообильности выемочного участка// Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамические явления в горных породах и выработках: материалы XVIII Междунар. науч. шк. им. акад. С.А. Христиановича. — Симферополь: ТНУ, 2008.
7. Шклярский М.Ф., Глушихин Ф.П. Динамика опорного давления на пластах с труднообрушаемыми кровлями// Горное давление в капитальных, подготовительных и очистных выработках. — Л., 1982. — С. 50–55.
8. Эффект зональной дезинтеграции горных пород вокруг подземных выработок/ Е.И. Шемякин, Г.Л. Фисенко, М.В. Курленя и др.// Доклады Академии наук СССР. — 1986., — Т. 289. — № 5.
9. Зональная дезинтеграция горных пород и устойчивость подземных выработок/ В.Н. Опарин, А.П. Тапсиев, М.А. Розенбаум и др. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2008.
10. Ким Т.Л. Разработка и обоснование метода прогноза газодинамических явлений в подготовительных выработках с учетом газогидратов в угольных пластах: автореф. дис... канд. техн. наук. — Кемерово, 2014. — 22 с.
11. Метан и выбросоопасность угольных пластов/ С.А. Шепелева, В.В. Дырдин, Т.Л. Ким и др. — Томск: Изд-во ТГУ, 2015. — 180 с.
12. Влияние разложения газогидратов на рост трещин в массиве угля впереди забоя подготовительной выработки/ В.Г. Смирнов, В.В. Дырдин, З.Р. Исмагилов, Т.Л. Ким// Известия высших учебных заведений. Горный журнал. — 2016. — № 3. — С. 96–103.
13. Эттингер И.Л. Физическая химия газоносного угольного пласта. — М.: Наука, 1981. — 104 с.

14. Алексеев А.Д., Айруни А.Т., Зверев И.В. Свойства органического вещества угля образовывать с газами метастабильные однофазные системы по типу твердых растворов// Диплом № 9 на научное открытие. — АЕН, 1994.

15. Эттингер И.Л. Растворы метана в угольных пластах// Химия твердого топлива. — 1984. — № 4. — С. 28–35.

16. Алексеев А.Д. Метан угольных пластов. Формы нахождения и проблемы извлечения. — Днепропетровск: Изд-во ИГТМ НАНУ, 2010. — С. 10–15.

17. Интеркалированные соединения графита акцепторного типа и новые углеродные материалы на его основе/ Н.Е. Сорокина, И.В. Никольская, С.Г. Ионов, В.В. Авдеев// Известия академии наук. Серия химическая. — 2005. — Т. 8. — С. 1–18.

18. О влиянии форм связи метана с угольной матрицей на газодинамические явления, возникающие при подземной разработке угольных пластов/ В.Г. Смирнов, В.В. Дырдин, З.Р. Исмагилов и др.// Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. — 2017. — Вып. № 1. — С. 34–41.

19. Борисенко А.А. Условия возникновения и механизм внезапных выбросов и других газодинамических явлений в шахтах// Способы и средства разработки выбросоопасных угольных пластов. Научные сообщения ИГД им. А.А. Скочинского. — 1979. — Вып. 182. — С. 3–10.

tanyakim@list.ru

Материал поступил в редакцию 28 июня 2017 г.

«Bezopasnost Truda v Promyshlennosti»/ «Occupational Safety in Industry», 2017, № 8, pp. 10–15.

DOI: 10.24000/0409-2961-2017-8-10-15

Effect of Coal Mechanodestruction on Formation of Gasdynamic Processes at Coal Layers Underground Mining

Information about the Author

V.V. Dyrdin, Dr. Sci. (Eng.), Prof., A.A. Fofanov, Senior Lecturer, T.L. Kim, Cand. Sci. (Eng.), Head of the Department, tanyakim@list.ru, V.G. Smirnov, Cand. Sci. (Phys.–Math.), Assoc. Prof., V.P. Tatsiyenko, Dr. Sci. (Eng.), Prof., Director of the Institute of Industrial and Environmental Safety (KuzGTU, Kemerovo, Russia), A.A. Kozlov, Chief Engineer, E.A. Plotnikov, Cand. Sci. (Eng.), Deputy Head of the Section (PAO Raspadskaya, Kemerovo, Russia)

