УДК 622.831.325.3:622.411.33.004.8

В.Б.АРТЕМЬЕВ, *д-р техн. наук, заместитель генерального директора – директор по производственным операциям, pr_artem@suek.ru*
ОАО «Сибирская угольная энергетическая компания», Москва
А.Д.РУБАН, *д-р техн. наук, чл.-кор. РАН, заместитель директора, ruban_ad@mail.ru*
В.Н.ЗАХАРОВ, *д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией, val_zakharov@mail.ru*
В.С.ЗАБУРДЯЕВ, *канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, 8(495) 360-89-55*
Институт проблем комплексного освоения недр РАН, Москва

B.V.ARTEMIEV, *Dr. in eng. sc., deputy general director – director in production operations, pr_artem@suek.ru*
OJSC «Siberian Coal Energy», Moscow
A.D.RUBAN, *Dr. in eng. sc., RAS corresponding member, deputy director, ruban_ad@mail.ru*
V.N.ZAKHAROV, *Dr. in eng. sc., professor, laboratory head, val_zakharov@mail.ru*
V.S.ZABURDYAEVZ, *PhD in eng. sc., leading research assistant, 8(495) 360-89-55*
Institute of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of the RAS

НАУЧНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ ПО ДЕГАЗАЦИИ ШАХТ ПРИ ИНТЕНСИВНОЙ РАЗРАБОТКЕ ВЫСОКОГАЗОНОСНЫХ УГОЛЬНЫХ ПЛАСТОВ

Достижение высокой производительности забоев и обеспечение безопасности горных работ по газовому фактору при разработке высокогазоносных угольных пластов обеспечивается применением комплекса высокоэффективных способов дегазации источников метановыделения и проветривания горных выработок. Для выбора и обоснования рациональных технико-технологических решений при проектировании дегазации шахт разработан Промышленный регламент технологии извлечения и утилизации шахтного метана, апробированный при проектировании дегазации на шахтах им.С.М.Кирова и «Котинская» ОАО «СУЭК-Кузбасс»

Ключевые слова: газоносные пласты, разработка, метановыделение, дегазация, промышленный регламент, безопасность, производительность.

SCIENCE-BASED PROCEDURAL GUIDELINES FOR COALMINE METHANE DRAINAGE UNDER CONDITIONS OF HIGLY GAS-BEARING SEAM INTENSIVE MINING

Efficient Production of coal faces and safety of coal mining in relation to gas content while mining the highly gas-bearing coal seams shall be provided by using the highly efficient drainage and clearing means of the coalmine methane emission sources. In order to provide efficient basis for decision making and validating of technical solutions while designing the coalmine drainage systems there have been developed the Technical Regulations for Methane Extraction and Recovery under conditions of active highly gas-bearing seam mining. These Technical Regulations were successfully tested in course of process design of the coalmine methane drainage systems for Kirov and Kotinskaya Mines owned by SUEK-Kuzbass.

Key words: gas-bearing seams, coal seam extraction, methane emission, coalmine methane drainage, Technical Regulations, coal mining safety, efficient production.

Дегазация углепородного массива является ключевым технологическим процессом, обеспечивающим достижение стратегических условий конкурентоспособности подземной угледобычи в России, более трети продукции которой направляется на внешний рынок. Для угольной отрасли России, разрабатывающей наиболее метаноносные в мире пласты угля с содержанием метана в среднем 8,3 кг в тонне угля против средне-

мирового показателя, равного 4,9 кг/т [4], актуальным является устранение отрицательного влияния «газового фактора»:

- на безопасность ведения горных работ в метанообильных шахтах, где нередко случаются взрывы метановоздушных смесей, порой с катастрофическими последствиями;
- на применение современной угледобывающей техники, обеспечивающей высокий уровень производства угля и скоростное проведение подготовительных выработок;
- на состояние атмосферы Земли при ее загрязнении стойким парниковым газом, каковым является угольный метан.

Метанообильность ряда шахт РФ при объеме добычи угля до 4 млн т в год достигает 200 $м^3$/мин. Устранение негативного влияния «газового фактора» предусматривает применение оптимальных в конкретных горно-технических условиях технологических схем подготовки и отработки угольных пластов, способов вентиляции и дегазации угольных шахт, утилизации шахтного метана (ШМ). Определяющая роль должна отводиться технико-технологическим решениям по дегазации угольных пластов и выработанных пространств, которые обеспечивают не только снижение интенсивности метановыделения в шахтах, но и добычу ШМ в объемах, пригодных для утилизации, улучшая производственные, экономические и экологические показатели работы шахт.

