

Е.А. Шубина, В.Г. Лукьянов

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ С ЦЕЛЮ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СКВАЖИН ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ЗАБЛАГОВРЕМЕННОЙ ДЕГАЗАЦИИ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

В связи с развитием угледобывающей промышленности, стремительными темпами наблюдается увеличение глубины ведения горных работ при подземной отработке метаноугольных месторождений, что приводит к повышению метановыделения в горные выработки в связи с увеличением природной газоносности угольных пластов. Учитывая вышеперечисленные аргументы, которые начинают возникать с момента проектирования разведочных работ и усложняют добычу угля при освоении месторождения, возникает необходимость изучения и оптимизации проектных и производственных задач. Предложена возможность переоборудования и применения разведочных скважин для производства заблаговременной дегазации. Многофункциональное использование геологоразведочных скважин при производстве заблаговременной дегазации с применением плазменно-импульсного воздействия на угольный пласт, позволит обеспечить комплексное освоение метаноугольного месторождения и сократить затраты на производство барьерной, предварительной и других видов дегазации. Ключевые слова: метан, природная газоносность, скважина, дегазация, угольный пласт, месторождение, безопасность горных работ, налогообложение.

Введение

Освоение месторождений каменного угля Кузнецкого угольного бассейна совершенствуется на протяжении многих десятилетий. В связи с чем, в настоящее время наблюдается увеличение глубины отработки запасов угля подземным способом. С увеличением глубины разработки закономерно возрастает и природная газоносность угольных пластов, что

приводит к осложнению горно-геологических условий. На сегодняшний день, глубина ведения горных работ многих шахт составляет 600–900 м. В настоящее время современные технологии и методы дегазации не всегда позволяют достичь желаемой эффективности, в результате чего происходит увеличение концентрации метана в рудничном воздухе, что приводит к периодическим остановкам процесса добычи по газовому фактору.

Постановка задачи

Нарастание актуальности проблемы высокой природной газоносности неизбежно увеличивает себестоимость товарной продукции, так как требует существенных затрат на обеспечение безопасной добычи угля подземным способом. С целью поиска оптимального решения в части активной и безопасной разработки месторождений, в данной статье представлена краткая информация о природной газоносности Кузнецкого угольного бассейна, актуализирована проблема изменения подхода к освоению метаноугольных месторождений, предложены новые способы комплексного освоения месторождений с применением современных методов воздействия на угольные пласты с использованием геологоразведочных скважин для снижения природной газоносности до начала ведения горных работ.

Краткая характеристика объекта

Прогнозные ресурсы метана в основных угольных бассейнах России оцениваются в 83,7 трлн м³, что соответствует примерно трети прогнозных ресурсов природного газа страны. Особое место принадлежит Кузбассу, который по праву можно считать крупнейшим из наиболее изученных метаноугольных бассейнов мира. Прогнозные ресурсы метана в Кузбасском бассейне оцениваются более чем в 13–20 трлн м³ [1].

Оценка ресурсов метана в угольных пластах соответствует глубине 1800–2000 м и позволит обеспечить возможность крупномасштабной добычи метана в пределах Кузнецкого бассейна как самостоятельного полезного ископаемого.

В связи с увеличением мирового интереса к углеводородному сырью, возрастает и интерес к угольным пластам как к источнику накопления метана. Метан является наиболее опасным спутником угля. Технология дегазации угольных пластов в России на сегодняшний день производится с целью обеспечения безопасной добычи угля. На основании вышеизложенного, можно с уверенностью полагать, что в будущем метан может

стать ценным полезным ископаемым, подлежащим самостоятельной промышленной добыче или попутному извлечению в шахтах при комплексной поэтапной эксплуатации газоносных угольных месторождений.

Анализ текущего состояния и перспектив российского топливно-энергетического комплекса указывает на угрожающе надвигающееся истощение «газовой манны» и необходимость в ближайшее десятилетие перехода от газовой стратегии к газовой угольной, а в дальнейшем и к углегазовой [2]. В данной ситуации не малая роль будет отведена добыче метана из угольных пластов путем их дегазации.

Методика

Необходимость развития метаноугольного промысла в Кузбассе обусловлена рядом факторов:

- наличием необходимого количества запасов и ресурсов для добычи;
- наличием зарубежных и российских передовых эффективных технологий промысловой добычи метана из угольных пластов;
- потребностью в реструктуризации угледобывающей отрасли с внедрением заблаговременной дегазации угольных пластов и комплексной поэтапной обработки метаноугольных месторождений.

