УДК 622.86:622.411.3

Обеспечение устойчивости подрабатываемых наклонных дегазационных скважин при интенсивной разработке свит газоносных угольных пластов

В.С.БРИГИДА¹, В.И.ГОЛИК², Ю.В.ДМИТРАК², О.З.ГАБАРАЕВ²¹ Сочинский научно-исследовательский центр РАН, Сочи, Россия² Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Россия

При больших скоростях подвигания линии очистного забоя повышаются требования к надежности работы подрабатываемых дегазационных скважин. Проблемным является вопрос обеспечения интенсивности отработки газоносных пластов в условиях роста природной газоносности, глубины разработки и производительности очистного оборудования. Наибольшую угрозу представляет потеря устойчивости скважин в зоне влияния опорного давления (перед лавой) и области интенсивных сдвижений зависающих породных консолей (позади лавы). Интенсификация подсосов воздуха вследствие деформирования канала ствола скважины приводит к обеднению отводимой метановоздушной смеси и росту рисков нарушения безопасного аэрогазового режима выемочного участка.

Описан механизм влияния очистной выемки на состояние подземных скважин и образование зависающих породных консолей. Приведена типизация основных видов деформаций сечения скважин. Указаны критические недостатки наиболее применяемых технологических схем отработки газоносных пластов с высокими нагрузками на очистные забои, что не позволяет обеспечить нормальную работу дегазационной системы.

В результате исследований уточнена зависимость влияния числа шпуров, а также расстояния между осями шпуров и скважиной на напряженное состояние контура скважины. Исходя из этого предложена формула для расчета параметров бурения системы разгрузочных шпуров. Внедрение данных мероприятий позволит увеличить эффективность подземной дегазации и обеспечить рост интенсивности отработки газоносных угольных пластов.

Ключевые слова: подземные скважины; устойчивость; интенсификация добычи угля; разгрузочные шпур; снижение метанообильности выемочного участка

Как цитировать эту статью: Обеспечение устойчивости подрабатываемых наклонных дегазационных скважин при интенсивной разработке свит газоносных угольных пластов / В.С.Бригида, В.И.Голик, Ю.В.Дмитрак, О.З.Габараев // Записки Горного института. 2019. Т. 239. С. 497-501. DOI: 10.31897/PMI.2019.5.497

Введение. К 2030-му году перед угледобывающей отраслью поставлена задача доведения общего объема добычи до 480 млн т/год. В связи с этим ожидается интенсификация очистной выемки при отработке глубокозалегающих газоносных угольных пластов во все более усложняющихся горно-геологических условиях. Увеличение глубины разработки вызывает активизацию негативных проявлений горного давления, что может стать причиной выхода из строя дегазационных скважин еще до подхода лавы к их устьям. Рост скорости подвигания линии очистного забоя повышает вероятность загазирования выработанного пространства из-за неравномерного оседания пород основной кровли и увеличения размеров породных консолей. Данное обстоятельство косвенно подтверждается существованием нелинейности динамики метановыделения при отработке глубокозалегающих газоносных пластов Донбасса [16]. Установление закономерностей и общего характера нелинейности аэрогазовых процессов в подрабатываемых скважинах существенно усложняется, если в выработанном пространстве остаются угольные целики.

Для компенсации влияния целиков некоторыми авторами предлагается использовать варианты системы разработки без их оставления в выработанном пространстве [4].

Анализ зарубежных и отечественных источников [3, 7, 14, 15, 17, 18] показал, что проблемы потери устойчивости подрабатываемых дегазационных скважин являются актуальными. Причиной снижения продуктивности работы скважин указываются: наличие вывалов породной мелочи из ее стенок [14]; обоснование защитных мероприятий без учета степени водонасыщения трещиноватости во вмещающем массиве [3]; несовершенство параметров технологии обсадки [19] или параметров пространственной ориентации стволов скважин [15]; обоснование параметров и режима бурения скважин [7] (в том числе в зоне повышенного горного давления [18]).

В работе М.Г.Мустафина также обосновывается необходимость выполнения дополнительных мероприятий при дегазации газонасыщенных зон – «газовых мешков», формирующихся перед зонами повышенного опорного давления, но конкретные решения отсутствуют [8]. Кроме

того, существующие методики расчета границы зон повышенного горного давления не всегда учитывают особенности технологических схем интенсивной отработки сближенных газоносных пластов в режиме «шахта – лава» [5]. Следовательно, повышение устойчивости скважин в области влияния опорного давления остается актуальной научно-технической задачей, имеющей большое значение для совершенствования технологии подземной дегазации. Недостаточная эффективность принимаемых решений может обострить вопросы обеспечения экологической безопасности подрабатываемых массивов при закрытии угольных шахт [17].