Abstract

The issue is considered related to safe execution of mining operations at the coal mines — effect of coal mechanodestruction on the formation of gasdynamic processes of coal layers underground mining. It is noted that gas desorption and decomposition of methane gas hydrates at the destruction of part of a massif and gas pressure drop — not the only sources of formation of free gas additional volumes, which effect gas dynamics of a bottom-hole part of the coal layer. At Raspadskaya mine in Kuzbass the experiment was conducted on the establishment of the regularities of methane emission coal at coal destruction and its effect on gasdynamic processes occurred in the coal mines. It is established that in the zones of secondary disintegration the natural gas is presented not by pure methane, but the mix of gases. The dependence of total gas pressure in the closed volume on initial conditions and the diameter of particles of coal test is also established. The sections of coal layer subjected to mechanodestruction at the main roof vibrations emerging in case of secondary settlements are the source of additional gas emission from the broken coal that can lead to formation of gasdynamic phenomena.

Key words: coal layer, gasdynamic processes, methane gas hydrates, gas bag, coal mine, mechanodestruction, natural gas composition.

References

1. Polevshnikov G.Ja., Kozyreva E.N., Rjabcev A.A., Rodin R.I., Nepeina E.S., Curan E.M. Assessment of the effect of stresses on the gas content of the reservoir border zone. *Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v*

ugolnoj promyshlennosti = Newsletter of the Scientific Center on Work Safety in the Coal Industry. 2016. № 1. pp. 16–24.

2. *Instrukcija po primeneniju shem provetrivaniya vyemochnyh uchastkov ugolnyh shajt s izolirovannym otvodom metana iz vyrabotannogo prostranstva s pomoshhju gazootsasyvajushhij ustanovok: prikaz Minprirody Rossii ot 8 okt. 2009 g. № 325* (Instruction for the application of ventilation schemes of the coal mines working areas with isolated methane drainage from the worked-out area with the help of gas-suction plants: Ministry of Natural Resources and Environment of the Russian Federation of October 8 2009 № 325). Available at: base1.gostedu.ru/57/57045/ (accessed: June 1, 2017).

3. Slastunov S.V., Karkashadze G.G., Mezanik E.V. The methods and the results of measurement of the methane reservoir pressure and the sorption properties of coal seams. *Gazovaja promyshlennost = Gas industry.* 2012. Spec. Iss. pp. 48–49.

4. Malyshev Ju.N., Trubeckoj K.N., Ajruni A.T. *Fundamentalno-prikladnye metody reshenija problemy ugolnyh plastov* (Fundamental and applied methods for solving the problems of coal seams). Moscow: AGN, 2000. 519 p.

5. Kanlybaeva Zh.M. *Zakonomernosti svdzhzenija gornyh porod v massive* (The patterns of rocks movement in the massif). Moscow: Nauka, 1968. 108 p.

6. Polevshnikov G.Ja., Kozyreva E.N., Shinkevich M.V. Effect of frequency of processes of rock movement on the dynamics of methane abundance of the working area. *Deformirovanie i razrushenie materialov s defektami i dinamicheskie javlenija v gornyh porodah i vyrabotkah: materialy XVIII Mezhdunar. nauch. shk. im. akad. S.A. Hristianovicha = Deformation and destruction of materials with defects and dynamic phenomena in the rocks and workings: materials of the XVIII International Scientific School named after the academician S.A. Hristianovich.* Simferopol: TNU, 2008.

7. Shklyarskij M.F., Glushihin F.P. Dynamics of bearing pressure on the layers with hard roofs. *Gornoe davlenie v kapitalnyh, podgotovitelnyh i ochistnyh vyrabotkah = Rock pressure in the capital, development and mining workings.* Leningrad, 1982. pp. 50–55.

8. Shemjakin E.I., Fisenko G.L., Kurlenja M.V., Oparin V.N., Reva V.N., Glushihin F.P., Rozenbaum M.A., Tropp Je.A., Kuznecov Ju.S. Effect of zone disintegration of rocks around the underground workings. *Doklady Akademii nauk SSSR = Reports of Academy of Sciences of the USSR.* 1986. Vol. 289. № 5.

9. Oparin V.N., Tapsiev A.P., Rozenbaum M.A., Reva V.N., Badtiev B.P., Tropp Je.A., Chanyshiev A.I. *Zonalnaja dezintegracija gornyh porod i ustojchivost podzemnyh vyrabotok* (Zonal disintegration of rocks and stability of underground workings). Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2008.

