

ЕВРОПЕЙСКАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ

ПАРТНЕРСТВО “МЕТАН – НА РЫНКИ”

**Руководство по наилучшей практике
эффективной дегазации источников
метановыделения и утилизации метана
на угольных шахтах**

СЕРИЯ ПУБЛИКАЦИЙ ЕЭК ПО ЭНЕРГЕТИКЕ, № 31



Организация Объединенных Наций
Нью-Йорк и Женева, 2010 год

Примечание

Употребляемые обозначения и изложение материала в настоящем издании не означают выражения со стороны Секретариата Организации Объединенных Наций какого бы то ни было мнения относительно правового статуса страны, территории, города или района или их властей или относительно делимитации их границ.

Упоминание названий фирм, лицензированных процессов или коммерческих продуктов не означает их одобрения со стороны Организации Объединенных Наций.

Издание Организации Объединенных Наций
<i>В продаже под № R.10.II.R.2</i>
ISBN 978-92-1-117018-4 ISSN 1014-7225

Авторские права © Организации Объединенных Наций, 2010 год
Все права защищены во всем мире

Предисловие

На протяжении двух последних столетий уголь являлся важным источником производства первичной энергии в мире, и в обозримом будущем мир по-прежнему будет находиться в зависимости от угля как одного из источников энергии. Из-за выделения метана (CH₄) в процессе выемки угля во многих шахтах мира возникают опасные условия для ведения работ, неприемлемым последствием которых является гибель людей в результате многочисленных аварий, вызываемых метаном. Вместе с тем эффективное управление газовой средой не ограничивается проблемами безопасности. После выведения в атмосферу, прежде всего систем дегазации, метан навсегда утрачивается как энергоресурс. Кроме того, поступающие в атмосферу выбросы вносят свой вклад в изменение климата. К счастью, эти проблемы могут быть решены параллельно в рамках эффективных и скоординированных мер реагирования.

Хотя авторитетные технические издания по вопросам управления метаном широко доступны специалистам угольной промышленности, единого информативно насыщенного и доступного источника рекомендаций для руководителей высшего звена ранее не издавалось. «Руководство по наилучшей практике эффективной дегазации источников метановыделения и утилизации метана на угольных шахтах» подготовлено с целью устранения этого серьезнейшего пробела. Рекомендуемые принципы и стандарты по каптажу и утилизации шахтного метана (ШМ) изложены в четкой и лаконичной форме, с тем чтобы у лиц, принимающих решения, имелась прочная основа для понимания того, чем следует руководствоваться при определении направленности решений политического и коммерческого характера. Мы считаем, что такие знания имеют крайне важное значение для полного предотвращения случаев гибели людей и недопущения риска взрывов при одновременной минимизации воздействия атмосферных выбросов ШМ на окружающую среду. Начало изменениям должно быть положено на верхнем уровне управления.

Данный руководящий документ также может быть использован студентами и даже техническими специалистами для первоначального ознакомления с основными принципами управления метаном и источниками справочной информации по этой теме. Кроме того, в рамках этой общей инициативы несколько организаций профинансировали переиздание основополагающего справочного руководства «Firedamp Drainage Handbook» («Справочное руководство по дегазации источников выделения рудничного газа»), которое является одним из наиболее авторитетных технических справочников, и было впервые опубликовано издательством «Ферлаг Глюкауф» для Комиссии европейских сообществ в 1980 году.

Хотелось бы подчеркнуть, что «Справочное руководство по наилучшей практике» не заменяет и не отменяет национальные или международные законодательные нормы либо другие юридически обязывающие документы. Излагаемые в нем принципы призваны служить руководством, дополняющим существующую нормативно-правовую базу, и подспорьем в разработке более безопасной и эффективной практики в тех случаях, когда отраслевая практика и нормативное регулирование еще находятся на стадии формирования.