Научно-практическая потребность в данных по газоносности осваиваемых и разведываемых шахтных полей связана с необходимостью прогноза метанообильности горных выработок, разработки мер борьбы с газовой выделением, инженерных расчетов шахтной вентиляции и дегазации угольных пластов, а также для оценки ресурсов и подсчета запасов метана.

В табл. 1 представлены прогнозные данные о природной газоносности угольных пластов угленосных районов Кузбасса по горизонтам [3].

В соответствии с п. 6 «Инструкции по дегазации угольных шахт», 2011 г. (Утвержденной приказом Федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору от 01.12.2011 г. № 679), проведение дегазации угольного пласта считается обязательным при природной газоносности пласта $13 \text{ м}^3/\text{т}$ сухой беззольной массы (с.б.м.), а так же если работами по вентиляции невозможно обеспечить содержание метана в исходящей струе очистной горной выработки менее 1%.

Согласно вышеуказанных требований к обязательному производству работ по дегазации угольных работ и прогнозных данных

о природной газоносности угольных районов Кузбасса представленных в табл. 1, необходимо уже сегодня разрабатывать новые подходы к освоению метаноугольных месторождений с целью обеспечения эффективной и безопасной отработки угольных пластов залегающих ниже гор. -100 (абс.).

Геологоразведочные работы проводятся с бурением скважин с поверхности в границах шахтного поля в соответствии с требованиями методических рекомендаций «Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых» [4], регламентирующих требования к созданию разведочной сети для геологического изучения и подсчета запасов угля по категориям А, В, С₁, а так же попутных полезных ископаемых, в данном случае метана. Заблаговременная дегазация угольного массива позволяет начать работы по дегазации угольных пластов до начала ведения горных работ. Применение данных скважин после окончания разведочных работ в качестве скважин заблаговременной дегазации с использованием современных способов воздействия на угольный пласт с цель увеличения проницаемости, позволит снизить природную газоносность на значительной площади разведываемого участка. Сравнительный анализ влияния густоты разведочной сети на количество покрываемой площади для производства заблаговременной дегазации участка представлен в табл. 2.

Таблица 1

Прогноз увеличения природной газоносности угольных пластов по горизонтам

№ п/п	Угленосный район Кузбасса	Возраст отложений	Метаноносность угольных пластов по горизонтам (абс.), м ³ /т с.б.м.				
			+100	±0	-100	-300	-500
1	Анжерский	C ₂₋₃ bl	—	4–6	6–12	15–20	20–25
2	Кемеровский	P ₁₋₃ bl	4–10	6–14	8–13	19–24	23–28
3	Ленинский	P ₂ il, P ₂ er	3–5	5–14	10–16	14–20	17–22
4	Беловский	P ₂ il, P ₂ er	7–14	11–20	17–22	21–26	24–29
5	Прокопьевско-Киселевский	C ₂₋₃ bl, P ₁₋₃ bl	4–8	10–15	14–19	19–24	23–28
6	Араличевский	P ₁₋₃ bl	10–15	15–20	20–25	26–31	29–34
7	Осинниковский	P ₂ il	12–17	17–22	19–24	22–27	25–30
8	Ерунаковский	P ₂ il, P ₂ er	8–15	13–20	16–22	19–25	21–27

Таблица 2

Сравнительный анализ влияния густоты разведочной сети на количество покрываемой площади для производства заблаговременной дегазации участка

Выдержанность пластов	Радиус воздействия на пласт	Категории запасов	Расстояние между линиями по категориям запасов, м	Расстояние между скважинами на линиях по категориям запасов, м	Процент влияния густоты разведочных скважин на количество покрываемой площади участка, %
Выдержанные	200	A	600–800	200–400	45–78
		B	800–1200	400–600	20–45
		C ₁	до 2000	до 1000	13–28
	300	A	600–800	200–400	72–100
		B	800–1200	400–600	35–75
		C ₁	до 2000	до 1000	13–28
Относительно выдержанные	200	A	300–400	150–250	100
		B	400–600	200–300	75–100
		C ₁	до 1000	до 500	25–55