10. Kim T.L. *Razrabotka i obosnovanie metoda prognoza gazodinamicheskij javlenij v podgotovitelnyh vyrabotkah s uchedom gazogidratov v ugolnyh plastah: avtoref. dis... kand. tehn. nauk* (Development and substantiation of the forecast method for gas-dynamic phenomena in the development workings taking into account gas hydrates in coal seams: Dissertation abstract of thesis.... Candidate of Technical Sciences). Kemerovo, 2014. 22 p.

11. Shepeleva S.A., Dyrdin V.V., Kim T.L., Smirnov V.G., Gvozdkova T.N. *Metan i vybrosopasnost ugolnyh plastov* (Methane and outburst hazard of coal seams). Tomsk: Izd-vo TGU. 2015. 180 p.

12. Smirnov V.G., Dyrdin V.V., Ismagilov Z.R., Kim T.L. Effect of decomposition of gas hydrates on growth of cracks in the massif of coal upstream of the development face. *Izvestija vysshijh uchebnyh zavedenij. Gornyj zhurnal = News of higher educational institutions. Mining journal.* 2016. № 3. pp. 96–103.

13. Jettinger I.L. *Fizicheskaja himija gazonosnogo ugolnogo plasta* (Physical chemistry of gas-bearing coal seam). Moscow: Nauka, 1981. 104 p.

14. Alekseev A.D., Ajruni A.T., Zverev I.V. Properties of coal organic substance to form with gases the methane oraganic single-phase systems as solid solutions. *Diplom № 9 na nauchnoe otkrytie = Diploma № 9 on scientific discovery.* AEN, 1994.

15. Jettinger I.L. Methane solutions in the coal layers. *Himija tverdogo topiva = Chemistry of solid fuel.* 1984. № 4. pp. 28–35.

16. Alekseev A.D. *Metan ugolnyh plastov. Formy nahozhdenija i problemy izvlechenija* (Coal beds methane. Forms of finding and the problems of extraction). Dnepropetrovsk: Izd-vo IGTM NANU, 2010. pp. 10–15.

17. Sorokina N.E., Nikolskaja I.V., Ionov S.G., Avdeev V.V. Intercalated compounds of graphite of acceptor type and the new carbon materials on its basis. *Izvestija akademii nauk. Serija himicheskaja = News of Academy of Sciences. Chemical series.* 2005. Vol. 8. pp. 1–18.

18. Smirnov V.G., Dyrdin V.V., Ismagilov Z.R., Kim T.L., Manakov A.Ju. On the effect of forms of methane link with the coal matrix on the gasdynamic phenomena emerging at the underground mining of coal layers. *Vestnik nauchnogo centra po bezopasnosti rabot v ugolnoj promyshlennosti = Newsletter of the scientific center on safety of works in the coal industry.* 2017. Iss. № 1. pp. 34–41.

19. Borisenko A.A. Conditions of emergence and the mechanism of sudden emissions and other gasdynamic phenomena in the mines. *Sposoby i sredstva razrabotki vybrosopasnyh ugolnyh plastov. Nauchnye soobshhenija IGD im. A.A. Skochinskogo = Ways and means of development of the outburst-prone coal layers. Scientific messages of Mining institute named after A.A. Skochinsky.* 1979. Iss. 182. pp. 3–10.



БЕЗОПАСНОСТЬ

труда в промышленности

Occupational Safety in Industry

№ 8
2017

Ежемесячный научно-производственный журнал www.btpnadzor.ru

ISSN 0409-2961



27 августа –
День шахтера



БЕЗОПАСНОСТЬ ТРУДА В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-43428

Журнал основан в январе 1932 г.