Те, кто внесли свой вклад в этот проект, добровольно и с готовностью посвятили ему свое время, желая содействовать повышению безопасности в угледобывающей промышленности. Учитывая недавние аварии и памятуя обо всех жертвах прошлых аварий, авторы выражают надежду на то, что их работа будет способствовать все большему повышению безопасности работ на угольных шахтах.

Февраль 2010 года

Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций
Партнерство «Метан - на рынки»

Содержание

Предисловие	iii
Содержание	v
Выражение признательности	viii
Сокращения и аббревиатуры	x
Глоссарий терминов	xii
Резюме	xiv
Глава 1. Введение	1
Основные тезисы	1
1.1 Цели настоящего руководящего документа	1
1.2 Проблемы	2
1.3 Каптирование, утилизация и сокращение атмосферных выбросов газов	3
Глава 2. Основы управления газовойделением	6
Основные тезисы	6
2.1 Цели управления газовойделением	6
2.2 Возникновение газоопасных ситуаций	6
Возгорание взрывоопасных метановых смесей	8
2.3 Снижение уровня взрывоопасности	9
2.4 Принципы нормативного регулирования и управления	10
Эффективная нормативная база для обеспечения безопасности	10
Обеспечение соблюдения норм	11
Допустимые концентрации газов для создания безопасных условий труда	11
Безопасность при транспортировке и утилизации газа	12
Нормативное регулирование, направленное на снижение опасности возгорания	13
Глава 3. Присутствие и высвобождение газов и прогнозирование газовойделения в угольных шахтах	14
Основные тезисы	14
3.1 Введение	14
3.2 Присутствие газа в угольных пластах	14
3.3 Процесс газовойделения	15
3.4 Относительная газообильность угольных шахт	16
3.5 Понимание характеристик газов угольных шахт	16
3.6 Измерение газоносности угля	18
3.7 Практические расчеты газовых потоков в угольных шахтах	19

Глава 4. Проветривание шахты	21
Основные тезисы	21
4.1 Цели проветривания	21
4.2 Основные элементы проекта системы проветривания	22
4.3 Проветривание газообильных выемочных забоев	23
4.4 Потребность в электроэнергии для системы проветривания	25
4.5 Проветривание тупиковых выработок и камер.....	26
4.6 Контроль за проветриванием	27
4.7 Управление проветриванием.....	27
Глава 5. Дегазация источников метановыделения	29
Основные тезисы	28
5.1 Дегазация источников метановыделения и связанные с ней проблемы	28
5.2 Основные принципы применяемой в мире практики дегазации источников метановыделения	28
5.3 Предварительная дегазация.....	29
5.4 Основные принципы текущей дагазации	31
5.5 Проектировочные требования к системам дегазации источников метановыделения	33
5.6 Подземные газодренажные трубопроводы	34
5.7 Мониторинг систем дегазации источников газовойделения.....	35
Глава 6. Использование метана и борьба с его выбросами	36
Основные тезисы	36
6.1 Метан угольных шахт и смягчение изменения климата	36
6.2 Шахтный метан как энергоресурс.....	36
6.3 Варианты использования метана	37
6.4 Борьба с выбросами метана и использование каптированного метана	39
6.4.1 Шахтный метан средних-высоких концентраций.....	39
6.4.2 Дренированный метан низких концентраций.....	41
6.4.3 Технологии очистки разбавленного метана из систем дегазации.....	41
6.4.4 Сжигание в факеле	42