Таким образом, предусмотрев на этапе составления проекта разведочных работ оптимальную конструкцию, количество геологоразведочных скважин и возможность их дальнейшего переоборудования и использования для производства заблаговременной дегазации, появляется возможность рационального использования периода времени проектирования участка на снижение природной газоносности к началу ведения горных работ. С целью обеспечения полного покрытия всего участка сетью скважин для проведения заблаговременной дегазации, может возникнуть необходимость в бурении дополнительных скважин, что позволит произвести подсчет запасов шахтного угля с высокой природной газоносностью по более высоким категориям. Следует отметить, что переоборудованию подлежат только скважины расположенные в участке шахтного поля с природной газоносностью более 10–13 (с.б.м.).

На сегодняшний день известно более десятка различных способов воздействия на угольный пласт с целью увеличения газоотдачи. Одним из них является метод плазменно-импульсного воздействия в основе которого положен эффект воздействия

мощной волны сжатия, возникающей в результате интенсивного расширения плазменного канала, образующегося между специальными электродами [5–7]. В результате замыкания проводников происходит взрыв, формируется мощная ударная волна, сжимающая и растягивающая окружающую среду до тех пор, пока давление в ударной волне не сравняется с пластовым давлением. Возникает эффект акустической и гидродинамической кавитации, которая может диспергировать более прочные структуры чем уголь (Эффект П.Л. Ребиндера).

Заблаговременное искусственное провоцирование периодических ударных волн, одинаковой силы, разнесенных на одинаковые промежутки времени в неразгруженном угольном пласте и проницаемых перекрывающих породах приводит к развитию сети микротрещиноватости, заполненной свободным газом.

Для повышения эффективности дегазации угольных пластов предлагается использование плазменно-импульсного воздействия на угольные пласты, предусматривая переоборудование геологоразведочных скважин.

В качестве примера в части необходимости изменения подхода к процессу проектирования и комплексного подхода к изучению и обработке месторождений с использованием геологоразведочных скважин приводится ситуация сложившаяся в процессе проектирования одного из геологических участков каменноугольного месторождения. Закономерное нарастание природной газоносности угольных пластов, как и на всех метанугольных участках начинается ниже границы метановой зоны. Угольные пласты в данного участка залегают на значительной глубине от 150 до 530 м от поверхности (абс. отметки от +80 до –260 м) и практически полностью находятся в зоне метановых газов рис. 1. Максимальная природная газоносность участка составляет 20–25 м³/т с.б.м.

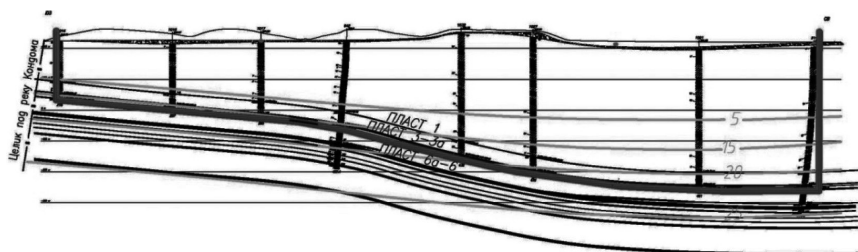


Рис. 1. Геологический разрез

При расчете определения метанообильности выемочных участков, мощность зоны разрушений определяется в соответствии с «Руководством по проектированию вентиляции угольных шахт» [8].

В процессе отработки угольных пластов подземным способом в границах данной зоны формируется система трещин техногенного характера, по которым метан из подрабатываемых и надрабатываемых угольных пластов мигрирует и увеличивает метановыделение в выемочный участок обрабатываемого пласта, в связи с чем создается ограничение объемов добычи по газовому фактору. Согласно принятого порядка отработки угольных пластов в границах представленного участка, вынимаемая мощность пласта 3 составляет— 1,8 м, мощность зоны влияния при подработке вышележащих угольных пластов составляет