Редакционный совет

Алешин А.В., Буйновский С.Н. (главный редактор), Буй С.Н. (Вьетнам), Ван Вингерден К. (Норвегия), Голик В.И., Грачёв В.А., Дмитриевский А.Н., Егоров М.П., Заксенхофер Р. (Австрия), Караторгаев М.Н. (Казахстан), Кловач Е.В., Ключев В.В., Котов С.Г. (Белоруссия), Красных Б.А., Кудряшов А.Н. (Белоруссия), Кунанбаев Н.С. (Казахстан), Малышев Ю.Н., Махутов Н.А., Муратбеков К.К. (Киргизия), Непоседова Ю.П., Печёркин А.С., Радионова С.Г., Рафат Г. (Германия), Рыбас А.Л., Сафаров Р.С. (Азербайджан), Сидоров В.И., Татыгулова Ч.С. (Киргизия), Трёмбицкий А.В., Трубецкой К.Н., Ферাপонтов А.В., Шевчук В.Г. (Украина)

Editorial board

Aleshin A.V., Buinovskiy S.N. (Editor-in-chief), Bui Xuan Nam (Vietnam), Van Wingerden K. (Norway), Golik V.I., Grachev V.A., Dmitriyevskiy A.N., Egorov M.P., Sachsenhofer R.F. (Austria), Karatorgayev M.N. (Kazakhstan), Klovach E.V., Kluyev V.V., Kotov S.G. (Belarus), Krasnykh B.A., Kudryashov A.N. (Belarus), Kunanbayev N.S. (Kazakhstan), Malyshev Yu.N., Makhutov N.A., Muratbekov K.K. (Kirghizia), Neposedova Yu.P., Pecherkin A.S., Radionova S.G., Rafat G. (Germany), Rybas A.L., Safarov R.S. (Azerbaijan), Sidorov V.I., Tatygulova Ch.S. (Kirghizia), Trembitskiy A.V., Trubetskoi K.N., Ferapontov A.V., Shevchuk V.G. (Ukraine)

Редакционная коллегия

Буйновский С.Н., Агапов А.А., Божко Д.И., Буйко К.В., Гонтаренко А.Ф., Гражданкин А.И., Ермак Г.П., Ефимов В.И., Жулина С.А., Зубихин А.В., Иваницкая Е.В., Кадушкин Ю.В., Карабанов Ю.Ф., Климова М.А., Кручинина И.А., Крылова А.П., Лисанов М.В., Матвиенко Ю.Г., Низовцев А.В., Пиляев Н.А., Селезнёв Г.М., Феоктистов А.А., Филатов А.П., Фролов Д.И., Чернышев В.В., Чуркин Г.Ю., Шалаев В.К., Яковлев Д.А.

Editorial staff

Buinovskiy S.N., Agapov A.A., Bozhko D.I., Buiko K.V., Gontarenko A.F., Grazhdankin A.I., Ermak G.P., Efimov V.I., Zhulina S.A., Zubikhin A.V., Ivanitskaya E.V., Kadushkin Yu.V., Karabanov Yu.F., Klimova M.A., Kruchinina I.A., Krylova A.P., Lisanov M.V., Matviyenko Yu.G., Nizovtsev A.V., Pilyaev N.A., Seleznev G.M., Feoktistov A.A., Filatov A.P., Frolov D.I., Chernyshov V.V., Churkin G.Yu., Shalayev V.K., Yakovlev D.A.

Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук, сформированный ВАК Минобрнауки России.

The journal is included into the List of the leading reviewed scientific journals and editions, in which the main scientific results of theses on a competition of academic degrees of the candidate and doctor of science shall be published. The List is formed by the State Commission for Academic Degrees and Titles of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

№ 8 · 2017

Учредители/Founders



Федеральная служба
по экологическому,
технологическому и атомному
надзору (Ростехнадзор)

The Federal Environmental, Industrial
and Nuclear Supervision Service
(ROSTECHNADZOR)



Закрытое акционерное
общество «Научно-технический
центр исследований проблем
промышленной безопасности»
(ЗАО НТЦ ПБ)

Closed Joint Stock Company
«Scientific Technical Center of
Industrial Safety Problems Research»
(STC «Industrial Safety» CJSC)

Издатель

ЗАО НТЦ ПБ: 105082, Москва, Переведеновский пер.,
д. 13, стр. 14, а/я 38
Тел.: (495) 620-47-47; факс: (495) 620-47-46
ntc@safety.ru; www.safety.ru

Publisher

STC «Industrial Safety» CJSC, Block 14, Perevedenovsky
Pereulok 13, P.O.B. 38, 105082, Moscow
Tel.: (495) 620-47-47; Fax: (495) 620-47-46 ntc@safety.ru
www.safety.ru