6.5 Борьба с выбросами метана вентиляционных струй низкой концентрации или его утилизация.....	43
6.6 Мониторинг метана.....	44
Глава 7. Издержки и экономические вопросы	44
Основное содержание.....	46
7.1 Обоснование целесообразности дегазации метана.....	46
7.2 Сравнительные издержки дегазации источников метановедения	47
7.3 Экономические аспекты утилизации метана	48
7.4 Углеродное финансирование и другие стимулы.....	51
7.5 Вмененные издержки утилизации	54
7.6 Природоохранные затраты	54
Глава 8. Выводы и резюме для директивных органов	55
Глава 9. Примеры из практики.....	58
Пример 1. Достижение планируемых показателей добычи угля на газобильной шахте, работающей по системе длинных забоев с выемкой обратным ходом, при высоком напряжении во вмещающих породах склонного к самовозгоранию угольного пласта - Соединенное Королевство.....	59
Пример 2. Высокоэффективные операции в длинном забое в зонах с большим газовыделением - Германия.....	61
Пример 3. Высокоэффективные операции в длинном забое в зонах с большим газовыделением - Австралия	63
Пример 4. Снижение риска взрывоопасности в шахтах при камерно-столбовой системе разработки пласта - Южная Африка.....	66
Пример 5. Разработка схемы производства электроэнергии по системе когенерации на основе шахтного метана/борьбы с выбросами метана - Китай	69
Пример 6. Метан вентиляционных струй - Китай	70
Пример 7. МВС - Австралия.....	72
Добавление 1. Сопоставление методов дегазации источников газовыделения	74
Справочные материалы	84
Дополнительные материалы	86

Выражение признательности

Организации-спонсоры

Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) является одной из пяти региональных комиссий Организации Объединенных Наций и служит форумом, в рамках которого 56 стран Северной Америки и Западной, Центральной и Восточной Европы, а также Центральной Азии объединяют усилия с целью создания инструментов взаимного экономического сотрудничества. К основным областям деятельности ЕЭК ООН относятся: экономическое сотрудничество, окружающая среда и населенные пункты, статистика, устойчивая энергетика, торговля, развитие промышленности и предпринимательства, лесоматериалы и транспорт. Работа ЕЭК ООН по достижению поставленных целей проводится путем анализа политики, разработки конвенций, правил и стандартов, а также предоставления технической помощи (www.unece.org/energy/se/cmm.html).

Партнерство **Метан - на рынки** (M2M) - международное государственно-частное партнерство в составе 30 стран-партнеров и Европейской комиссии, созданное в 2004 году с целью содействия затратоэффективному сокращению выбросов метана путем его извлечения и утилизации в четырех основных секторах - источниках выбросов метана: в угледобывающей промышленности, на полигонах отходов, нефтегазовых предприятиях и в сельском хозяйстве. Подкомитет по углю объединяет ведущих экспертов по извлечению и утилизации шахтного метана, которые обмениваются информацией о современном состоянии технологий и практики на рабочих совещаниях, курсах подготовки, во время ознакомительных поездок и в процессе реализации инициатив по наращиванию потенциала (www.methanetomarkets.org).

Структура

Идея подготовки настоящего документа была выдвинута *Руководящим комитетом*, который определил его направленность и общую концепцию, а его проект был подготовлен *Группой технических экспертов* в составе пяти признанных в мире экспертов по проветриванию шахт и дегазации источников метановыделения на них. Первое рассмотрение проекта документа до выполнения экспертами официальной технической экспертизы проводилось *Консультативной группой* от заинтересованных сторон для обеспечения того, чтобы содержащиеся в нем идеи были четко и доходчиво доведены до старших руководителей директивных органов.

Исполнительный руководящий комитет

- Памела Франклин, Сопредседатель, Подкомитет по углю M2M
- Роланд Мадер, заместитель Председателя, Специальная группа экспертов по шахтному метану ЕЭК ООН
- Раймонд К. Пилчер, Председатель, Специальная группа экспертов по шахтному метану ЕЭК ООН
- Карлотта Сегре, Секретарь, Специальная группа экспертов по шахтному метану ЕЭК ООН
- Кларк Толкингтон, бывший Секретарь, Специальная группа экспертов по шахтному метану ЕЭК ООН

Редакционная группа технических экспертов

- Бхарате Белле, горнодобывающая компания "Англо-Америкэн"
- Дэвид Криди, "Синдикатум карбон кэпитал лтд."
- Эрвин Кунц, компания "ДМТ ГмбХ & Ко. КГ"

- Майк Питтс, компания "Грин гэс интернэшнл"
- Хильмар фон Шонфельдт, консалтинговая фирма "ХФВ консалтинг"