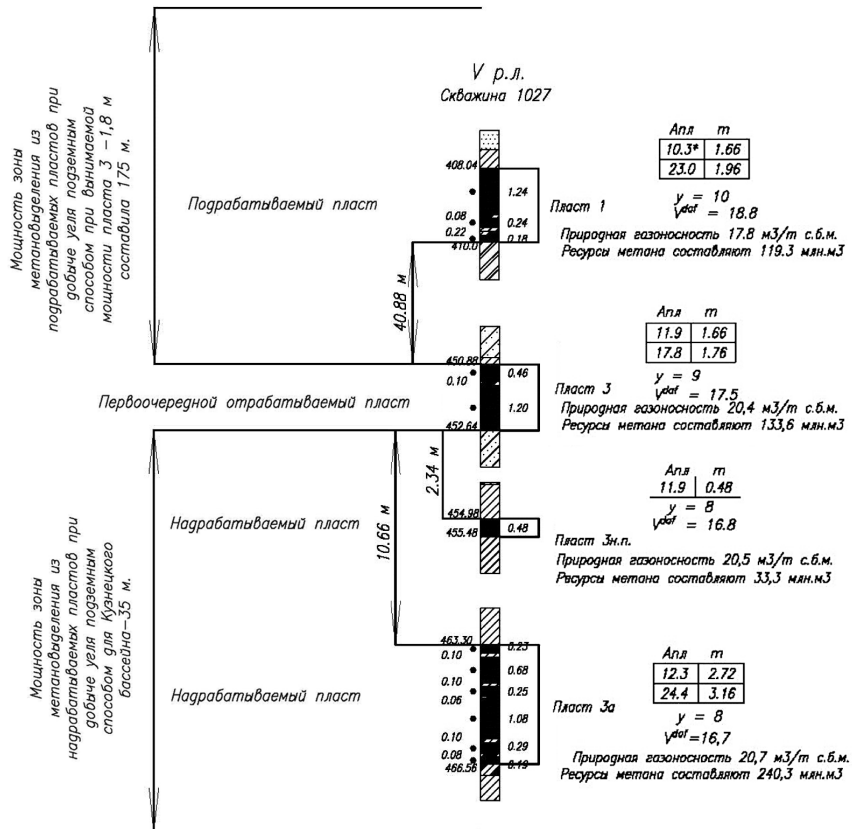


Рис. 2. Структура зоны метановыделения разрабатываемого участка

175 м, а при надработке для Кузнецкого бассейна принимается равной 35 м. Структура формирования зоны метановыделения разрабатываемого участка представлена на рис. 2.

Выбор рационального способа подготовки шахтного поля определяется с учетом рекомендации специализированных научных институтов в части порядка отработки защитных пластов, мощности, условий залегания, водообильности и природной газоносности угольных пластов.

Следовательно, согласно рис. 1 горно-геологические условия данного месторождения являются достаточно сложными и требующими особого подхода к освоению месторождения с целью обеспечения безопасной добычи в соответствии с производственной мощностью шахты и требованиями лицензионного соглашения.

Основными осложняющими горно-геологическими факторами данного участка являются: природная газоносность угольных пластов и гидрогеологические условия участка.

Таким образом, при отработке шахтного поля длинными столбами по простиранию и движением забоев по восстанию, в условиях высокой природной газоносности пласта 3 (20,4 м³/т с.б.м.), за счет метановыделения из подрабатываемого пласта 1 и надрабатываемых пластов 3 н.п. и 3 а, природная газоносность которых составляет более 20 м³/т с.б.м., общее метановыделение в выработанное пространство значительно возрастает, что приводит к увеличению нагрузки на предварительную и текущую дегазацию. Из этого следует, что в зоне разгрузки сближенных угольных пластов, отщепившихся и пластов спутников с высокой природной газоносностью, безопасная отработка первоначального пласта становится практически невозможной без применения заблаговременной дегазации.

На рис. 3 представлен план расположения геологоразведочных скважин по пласту 3, на который желтыми кругами от ствола геологоразведочных скважин нанесены зоны воздействия на угольный пласт с целью увеличения проницаемости при производстве заблаговременной дегазации.

Как видно из рис. 3, при достижении радиуса воздействия на пласт в среднем до 250 м, возможно произвести заблаговременную дегазацию угольных пластов и добыть до 70% ресурсов метана, количество которых по пластам 1, 3, 3 н.п. и 3 а составляет 526 млн м³, там самым обеспечить дальнейшую безопасную отработку угольных пластов.