Цель работы – совершенствование технологии подземной дегазации в области обеспечения устойчивости подрабатываемых скважин при отработке глубокозалегающих газоносных угольных пластов.

Теоретические результаты и обсуждения. В существующей практике горного производства распространена технология дегазации массива, предусматривающая бурение скважин в углепородный массив, обсадку и герметизацию части ствола скважины, а также подключение их устьев к участковому трубопроводу с последующим отведением метана на поверхность [11]. К сожалению, данной технологии присущ ряд недостатков, которые не всегда позволяют в полной мере реализовать потенциал (достигнуть нормативных показателей коэффициента эффективности) данного способа. Основной из них – ограниченная возможность обсадных труб при реализации различных типов деформации сечения и ствола подземной скважины.

Из анализа современных представлений и теоретических основ горного давления и сдвижений вышележащих пород следует, что изменение размеров консолей зависающих пород основной и непосредственной кровли является ключевым фактором, определяющим динамику напряженно-деформированного состояния дегазируемой толщи в зоне влияния опорного давления (рис.1) [1]. Из анализа рис.1 следует, что в области условного угла полных сдвижений ψ формируется газопроводящая полость, которая, с одной стороны, интенсифицирует метановыделение в скважину, с другой – может стать причиной ее разрушения. Высоту газопроводящей трещины $h_{св}$ рассчитывают делением вынимаемой мощности пласта m на степень разрыхления обрушенных пород (учитываемой через коэффициент разрыхления k_p).

Длина газопроводящей трещины пропорциональна гипотенузе прямоугольного треугольника, который образуют полость, почва выработанного пространства и высота $h_{св}$.

Развитие процессов оседания кровли в выработанное пространство определяет развитие техногенной трещиноватости, «обволакивающей поверхности», впереди лавы (теория Лабаса), а также общей плоскости сдвига – «техногенной полости» в которой может скапливаться выделяющийся газ. Наклон такой полости-трещины пропорционален углу полных сдвижений (для пологого падения его значение может колебаться от 60 до 70°). Основные параметры техногенной полости необходимо определять с учетом разрыхлений пород в зоне активных сдвижений пород кровли, значения бокового распора и размеров вынимаемой мощности пласта [13]. Нахождение части скважины в зоне такой трещины обуславливает существенные риски устойчивости

Рис.1. Схема деформирования скважины при формировании консоли пород [13]
1 – пласт угля; 2 – выработанное пространство; A – углепородный массив в области прогибов кровли;
B – область массива в зоне активных сдвижений кровли; $b_з$ – ширина зависающей консоли;
 $b_н$ – ширина секции механизированной крепи

ее ствола, а также необходимость учета специфики управления кровлей при обосновании охранных мероприятий в зоне сопряжения лавы и приштрековой области выработанного пространства. Например, для предотвращения конвергенции пород используют искусственные сооружения – литые полосы, возводимые в выработанном пространстве. Приведенные в существующих нормативных документах их параметры, конструктивные особенности и режимы работы не всегда обеспечивают предотвращение разрушения обсадных труб.

Предполагалось, что вышеперечисленные особенности учтены в способе, применяемом для дегазации вышележащих пород кровли при отработке запасов выемочного столба обратным ходом [10]. В производственный цикл данной технологии входят следующие операции: бурение скважин в углепородный массив параллельно лаве; введение в полость скважины сегментов стальных обсадных труб и герметизация затрубного пространства; подключение к трубопроводу и отведение газа из них. Кроме того, исходя из размеров проекции ствола скважины дополнительно предлагается оставлять в выработанном пространстве совокупность опор из деревянных клетей. Из-за отсутствия действенных методов управления состоянием вмещающего массива (низкая несущая способность клетей) при использовании данного способа дегазации может быть потеряно более трети скважин. Стоит отметить высокую трудоемкость способа, особенно при забутовке клетей (если предполагается использовать бутостры).

В результате реализации негативных проявлений горного давления (рис.2) и разрушения части стволов подрабатываемых скважин растут потери вакуумметрического давления (непродуктивные затраты энергии) и активизируются подсосы воздуха. Потеря одной или нескольких скважин отражается на продуктивности работы дегазационной сети участка, снижает безопасность ведения горных работ и дополнительный доход от вовлечения шахтного метана в качестве альтернативного энергоресурса (при его сжигании в когенерационных установках). Особая актуальность данной проблемы вынуждает активизировать поиск альтернативных направлений обеспечения устойчивости скважин.

В основу предлагаемой технологии дегазации подрабатываемого углепородного массива [12], позволяющей повысить устойчивость скважин и безопасность ведения горных работ, положен известный эффект компенсации добавочных напряжений при использовании разгрузочных полостей. Особенностью шпуровой разгрузки в данном способе является учет области влияния зоны разрушенных пород, образующейся вокруг самой скважины. Предлагается, что в дополнение к операциям, используемым для реализации существующих технологий [10, 11], вокруг оси ствола скважины равномерно бурят систему шпуров с параметрами, позволяющими перераспределить большую часть напряжений с контура скважины в область перемычки межшпурового пространства (рис.3, а).