Консультативная группа от заинтересованных сторон

- Юрий Бобров, Ассоциация шахтерских городов Донбасса (Украина)
- Грэм Хэнкок, Всемирный банк
- Мартин Хан, Международная организация труда
- Ху Юйхун, Государственная служба по вопросам безопасности труда (Китай)
- Сергей Шумков, Министерство энергетики (Российская Федерация)
- Ашок Сингх, Центральный институт планирования и проектирования горнодобывающей промышленности (Индия)

Техническая экспертная группа

- Джон Каррас, Организация по научно-промышленным исследованиям Содружества (Австралия)
- Хуа Гуо, Организация по научно-промышленным исследованиям Содружества (Австралия)
- Ли Гохун, компания "Тиефа Коул индастри лтд." (Китай)
- Глин Пирс Джонс, компания "Тролекс лтд." (Соединенное Королевство)
- Б.Н. Прасад, Центральный институт планирования и проектирования горнодобывающей промышленности (Индия)
- Ральф Шлютер, компания "ДМТ Гмбх & Ко. КГ" (Германия)
- Карл Шульц, компания "Грин гэс интернэшнл" (Соединенное Королевство)
- Яцек Скиба, Центральный институт горного дела Катовице (Польша)
- Тревор Стей, компания "Англо-Америкэн металлурджикэл коул" (Австралия)
- Олег Тайлаков, Международный центр исследований угля и метана "Углеметан" (Российская Федерация)

Кроме лиц, указанных выше, организации-спонсоры желают выразить свою признательность г-ну Люку Уоррену, который играл незаменимую роль на первоначальных этапах реализации этого проекта.

Сокращения и аббревиатуры

CFRR	Каталитический поточный реверсивный реактор
CH ₄	Метан
CMR	Каталитический монолитный реактор
CO ₂ -экв.	Эквивалент диоксида углерода
PSA	Адсорбция со сдвигом давления
TFRR	Термический поточный реверсивный реактор
AMC	Адсорбция молекулярным ситом
БМР	Бурение малого радиуса
БСР	Бурение среднего радиуса
ВС	Внутреннее сгорание
ГРБ США	Горнорудное бюро Соединенных Штатов Америки
ЕБРР	Европейский банк реконструкции и развития
ЕСВ	Единицы сокращения выбросов
ЕЭК ООН	Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций
ИТО	Инспекции и техническое обслуживание
КВт.ч	Киловатт-час
КПГ	Компримированный природный газ
л/сек	Литров в секунду
м	Метр
м/сек	Метров в секунду
м ³ /с	Кубометров в сутки
м ³ /сек	Кубометров в секунду
МВС	Метан вентиляционных струй
МВт _э	Мощность в мегаваттах электрической энергии
мД	Миллидарси (общеупотребительная единица измерения, составляет около 10 ⁻³ (мкм) ²)
Млн. т	Миллион (10 ⁶) тонн
Млн. т год	Миллион (10 ⁶) тонн в год
МУП	Метан угольных пластов

МЧР	Механизм чистого развития
нм ³	Кубический метр при нормальных условиях
ПВС	Проверенные сокращения выбросов
ПГ	Парниковый газ
ПГП	Потенциал глобального потепления
РКИКООН	Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата
скфм	Стандартные кубические футы в минуту
СО	Совместное осуществление
СО ₂ -экв.	Эквивалент диоксида углерода
СПГ	Сжиженный природный газ
СПСВ	Соглашение о покупке сокращений выбросов
ССВ	Сертифицированные сокращения выбросов
т	Тонна (метрическая)
т/с	Тонн в сутки
ШМ	Шахтный метан
ЭСМАП	Программа помощи в области управления сектором энергетики

Глоссарий терминов

В угольной промышленности и отрасли по утилизации шахтного газа по-прежнему отсутствует ясность в отношении терминов и сокращений, применяемых в разных нормативных системах. Помимо приводимых ниже терминов, ЕЭК ООН подготовила Глоссарий терминов и определений по шахтному метану, который имеет более полный характер и содержит указания на то, каким образом терминология применяется в разных регионах (www.unecsc.org/energy/se/pdfs/cmm/cmm4/ECE.ENERGY.GE.4.2008.3_e.pdf).