Эффективность этих технико-технологических решений при разработке метаноносных угольных месторождений в значительной степени определяется существующей нормативно-правовой базой, способствующей безопасному использованию высокопроизводительной угледобывающей техники в метанообильных шахтах. Это, прежде всего, «Правила безопасности в угольных шахтах» (ПБ 05-618-03), «Руководство по проектированию вентиляции угольных шахт» (1989 г.) и «Методические рекомендации о порядке дегазации угольных шахт» (РД-15-09-2006) [3]. Введение в действие в 2007 г. РД-15-09-2006, разработанного на базе цикла исследований, выполненного специалистами ИПКОН РАН в 2003-2006 гг., определило обязательность дегазации при разработке угольных пластов с природной газоносностью более 13,0 $м^3$/т сухой беззольная массы (с.б.м.) и сформировало административный стимул для извлечения и утилизации ШМ при подземной угледобыче из газоносных угольных пластов. По нашему мнению, введение указанного требования обусловило повышение эффективности дегазационных работ, прежде всего в Кузнецком бассейне, и привело к резкому сокращению аварий по данному фактору с марта 2007 г. и до настоящего времени.

Вместе с тем резкий рост концентрации и интенсификации горных работ в 2000-2009 гг. и необходимость дальнейшего повышения безопасности горных работ по фактору метанобезопасности определяют целесообразность совершенствования данных документов. В настоящее время на основе опыта апробации РД 15-09-2006 и исследований 2006-2007 гг. подготовлена новая версия нормативного документа по дегазации угольных шахт, представленная на сайте Министерства природных ресурсов, а также готовится новая версия «Инструкции по проектированию вентиляции угольных шахт». На первый документ получены отзывы ряда угольных компаний, проектных, научных организаций, и сейчас разработчиками документа – ИПКОН РАН и ВостНИИ начата работа по его корректировке. Необходимость второго документа очевидна, поскольку с момента издания «Руководства по проектированию вентиляции угольных шахт» прошло более 20 лет и он во многом не соответствует современному уровню технологического развития подземной угледобычи и требованиям проектирования безопасных систем вентиляции угольных шахт при интенсивной отработке угольных пластов.

Кроме того, в современных условиях помимо документации, содержащей нормативные требования по промышленной безопасности в части дегазации угольных шахт, необходима разработка технологической документации, содержащей рекомендации по составу технологических стадий процессов извлечения и утилизации шахтного метана, определению и выбору их параметров и ряду других вопросов проектирования технологических процессов дегазации шахт

и утилизации ШМ применительно к конкретным горно-геологическим и горно-техническим условиям разработки газоносных угольных пластов.

Данная работа была выполнена ИПКОН РАН на принципах государственно-частного партнерства, инициатором которого выступила ОАО «Сибирская угольная энергетическая компания», по госконтракту с Федеральным агентством по науке и инновациям. Был разработан технологический документ – Промышленный регламент технологии извлечения и утилизации шахтного метана при интенсивной разработке высокогазоносных угольных пластов, содержащий описание, схемные решения и параметры технологических стадий процессов извлечения и утилизации шахтного метана [1]. По формату промышленный регламент является описанием кластерной технологии и в разработанной версии содержит максимально возможное число технологических стадий процесса, часть которых в ряде случаев может не реализовываться при извлечении и утилизации ШМ на конкретной шахте в связи с отсутствием потребности в них.

Промышленный регламент интегрированной технологии извлечения и утилизации шахтного метана является основным технологическим документом для разработки проектов дегазации шахты или участка в составе шахты, определяющим технологический режим, порядок осуществления стадий и операций, выполнение требований по охране окружающей среды и выпуску продукции (шахтного метана) надлежащего качества, соответствующего требованиям процесса его утилизации.

Промышленный регламент предназначен для организаций, осуществляющих проектирование, строительство и эксплуатацию систем дегазации и утилизации метановоздушных смесей (МВС) угольных шахт. В соответствии с «Методическими рекомендациями о порядке дегазации угольных шахт» (РД-15-09-2006) он устанавливает необходимые требования к процессу извлечения и утилизации шахтного метана при интенсивной разработке высокогазоносных угольных пластов, в том числе требования:

- проектирования и эксплуатации систем извлечения и утилизации шахтного метана;
- обеспечения высокопроизводительной работы метанообильных угольных шахт по газовому фактору;
- безопасного воздействия на окружающую среду систем и процессов утилизации шахтного метана;
- обеспечения безопасных условий труда для здоровья человека при строительстве, техническом обслуживании и эксплуатации систем извлечения и утилизации шахтного метана.