Реализация способа также предполагает возведение литой полосы из быстросхватывающегося цементного состава, геометрические размеры которой выбираются исходя из литологического состава вышележащей толщи.

Рис.2. Примеры нарушения целостности подрабатываемых дегазационных скважин: а – разрушения, вызванные срезом ствола скважины; б – срез в совокупности со всесторонним сжатием; в – деформации от растягивающих напряжений; з – вывалы породы от концентрации сжимающих напряжений; д – образование породной пробки; е – вымывание части сечения

Рис.3. Схема расположения скважины, обустроенной системой разгрузочных шпуров (а), и сечение А-А (б):

1 – пласт угля; 2 – крепь горной выработки; 3 – массив; 4 – подрабатываемая скважина; 5 – зона обсадки; 6 – система разгрузочных шпуров; 7 – удаление оси шпуров от оси скважины (а) и удаление центра скважины от системы центров разгрузочных шпуров R_z (б); 8 – литая полоса; 9 – диаметр дегазационной скважины; 10 – размеры разгрузочных шпуров

Формирование локальной защитной области обеспечивается: выбором оптимальных параметров шпуровой разгрузки (рис.3, б), параллельностью бурения, равномерностью распределения, равноудаленностью и сонаправленностью шпуров 6. Для предотвращения разгерметизации затрубного пространства полость каждого шпура необходимо заполнить скрепляющим составом на основе пенополиуретана.

Для обоснования удаленности центров шпуров от оси скважины следует оценить размеры зоны неупругих деформаций (ЗНД) на основании закономерностей изменения напряженно-деформированного состояния массива вокруг подготовительной выработки, установленных для конкретного бассейна. В условиях отработки глубокозалегающих пластов Донбасса ее размеры можно определить по формуле, предложенной профессором Н.Н.Касьяном [6]. При последующем развитии методики экспериментально-аналитического метода оценки размеров ЗНД данная зависимость была модернизирована с учетом степени трещиноватости и техногенной нарушенности вмещающего массива горных пород [2, 13], после чего приняла следующий вид:

$$R_{\text{ЗНД}} = r_b \left[1 + 5,7 \left(\frac{\gamma H}{k_c R} - 0,21 \right) \right], \quad (1)$$

где $R_{\text{ЗНД}}$ – размеры ЗНД, м; r_b – радиус выработки, м; γ – объемный вес породы, МН/м³; H – расстояние от поверхности до центра выработки, м; k_c – коэффициент, учитывающий степень трещиноватости и техногенной нарушенности; R – прочность пород при их сжатии, МПа.

В результате исследований [9] установлена логарифмическая зависимость, отражающая степень снижения напряженности контура подземной дегазационной скважины от размеров перемины между скважиной и системой разгрузочных шпуров, а также их количества, которую можно записать в следующем виде:

$$k'_c (A - E) = 96,05 - 129,00 \ln N + 14,58L + 61,28 (\ln N)^2 + 5,32L^2 - 19,63L \ln N - \dots - 10,09 (\ln N)^3 + 0,50L^3 - 3,14L^2 \ln N + 6,24L (\ln N)^2, \quad (2)$$

где $k'_c (A - E)$ – напряжения контура скважины относительно уровня геостатического напряжения; N – количество шпуров; L – относительная ширина перемины, $L = \delta/r_c$; δ – минимальное расстояние между контурами скважины и шпуров, мм; r_c – радиус скважины, мм.

Расстояние между центрами скважины и шпуров необходимо выбирать так, чтобы шпуры находились вблизи границы ЗНД, рассчитываемой по формулам (1) (2), и были достаточными для формирования локальной области разгрузки.