Редакция

105082, Москва, Переведеновский пер.,
д. 13, стр. 14, а/я 38
Телефакс: (495) 620-47-44; btp@safety.ru,
redbtp@safety.ru; www.btpnadzor.ru
Отдел рекламы — К.М. Игнатова,
ignatova@safety.ru.
Тел. (495) 620-47-54

Editorial staff

Block 14, Perevedenovsky Pereulok 13,
P.O.B. 38, 105082, Moscow
Telefax: (495) 620-47-44; btp@safety.ru,
redbtp@safety.ru; www.btpnadzor.ru
Advertizing department — Ignatova K.M.,
ignatova@safety.ru.
Tel. (495) 620-47-54

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (двухлетний импакт-фактор РИНЦ без самоцитирования — 0,435, пятилетний импакт-фактор РИНЦ без самоцитирования — 0,297, десятилетний индекс Хирша — 10), в международную реферативную базу данных Chemical Abstracts Service (CAS) и в базы данных компании EBSCO Publishing.

The journal is amongst the Russian journals indexed in the Russian index of the scientific citation (two-year impact-factor of RINTs without self-citation — 0,435, a five-year impact-factor of RINTs without self-citation — 0,297, ten-year Hirsch index — 10), in the international abstract database — Chemical Abstracts Service (CAS) and in EBSCO Publishing databases.

Редакция не несет ответственности за достоверность и точность приведенных фактов, экономико-статистических данных и прочих сведений, содержащихся в авторских публикациях. Редакция может публиковать статьи в порядке обсуждения, не разделяя точку зрения автора. Перепечатка материалов, опубликованных в журнале «Безопасность труда в промышленности», только с разрешения редакции.

Материалы, представленные в редакцию, авторам не возвращаются.

За содержание рекламы ответственность несет рекламодатель.

На 1-й с. обл.: разрез «Эльгинский» ПАО «Мечел»; фото Департамента по связям с общественностью ПАО «Мечел»

Компьютерная подготовка и верстка —
С.В. Косторнова

Подписано в печать 08.08.17

Формат 60х90 1/8

Бумага мелованная. Печать офсетная.

Тираж 5000 экз. Зак. 17-2692

Цена 869 руб.

Отпечатано в АО «Полиграфический комплекс

«Пушкинская площадь»

109548, г. Москва, ул. Шоссейная, д. 4д.

Тел. (495) 276-16-06.

Computer-aided preparation and makeup —
S.V. Kostornova

Signed for printing 08.08.17

Format 60x90 1/8

Enameled stock. Indirect printing

Circulation 5000 copies. Order 17-2692

Price — 869 RUB

Printed in AO «Polygraphic complex «Pushkinskaya
Ploshiyad»

Shosseynaya str., Block 4 D, 109548, Moscow

Tel. (495) 276-16-06.

СОДЕРЖАНИЕ

CONTENT

Наука и техника / Science and Technology	5
Фарахова А.Т., Барахнина В.Б.	5
Повышение эффективности системы пылегазоочистки установки регенерации отработанной серной кислоты	
Farrakhova A.T., Barakhnina V.B.	5
<i>Improvement of Dust and Gas Treatment System Efficiency for Spent Sulfuric Acid Recovery Unit</i>	
Дырдин В.В., Фофанов А.А., Ким Т.Л., Смирнов В.Г., Тащиенко В.П., Козлов А.А., Плотников Е.А.	10
Влияние механодеструкции угля на формирование газодинамических процессов при подземной разработке угольных пластов	
Dyrdin V.V., Fofanov A.A., Kim T.L., Smirnov V.G., Tatsiyenko V.P., Kozlov A.A., Plotnikov E.A.	10
<i>Effect of Coal Mechanostructure on Formation of Gasdynamic Processes at Coal Layers Underground Mining</i>	
Шашенко А.Н., Хозяйкина Н.В., Смирнов А.В.	16
Геомеханическая и экономическая оценка ширины охранного устройства при повторном использовании подготовительных выработок в угольных шахтах	
Shashenko A.N., Khozyaykina N.V., Smirnov A.V.	16
<i>Geomechanical and Economic Assessment of the Width of Vandalism Protection Arrangement at Re-use of the Development Workings in the Coal Mines</i>	
Проблемы, суждения / Views and Opinions	22
Смирнов О.В., Красюк А.М., Лугин И.В.	22
О параллельной работе вентиляторов главного проветривания	
Smirnov O.V., Krasjuk A.M., Lugin I.V.	22
<i>On Parallel Operation of the Main Ventilation Fans</i>	
Левин Л.Ю., Зайцев А.В., Колесов Е.В., Бутаков С.В.	28
Оценка опасности применения фреоновых холодильных машин в подземных системах кондиционирования воздуха	
Levin L.Yu., Zaitsev A.V., Kolesov E.V., Butakov S.V.	28
<i>Assessment of Danger to Use Freon Refrigerating Machines in the Underground Air Conditioning Systems</i>	
Гайворонский И.А., Меркулов А.А.	33
О возможностях аппаратного сопровождения прострелочно-взрывных работ в повышении их безопасности	
Gayvoronsky I.A., Merkulov A.A.	33
<i>On the Capabilities of Blasting-Perforation Operations of the Borehole Instrumentation for their Safety Increase</i>	