Перечень технологических стадий и операций извлечения и утилизации метана при подземной угледобыче в соответствии с Промышленным регламентом включает:

- прогноз газоносности углепородного массива;
- оценку метанообильности выемочных участков и шахты с учетом характеристики угольной шахты или месторождения;
- обоснование необходимости применения и планируемой эффективности шахтных дегазационных систем, стадий и параметров технологии извлечения шахтного метана;
- прогноз объемов извлечения и утилизации шахтного метана;
- схемы подготовки и отработки выемочных участков шахтного поля к интенсивной отработке газоносных пластов с применением средств дегазации, обеспечивающих извлечение кондиционных по метану газовоздушных смесей;
- контроль и управление шахтной дегазационной системой с использованием автоматизированной системы контроля параметров извлекаемых МВС шахтной дегазационной системой;
- требования к технологическому оборудованию, используемому при утилизации каптируемого метана путем его сжигания в газомоторных, котельных и факельных установках с целью выработки электрической и тепловой энергии, снижения вредных выбросов шахтного метана в атмосферу Земли;
- ряд других технологических стадий и операций;

• оценку экономической эффективности применения интегрированной технологии извлечения и утилизации шахтного метана в процессе разработки высокогазоносных угольных пластов подземным способом.

Проверка положений, изложенных в Промышленном регламенте, выполнена на одной из крупнейших шахт России – шахте им.С.М.Кирова ОАО «СУЭК-Кузбасс» при отработке пластов «Болдыревский» и «Поленовский», метаноносность которых на существующих горизонтах составляет 15-16 м^3/т с.б.м. При среднесуточной добыче угля в течение 2008 г., равной 12-15 тыс. т, метанообильность шахты составила в среднем 177,9 м^3/мин. В сложных газовых условиях отработки пласта «Болдыревского» среднесуточная нагрузка на лаву достигла 13 тыс. т рядового угля.

Горно-геологические условия шахты характеризуются наличием сближенных пластов угля «Болдыревский» и «Поленовский» при первоочередной отработке пласта «Болдыревский», оказывающего надрабатывающее влияние на выработки пласта «Поленовский», что осложняет ведение горных работ и требует своевременной и эффективной их дегазации [5].

Согласно положениям РД-15-09-2006 и Промышленного регламента извлечение МВС на шахте осуществлялось с использованием следующих способов:

• дегазации разрабатываемых угольных пластов «Болдыревский» и «Поленовский» в блоке № 3 (лавы от 24-48 до 24-53, от 25-90 до 25-93) скважинами, пробуренными из соответствующих упомянутым пластам конвейерных и вентиляционных печей, водоспускных и промежуточных штреков;

• дегазации подрабатываемых сближенных пластов «Брусницинский» и «Майеровский» и выработанных пространств скважинами, пробуренными из пройденных по пласту «Болдыревский» выработок над целиками угля между вентиляционными и конвейерными печами, а также скважинами, пробуренными с земной поверхности на действующих и ранее отработанных выемочных участках пласта «Болдыревский»;

• дегазации выработанного пространства на участках пласта «Поленовский» подземными скважинами, пробуренными над куполами обрушения из конвейерных печей.

Кроме скважинной дегазации угольных пластов и выработанных пространств метановоздушные смеси отводились от очистных забоев с помощью газоотсасывающих вентиляторных установок, расположенных на земной поверхности.

Новая эффективная технология герметизации устьев пластовых скважин с использованием полиуретанового клея «Шахтизол-100» (герметизатор ГСХУ), реализованная службой дегазации ОАО «СУЭК-Кузбасс», способствовала снижению подсосов воздуха в дегазационную систему и повышению концентрации метана в каптируемой газовоздушной смеси, которая стабильно держалась в пределах 35-42 %. При среднем расходе смеси 25 м^3/мин метановыделение из пластовых скважин, пробуренных по пластам «Болдыревский» и «Поленовский», составило 9,8 м^3/мин ($14{,}1\cdot10^3$ м^3/сут), а за нормированный срок дегазации, равный 180 суткам, было извлечено более 2,5 млн м^3 метана, поданного потребителям ШМ дополнительно к метану, каптированному из сближенных угольных пластов.