В связи с невозможностью обеспечения безопасной отработки шахтного поля длинными столбами с движением забоем по

восстанию, в процессе проектирования был рассмотрен вариант отработки выемочных столбов по падению пласта, который так же оказался без права на реализацию, но по гидрогеологическими причинами, так как отработка месторождения начиналась бы в районе целика под р. Кондома. В связи с залеганием в кровле угольных пластов мощных слоев песчаников обладающих высоким коэффициентом фильтрации и имеют выход под русло р. Кондома в зоне целика, выявлена большая вероятность получения больших водопритоков в шахту за счет формирования депрессионной воронки и питания песчаников в русле р. Кондома. Что потребует выполнение дорогостоящих мероприятий по водопонижению.

Таким образом, при отработке лав с движением забоя вниз по падению, при приближении забоя к участку с высокой природной газоносностью, добыча угля будет существенно осложнена, как большими водопритоками на забой лавы, так и большими

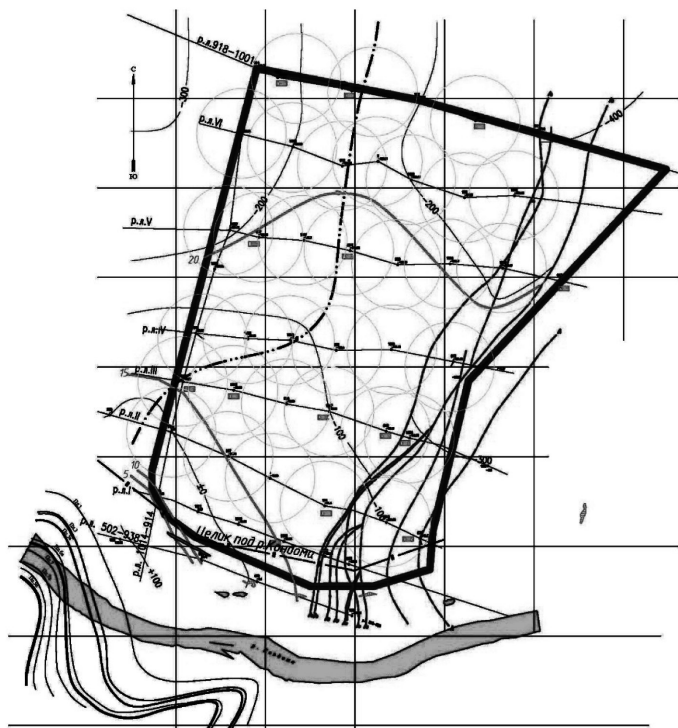


Рис. 3. План размещения геологоразведочных скважин по стадии разведка месторождения

газовыделениями в выработанное пространство, в результате чего объем добычи угля существенно снижается и процесс добычи становится не только экономически нецелесообразным, но и небезопасным.

В настоящее время развитие горных работ на данном участке приостановлено, так как помимо потраченных недропользователем средств на разведку и утверждение запасов, с целью обеспечения безопасной отработки, необходимо проведение дополнительных разведочных работ с целью получения данных для выполнения расчетов и выполнения проекта заблаговременной дегазации и дальнейшим бурением дегазационных скважин. Данные затраты совершенно не предусматривались инвестиционным проектом, а так же учитывая сложность вскрытия шахтного поля и количество балансовых запасов, проведение данных мероприятий может существенно повлиять на себестоимость товарной продукции, что подтверждает актуальность необходимости оптимизации и совмещения геологоразведочных работ и заблаговременной дегазации. Учитывая вышеизложенное, выполнение условий лицензионного соглашения в части начала освоения месторождения выполнить в данные сроки не представлялось возможным, а утвержденные в 2008 г. балансовые запасы в данный момент числятся в государственном балансе и в ближайшее время добыче не подлежат.

Следует отметить, что к отработке наиболее экономичным открытым способом добычи угля можно добыть лишь 20% из числящихся на государственном балансе запасов каменного угля, из этого следует, что подземный способ добычи будет являться основным, и наверняка данный участок является не единственным, отработка которого должна предусматривать проведение заблаговременной дегазации. Следовательно, при более подробном изучении природной газоносности при производстве разведочных работ проектными организациями предоставляется возможность без дополнительных затрат на изучение, получить исходные данные для выполнения проекта заблаговременной дегазации. А так же, переоборудовать и использовать разведочные скважины в схеме размещения дегазационных скважин для воздействия на угольный пласт с целью увеличения эффективности заблаговременной дегазации. Из рис. 3 видно, что при радиусе воздействия на угольный пласт 250 м, область дегазации практически равномерно покрывает всю площадь участка, что могло позволить дегазировать данный участок недр до настоящего времени и приступить к добыче угля.