Заключение. В работе предложено направление повышения эффективности отработки глубоководных газоносных угольных пластов Донбасса, основанное на использовании метода шпуровой разгрузки для сохранения стволов дегазационных скважин от действия повышенного горного давления. Установлено, что снижение напряжений контура скважин находится в логарифмической зависимости от роста размеров перемычки, а также увеличения числа шпуров. При обосновании оптимального соотношения вышеуказанных параметров снижение концентрации напряжений может достигать 30 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голик В.И. Технология управления состоянием скальных массивов с сохранением земной поверхности / В.И.Голик, В.И.Комашенко, Ю.И.Разоренов. Оренбург: Университет, 2017. 554 с.
2. Гребенкин С.С. Поддержание и проведение выработок глубоких шахт Донбасса. Донецк: Каштан, 2005. 256 с.
3. Дмитрак Ю.В. Геомеханические предпосылки сохранения устойчивости выработок при разработке водообильных месторождений / Ю.В.Дмитрак, В.И.Голик, В.В.Венигор // Известия Тульского государственного университета. Науки о Земле. 2018. Вып. 1. С. 221-226.
4. Зубов В.П. Состояние и направления совершенствования систем разработки угольных пластов на перспективных угольных шахтах Кузбасса // Записки Горного института. 2017. Т. 225. С. 292-297. DOI: 10.18454/PMI.2017.3.292
5. Казанин О.И. О проектировании подземной отработки свит пологих газоносных угольных пластов // Записки Горного института. 2015. Т. 215. С. 38-45.
6. Касьян Н.Н. Геомеханические основы управления зоной разрушенных пород вокруг выработок для обеспечения их устойчивости на больших глубинах: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук / Донецкий национальный технический университет. Донецк, 2002. 35 с.
7. Литвиненко В.С. Обоснование выбора параметров режима бурения скважин роторными управляемыми системами / В.С.Литвиненко, М.В.Двойников // Записки Горного института. 2019. Т. 235. С. 24-29. DOI: 10.31897/PMI.2019.1.24
8. Мустафин М.Г. Моделирование геомеханического состояния массива горных пород при добыче метана из угольных пластов // Записки Горного института. 2015. Т. 216. С. 57-61.
9. Обоснование параметров способа шпуровой разгрузки устьев дегазационных скважин / В.К.Костенко, Н.Н.Зинченко, В.С.Бригида, Л.Салихирадж // Физико-технические проблемы горного производства. 2012. № 15. С. 85-91.
10. Патент 1043320 СССР. Способ дегазации подрабатываемых угольных пластов при столбовой системе разработки / В.Ш.Бродский. Оpubл. 1983. Бюл. № 35.
11. Патент 2 282 030 RU. Способ разработки свиты сближенных высокогазоносных угольных пластов / В.А.Зуев, Ю.М.Погудин, О.И.Казанин, В.Н.Бобровников, А.И.Вовк, А.А.Сальников, В.М.Бучатский, И.П.Бочаров. Оpubл. 20.08.2006. Бюл. № 23.
12. Патент на корисну модель 77829 U. Спосіб дегазації підроблюваного вуглеродного масиву / В.К.Костенко, В.С.Бригида, Н.М.Зінченко. Публікація 25.02.2013. Бюл. № 4.
13. Предупреждение и тушение подземных эндогенных пожаров в труднодоступных местах / В.К.Костенко, Ю.Ф.Булгаков, С.В.Подкопаев и др. Дон.: Ноулидж, 2010. 253 с.
14. Black D. Actions to improve coal seam gas drainage performance / D.Black, N.Aziz // 11-th Underground Coal Operators' Conference. Wollongong: University of Wollongong and the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2011. P. 307-314.
15. Black D. Improving UIS gas drainage in underground coal mines / D.Black, N.Aziz // Coal Operators' Conference. Wollongong: University of Wollongong and the Australasian Institute of Mining and Metallurgy, 2008. P. 186-196.
16. Brigida V.S. Methane release in drainage holes ahead of coal face / V.S.Brigida, N.N.Zinchenko // Journal of Mining Science. 2014. Vol. 50. № 5. P. 994-1000. DOI: 10.1134/S1062739114010098
17. Kachurin N.M. Abandoned coal mines influence on atmosphere, environmental monitoring of coal mining and processing territories and preventive measures resources optimizing / N.M.Kachurin, S.A.Vorobev, P.V.Vasilev // XVIII International Coal Preparation Congress, 2016. P. 609-614. DOI: 10.1007/978-3-319-40943-6_93
18. Szlczak N. The Effectiveness of the Methane Drainage of Rock-Mass with a U Ventilation System / N.Szlczak, J.Swolkiein // Archives of Mining Science. 2016. Vol. 61. № 3. P. 617-634. DOI: 10.1515/amsc-2016-0044
19. Strengthening Borehole Configuration for the Retaining Roadway for Greenhouse Gas Reduction: A Case Study / F.Xue, N.Zhang, X.Feng, X.Zheng, J.Kan // PLoS ONE. 2015. № 10(1): e0115874. P.1-12. DOI: 10.1371/journal.pone.0115874

Авторы: В.С.Бригида, канд. техн. наук, научный сотрудник, 1z011@inbox.ru (Сочинский научно-исследовательский центр РАН, Сочи, Россия), В.И.Голик, д-р техн. наук, профессор, v.i.golik@mail.ru (Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Россия), Ю.В.Дмитрак, д-р техн. наук, ректор, rector@skgmi-gtu.ru (Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Россия), О.З.Габараев, д-р техн. наук, заведующий кафедрой, gabar@skgmi-gtu.ru (Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет), Владикавказ, Россия).

Статья поступила в редакцию 26.02.2019.

Статья принята к публикации 29.05.2019.