Из сближенных подрабатываемых угольных пластов «Брусницинский» и «Майеровский» МВС извлекались на участке действующей лавы 24-53 через три вертикальные скважины с использованием передвижных дегазационных установок (ПДУ) в объеме 44 м^3/мин (расход смеси 63-68 м^3/мин при концентрации метана 61-65 %), или $63{,}4\cdot10^3$ м^3/сут. Кроме того, из выработанных пространств ранее отработанных участков МВС извлекались через четыре наземные вертикальные скважины, расположенные в верхней части отработанных лав по пласту «Болдыревский», с расходом 28,2 м^3/мин. Таким способом каптированные из старых выработанных пространств МВС (после отработки пласта «Болдыревский» на участках лав 24-50, 24-51 и 24-52) подавались через сборную вертикальную скважину в магистральный дегазационный трубопровод, расположенный в центральном магистральном конвейерном штреке 24-03 и далее – на центральную вакуум-насосную станцию (ВНС).

Метано-воздушные смеси, извлекаемые из разрабатываемых угольных пластов «Болдыревский» и «Поленовский» и из старых выработанных пространств, в объеме 38 м^3/мин поступали от центральной ВНС к потребителям каптированного шахтного метана, в числе которых сейчас две газомоторные установки (ГМУ) установленной мощностью 1,55 МВт каждая и котельная установка (КУ). Для выработки электрической энергии на ГМУ подавалось 14 м^3/мин метана, а для выработки тепловой энергии КУ при работе одного котла – 24 м^3/мин метана.

Каптируемый метан через удаленные от магистрального дегазационного трубопровода вертикальные скважины, пробуренные на выемочном участке действующей лавы (в период испытаний это лава 24-53), утилизируется на факельной установке, расположенной на шахтном поле вблизи упомянутых вертикальных скважин.

Для дожигания избытка каптированного шахтного метана центральной ВНС дополнительно к ГМУ и КУ предусмотрена низкотемпературная факельная установка (ФУ), которая расположена на центральной промплощадке шахты им.С.М.Кирова. Установки для утилизации каптируемого шахтного метана функционируют при оптимальном содержании метана в извлекаемой смеси не менее 35 % – на ГМУ, 30 % – на КУ и 25 % – на ФУ. Средствами дегазации в октябре 2009 г. извлекалось в среднем 65 м^3/мин метана и утилизировалось 38 м^3/мин метана при средней его концентрации в каптируемой смеси 58 %.

Для более полного извлечения и утилизации шахтного метана предусмотрено задействовать максимальные возможности имеющихся на шахте средств дегазации, исключив при этом применение газоотсасывающих вентиляторных установок, которые отводят МВС из выработанных пространств действующих лав на пластах «Болдыревский» и «Поленовский» с последующим выбросом их в атмосферу Земли с концентрацией метана 3 % в объемах 30-40 м^3/мин метана. Такие объемы выбрасываемого в атмосферу шахтного метана при условии его извлечения средствами дегазации являются резервом для увеличения объемов утилизации в ГМУ, КУ и ФУ, что позволит существенно уменьшить выбросы метана в атмосферу Земли и выработать дополнительные объемы электрической и тепловой энергии.

Принципиально новыми элементами проектирования шахтной дегазационной системы (ШДС) в соответствии с Промышленным регламентом являются следующие:

1) автоматизированная система контроля (АСК ШДС) параметров МВС в шахтной дегазационной системе; испытания АСК ШДС успешно проведены на шахте им.С.М.Кирова – в автоматизированном режиме измеряются параметры каптируемой газовоздушной смеси в участковом, магистральном дегазационных трубопроводах и на оборудовании утилизации ШМ;

2) технология построения геопространственной модели шахтного поля на базе Arc GIS для оценки прогнозных ресурсов ШМ в пределах шахтного поля [5];

3) технология выявления локальных коллекторов метана в углепородном массиве, использование которой способствует более полному извлечению шахтного метан [2];

4) технологические модули дегазации углепородного массива и выработанных пространств, интегрированные в типовые схемы подготовки и разработки газоносных пластов при высокоинтенсивной их отработке в условиях конкретных угольных шахт [6].

В соответствии с соглашением между Федеральным агентством по науке и инновациям и ОАО «СУЭК» права на технологическую и конструкторскую документацию, разработанную при выполнении проекта, делегированы ОАО «СУЭК» и ИПКОН РАН.