Опыт зарубежных стран показывает, что масштабная добыча угольного метана в США, Австралии, Китае началась после того, как государства стали стимулировать данные проекты, предоставив значительные налоговые льготы компаниям, которые извлекают метан из угольных пластов.

На сегодняшний день в России с целью стимулирования развития добычи метана из угольных пластов на разных уровнях власти приняты различные налоговые льготы [9].

Внесенные изменения являются существенной поддержкой для развития добычи метана из угольных пластов в промышленных масштабах, а так же стимулируют обеспечение безопасной добычи угля за счет производства различных видов дегазации угольных пластов.

Заключение

Представленные сведения о природной газоносности угольных районов Кузбасса, анализ требований методических рекомендаций классификации запасов месторождений к созданию разведочной сети для геологического изучения, а так же требований «Инструкции по дегазации угольных шахт» выявлена необходимость совершенствования подхода к подготовке участков шахтного поля с высокой природной газоносностью к безопасной добыче угля. Оптимизация геологоразведочных, проектных и производственных задач, путем рассмотрения возможности переоборудования геологоразведочных скважин в дегазационные для производства заблаговременной дегазации на стадии составления проекта разведочных работ, позволит в дальнейшем обеспечить безопасную отработку участков шахтного поля с высокой природной газоносностью. Представлены существенные преимущества применения данного подхода и меры государственной поддержки предприятий ведущих освоение метанугольных месторождений с извлечением метана.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПАО «Газпром» [Электронный ресурс]: [официальный сайт] // 2003–2015. – Режим доступа: URL: <http://www.gazprom.ru/about/production/extraction/metan/>, свободный. – О перспективах добычи в России угольного газа (Дата обращения 20.11.2015).
2. Vorobjev B., Vasyuchkov K. Unconventional mining technologies for clean and efficient power generation // Mining Engineering. – 1998. – April. – P. 65–69.
3. Угольная база России. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассей-

ны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай). Т. 2. – М.: ООО «Геоинфорцентр», 2003.

4. *Методические рекомендации по применению Классификации запасов месторождений и прогнозных ресурсов твердых полезных ископаемых. Угли и горючие сланцы.* – М.: Изд. ФГУ ГКЗ, 2007. – 34 с.

5. *Агеев П. Г., Стрельченко В. В., Агеев Н. П.* Инновационная российская нанотехнология дает вторую жизнь бездействующим нефтяным и метаноугольным скважинам в США, Китае и России // Недропользование. – 2014. – № 1. – С. 26–31.

6. *Агеев П. Г., Стрельченко В. В. Казанцев О. Е.* Интенсификация потока метана из угольных пластов методом плазменно-импульсного воздействия // Газовая промышленность. – 2013. – Сентябрь. № 696. – С. 95–98.

7. *Агеев Н. П., Агеев П. Г., Десяткин А. С., Елсуков Г. А.* Сейсмические и геофизические исследования результатов плазменно-импульсного воздействия на угольные пласты с целью извлечения метана // Горная промышленность. – 2015. – № 5. – С. 2–5.

8. Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт. Утв. Мин. угольной промышленности СССР 15.08.1989 г. – Макеевка-Донбасс: НИИ по безопасности работ в горной промышленности, 1989. – 315 с.

9. *Шубина Е. А., Лукьянов В. Г.* Направление развития угольной промышленности в области недропользования и налогообложения с целью стимулирования развития добычи метана в промышленных масштабах // Известия Томского политехнического университета. – 2015. – Т. 326. – № 12. – С. 131–139. **ПДАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Шубина Елена Андреевна*¹ – аспирантка, e-mail: Lena_shubina@mail.ru,
*Лукьянов Виктор Григорьевич*¹ – доктор технических наук,
профессор, e-mail: lev@tpu.ru,

¹ Институт природных ресурсов
Томского политехнического университета.

Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2016. No. 10, pp. 377–389.

UDC 553.94:

550.8:

622.8(571.17)

E.A. Shubina, V.G. Luk'yanov

DESIGN OF EXPLORATION WELL DRILLING FOR PRE-MINING GAS DRAINAGE OF COAL SEAMS

The relevance of the study. Due to the intensive development of coal mining industry, there is an increase in underground mining depth and, as a rule, in coal seam gas content, which, in its turn, contributes to methane emissions into the mine workings.