Саечников В.А., Золотой С.А., Котов Д.С., Новиков Е.В., Котов С.Г.	37
Обоснование расчета и визуализации зон заражения в изменяющихся метеорологических условиях	
Sayechnikov V.A., Zolotoy S.A., Kotov D.S., Novikov E.V., Kotov S.G.	37
<i>Substantiation of the Calculation and Visualization of the Contamination Zones in Changing Meteorological Conditions</i>	
Обмен опытом / Experience Sharing	44
Мауэр Крис	44
Применение ключевых показателей эффективности для обеспечения безопасности технологических процессов	
Mawer Chris	44
<i>Effective Process and Facility Safety of Key Performance Indicators</i>	
Обеспечение безопасности / Safety Issues	49
Голик В.И., Разоренов Ю.И.	49
Охрана труда горнорабочих совершенствованием технологии добычи металлов	
Golik V.I., Razorenov Ju.I.	49
<i>Labor Protection of Miners by Improving the Technology of Metals Mining</i>	
Мажкенов С.А.	55
О повышении эффективности коммуникаций в развитии культуры безопасности работников предприятия	
Mazhkenov S.A.	55
<i>On Increasing the Efficiency of Communications in the Development of the Employees Safety Culture</i>	
Ханухов Х.М., Алипов А.В., Четвертухин Н.В., Коломыцев А.Р., Корсаков Е.С.	60
Повышение промышленной безопасности хранилищ жидкого аммиака и увеличение сроков эксплуатации одностенных изотермических резервуаров за счет применения эффективных систем тепловой изоляции	
Khanukhov Kh.M., Alipov A.V., Chetvertukhin N.V., Kolomytsev A.R., Korsakov E.S.	60
<i>Increase of Industrial Safety of the Liquid Ammonia Warehouses and Increase of the Service Life of the Single-Wall Isothermal Tanks by Using Effective Thermal Insulation Systems</i>	
Анализ риска / Risk Analysis	67
Алексеев И.Н., Терехов А.Л.	67
Повышение безопасности труда на газотранспортном предприятии в Арктической климатической зоне	
Alekseev I.N., Terekhov A.L.	67
<i>Labor Safety Increase at the Gas Transmission Enterprise in the Arctic Climatic Zone</i>	
Пресс-служба Ростехнадзора сообщает / Communications by Rostekhnadzor Media Relations Service	76
День шахтера / Miner's Day	77
ВГСЧ в преддверии 70-летия Дня шахтера.....	77
<i>EMERCOM Mine Rescue Brigade in the Run-up to the 70 Anniversary of the Miner's Day</i>	77
В Ростехнадзоре / Inside Rostekhnadzor	86
В Ростехнадзоре состоялось совещание по присвоению статуса СРО.....	86
<i>In Rostekhnadzor the Meeting has been hold on the Assignment of Self-Regulated Organization Status</i>	
Общественный совет при Ростехнадзоре / Public Council with Rostekhnadzor	88
Ростехнадзор и Минпромторг России провели совместное заседание общественных советов.....	88
<i>Rostekhnadzor and Minpromtorg of Russia have held a Joint Meeting of Public Councils</i>	88
Информация / Information	92
Коршунов Г.И., Никулин А.Н., Корнев А.В.	92
Кафедре безопасности производств первого высшего учебного технического заведения в России — 80 лет	
Korshunov G.I., Nikulin A.N., Kornev A.V.	92
<i>The Department of Production Safety of the First Higher Educational Technical Institution in Russia — 80 years</i>	