К настоящему времени с использованием положений Промышленного регламента выполнены проекты дегазации для шахт им.С.М.Кирова и «Котинская» ОАО «СУЭК-Кузбасс» и рудника «Удачный» АК «АЛРОСА».

Выводы

1. В рамках государственного контракта Федерального агентства по науке и инновациям разработан Промышленный регламент технологии извлечения и утилизации ШМ, позволяющий создать технологическую базу проектирования шахтных систем

извлечения и утилизации ШМ при интенсивной отработке газоносных угольных пластов в составе проектов шахт и проектов дегазации выемочных участков. Продуктом данного технологического процесса являются кондиционные МВС, электро- и теплоэнергия.

2. Впервые разработаны новые высокотехнологичные технические, методические и программные средства – АСК ШДС, технология построения геопространственной модели шахтного поля и ряд других средств, обеспечивающих существенное повышение эффективности процесса извлечения и утилизации ШМ в целом.

3. Разработка и внедрение технико-технологических решений, включенных в Промышленный регламент и удовлетворяющих требованиям РД-15-09-2006, обеспечили достижение производительности очистных забоев и безопасности горных работ по фактору метанобезопасности на шахте им. С.М.Кирова, соответствующих лучшей мировой практике в сопоставимых горно-геологических и горно-технических условиях разработки высокогазоносных пластов угля.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Артемьев В.Б.* Промышленный регламент технологии извлечения и утилизации шахтного метана в процессе разработки высокогазоносных угольных пластов подземным способом/ В.Б.Артемьев, А.Д.Рубан, В.С.Забурдяев, Е.П.Ютяев // Уголь. 2010. № 2. С.18-20.

2. *Захаров В.Н.* Мониторинг строения, гео- и газодинамического состояния углепородных массивов при эксплуатации углегазовых месторождений // Коммерческое использование нетрадиционных ресурсов метана и отходов сельскохозяйственного производства: Тез. докл. международ. конф. М., 2009. С.45-46.

3. Методические рекомендации о порядке дегазации угольных шахт (РД-15-09-2006). Серия 05. Выпуск 14 / А.Д.Рубан, В.С.Забурдяев, В.Б.Артемьев, С.Н.Подображин. М., 2007. 256 с.

4. *Рубан А.Д.* Метан в шахтах и рудниках России: прогноз, извлечение и использование/ А.Д.Рубан, В.С.Забурдяев, Г.С.Забурдяев, Н.Г.Матвиенко. М., 2006. 312 с.

5. *Рубан А.Д.* Опыт высокопроизводительной работы очистных забоев на метаноносных угольных пластах. / А.Д.Рубан, В.Б.Артемьев, В.С.Забурдяев, А.К.Логинов // Уголь. 2009. № 10. С.3-6.

6. *Рубан А.Д.* Проблемы обеспечения высокой производительности очистных забоев в метанообильных шахтах / А.Д.Рубан, В.Б.Артемьев, В.С.Забурдяев, Г.С.Забурдяев, Ю.Ф.Руденко. М., 2009. 396 с.

REFERENCE

1. *Artemiev V.B., Ruban A.D., Zaburdyaev V.S., Yutaiev Y.P.* Technical Regulations for Methane Extraction and Recovery under conditions of active highly gas-bearing seam underground mining. Coal. 2010. № 2. P.18-20.

2. *Zakharov V.N.* Monitoring of coal seam structure, geo- and gasdynamic status under conditions of coal and gas fields development // Commercial Use of Non-Traditional Methane Resources: Theses. International Conference. Moscow, 2009. P.45-46.

3. *Ruban A.D., Zaburdyaev V.S., Artemiev V.B., Podobrazhin S.N.* Drainage of Coal mines. Recommended Practice (РД-15-09-2006). Moscow, 2007. 256 p.

4. *Ruban A.D., Zaburdyaev V.S., Zaburdyaev G.S., Matvienko N.G.* Coalmine and pit methane in Russia: prognosis, extraction, use. Moscow, 2006. 312 p.

5. *Ruban A.D., Artemiev V.B., Zaburdyaev V.S., Loginov A.K.* Efficient Production under conditions of mining faces within highly methane-bearing coal seams. Experience // Coal. 2009. № 10. P.3-6.

6. *Ruban A.D., Artemiev V.B., Zaburdyaev V.S., Zaburdyaev G.S., Rudenko Y.F.* Efficient Production of coal face under conditions of methane – abundant mines. Important Issues. Moscow, 2009. 396 p.