Considering the above-mentioned facts which could present difficulties not only during coal production itself, but even at the stage of exploration design, there is a great need to carry out a detailed analysis of design and engineering tasks, elaborating the ways to optimize them. Therefore, the present article proposes the methods to reconstruct and modernize exploratory wells for pre-mining gas drainage. Multifunctional use of exploratory wells for

pre-mining drainage on the basis of plasma-impulse excitation on coal seam would ensure the integrated development of CBM (coal-bed methane) field and reduce production costs for barrier degassing, pre-mining drainage and other types of seam degassing.

The purpose of the study is to justify the needs for changing the approach to the development of CBM fields by optimizing exploration works and pre-mining drainage of coal seams with high natural gas content.

The authors presented the information on natural gas content coal basins in Kuzbass. Based on these data, the need to enhance the quality of preliminary actions aimed at ensuring further safety of coal mining has been proved. Using the method of analogies, particularly, exploration and pre-mining drainage technologies, and considering regulatory requirements, the authors carried out the comparative analysis of possible ways to reconstruct exploratory wells in order to reduce the natural gas content in coal seams.

It has been proposed to include the possibility of reconstructing exploratory well for pre-mining drainage when planning exploration works. This would ensure the safety of mining operations carried out in the fields with high natural gas content. The significant advantages of the proposed approach have been proved. The overview of tax benefits for enterprises that develop CBM fields has been provided.

Key words: methane, natural gas-bearing, well, degassing, coal seam, field, reserves, emissions of methane, safety of mining operations, taxation.

AUTHORS

Shubina E.A.¹, Graduate Student, e-mail: Lena_shubina@mail.ru,
Luk'yanov V.G.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: lev@tpu.ru,

¹ Institute of Natural Resources, Tomsk Polytechnic University,
634050, Tomsk, Russia.

REFERENCES

1. PAO «Gazprom» // 2003–2015, available at: <http://www.gazprom.ru/about/production/extraction/metan/>. O perspektivakh dobychi v Rossii ugol'nogo gaza (accessed 20.11.2015).
2. Vorobjev B., Vasyuchkov K. Unconventional mining technologies for clean and efficient power generation. *Mining Engineering*. 1998. April. P. 65–69.
3. *Ugol'naya baza Rossii. Ugol'nye basseyny i mestorozhdeniya Zapadnoy Sibiri (Kuznetskiy, Gorlovskiy, Zapadno-Sibirskiy basseyny; mestorozhdeniya Altayskogo kraya i Respubliki Altay)*. T. 2. (The coal base of Russia. Coal basins and deposits of West Siberia (Kuznetsky, Gorlovsky, West-Siberian basins; the deposits in the Altai territory and the Altai Republic), vol. 2), Moscow, OOO «Geoinfortsentr», 2003.
4. *Metodicheskie rekomendatsii po primeneniyu Klassifikatsii zapasov mestorozhdeniy i prognozykh resursov tverdykh poleznykh iskopaemykh. Ugli i goryuchie slantsy* (Methodical recommendations on application of classification of reserves and possible resources of solid mineral deposits. Coals and oil shale), Moscow, Izd. FGU GKZ, 2007, 34 p.
5. Ageev P. G., Strel'chenko V. V., Ageev N. P. *Nedropol'zovanie*. 2014, no 1, pp. 26–31.
6. Ageev P. G., Strel'chenko V. V. Kazantsev O. E. *Gazovaya promyshlennost'*. 2013. September, no 696, pp. 95–98.
7. Ageev N. P., Ageev P. G., Desyatkin A. S., Elukov G. A. *Gornaya promyshlennost'*. 2015, no 5, pp. 2–5.
8. *Rukovodstvo po proektirovaniyu ventilyatsii ugol'nykh shakht. Utv. Min. ugol'noy promyshlennosti SSSR 15.08.1989 g.* (Design Guide ventilation of coal mines), Makeevka-Donbass: NII po bezopasnosti rabot v gornoy promyshlennosti, 1989, 315 p.
9. Shubina E. A., Luk'yanov V. G. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta*. 2015, vol. 326, no 12, pp. 131–139.