Вентиляционный шлюз – сооружение, состоящее из последовательно установленных дверей и дающее возможность перемещаться из одного участка вентиляционной сети шахты в другой, не вызывая короткого замыкания вентиляционных струй.

Вспомогательное проветривание – подача части основной вентиляционной струи в забой тупиковой выработки (т.е. с одним выходом) с помощью вентилятора местного проветривания и воздухопровода.

Реверсивное проветривание – временная мера, связанная с изменением направления вентиляционной струи со стороны вентиляционного штрека длинного забоя, проветриваемого по U-образной схеме для отведения части воздуха из выработанного пространства с целью обеспечения доступа для бурения дегазационных скважин и предотвращения поступления высококонцентрированных газов из выработанного пространства к забою.

Вентиляционный ствол – вертикальный ствол шахты, через который из выемочных участков отводится воздух, насыщенный газом.

Тупиковая выработка – подготовительная выработка с одним выходом, в которой необходимо проводить вспомогательное проветривание.

Камерно–столбовая система разработки – способ разработки, при котором уголь извлекается из нескольких камер, которые впоследствии объединяются, в результате чего остаются неотработанные угольные целики, служащее для поддержки кровли.

Эффективность каптажа (дегазации) – доля метана (по объему), каптированного системой дегазации источников метановыделения, в общем количестве высвободившегося газа. Высвободившийся газ рассчитывается как сумма каптированного газа и газа, поступившего в вентиляционный воздух шахты. Эффективность каптажа (или дегазации), которая, как правило, выражается в виде процентной доли, может определяться либо для одной выемочной панели длинного забоя, либо для всей шахты в целом.

Газ призабойного пространства – газ, выделившийся из разрабатываемого пласта под воздействием выемочной машины.

Метан угольных пластов (МУП) – общий термин для обозначения газа с высоким содержанием метана, естественным образом присутствующего в угольных пластах; в состав такого газа, как правило, входит 80–95% метана и более низкая доля этана, пропана, азота и диоксида углерода. В соответствии с общепринятой международной практикой этот термин означает метан, извлеченный из неотработанных угольных пластов с помощью скважин, пробуренных с земной поверхности.

Шахтный метан (ШМ) – газ, каптированный в действующей угольной шахте с помощью методов дегазации источников метановыделения в подземных выработках. В состав газа входит смесь метана и других углеводородов, а также водяные пары. Нередко он разбавляется воздухом и соответствующими продуктами окисления в результате неизбежного поступления воздуха в газодренажные скважины или галереи по трещинам, возникающим вследствие проведения горных работ, а также в результате утечки воздуха через негерметичные соединения подземных трубопроводных систем. Данное определение охватывает любой газ, каптируемый в подземных выработках, независимо от того, проводилась ли дегазация до или после начала ведения горных работ, а также любой газ, извлеченный из скважин, пробуренных в выработанное пространство с поверхности. ШМ, извлеченный до начала ведения горных работ, может иметь высокую степень чистоты.

Непластовый газ – выделения газа, помимо газа отрабатываемого пласта.

Рудничный газ – альтернативный термин для обозначения ШМ.

Дегазация источников газовой выделения – методы каптирования газа, естественным образом присутствующего в угольных пластах, с целью недопущения его попадания в атмосферу шахты. Газ может удаляться из угольных пластов до начала ведения горных работ с использованием методов их предварительной дегазации, а также из угольных пластов, нарушенных в процессе выемки, с использованием методов текущей дегазации. Нередко используется термин «дегазация источников метановыделения», если метан является основным целевым газовым компонентом, подлежащим каптированию.

Выработанное пространство – нарушенный проницаемый участок, из которого было произведено извлечение угля методом длинных забоев с обрушением кровли, вследствие чего произошли растрескивание и разгрузка давления в толще надработанных перекрывающих пород, а также – в меньшей степени – подстилающих пород отрабатываемого пласта. В Соединенных Штатах обычно используется термин «gob», а в других англоязычных странах, как правило, употребляется термин “goaf”.

Дегазация источников метановыделения – см. «дегазация источников газовой выделения».

Термин «природный газ» – как правило, обозначает газ, извлекаемый из геологических пластов, не являющихся угольными пластами (т.е. из пластов, вмещающих запасы «обычного» газа). Основным компонентом такого газа может являться метан, который мог первоначально мигрировать из источников, связанных с угольными пластами.

Предварительная дегазация (дегазация до начала ведения горных работ) – извлечение газа из угольного пласта до начала ведения горных работ.

Текущая дегазация (дегазация после начала ведения горных работ) – извлечение газа, выделившегося в результате ведения горных работ.

Вдыхаемая пыль – микроскопические пылевые частицы, которые могут поступать в легкие человека и причинять им вред.

Метан вентиляционной струи (МВС) – метан, выделившийся из угольных пластов и попавший в вентиляционную струю, который выводится из вентиляционного ствола при низкой концентрации, варьирующейся, как правило, в пределах от 0,1% до 1% по объему.

Резюме

Со времен промышленной революции значительная доля производства первичной энергии в мире приходится на уголь. В обозримом будущем основные промышленно развитые страны мира, страны с формирующимся рынком и переходной экономикой - т.е. вся мировая экономика - будут находиться в зависимости от угольных энергетических ресурсов. В настоящее время за счет поставок угля покрывается 25% глобальных потребностей в первичной энергии, 40% глобальных потребностей, связанных с производством электроэнергии, и почти 70% энергетических потребностей мировой черной металлургии и алюминиевой промышленности. Согласно прогнозам Международного энергетического агентства (МЭА) в странах с формирующимися рынками спрос на энергию к 2030 году увеличится на 93%, в первую очередь за счет роста спроса в Китае и Индии, и, как ожидается, именно уголь явится основным энергоносителем, благодаря которому будет обеспечено удовлетворение растущего спроса (МЭА, 2009 год).

Вследствие сохранения зависимости от производства угля добычу угля во многих частях мира, как ожидается, придется производить во все более сложных условиях, поскольку по мере истощения запасов неглубокого залегания будет возникать необходимость в переходе к разработке все более глубоких и газообильных пластов. В то же время общество выдвигает требования и выражает пожелания, связанные с повышением безопасности условий ведения горных работ, а также с проявлением большей экологической ответственности со стороны угольной отрасли. Крайне важное значение для сокращения числа связанных с метаном аварий и взрывов, которые слишком часто сопровождают процесс добычи угля, имеет применение наилучшей практики дегазации источников метановыделения и утилизации метана, которая могла бы также способствовать охране окружающей среды благодаря сокращению выбросов парниковых газов (ПГ).

Шахтный метан как источник проблем для безопасности и окружающей среды

Мировая угольная промышленность, национальные правительства, профсоюзы и организации, добивающиеся повышения безопасности условий труда, выражают обеспокоенность в связи с тем, что периодичность и мощность взрывов метана, особенно в странах с формирующимися рынками, являются неприемлемо высокими. Необходимо передать надлежащую практику ведения горных работ всем странам, чтобы обеспечить профессиональный и эффективный подход к управлению рисками. Ни одна шахта, даже в наиболее развитых странах, не ограждена от рисков в области безопасности. Независимо от места и условий ведения горных работ имеются возможности для существенного сокращения риска аварий, связанных с метаном.

Метан является взрывоопасным газом при концентрации в воздухе в пределах 5-15%. Его транспортировка, сбор или утилизация при таких концентрациях и даже при концентрациях, меньших не более чем в 2,5 раза по сравнению с нижним пределом его взрывоопасности или превышающих не более чем в 2 раза ее верхний предел, недопустимы ввиду свойственной метану при таких концентрациях взрывоопасности.

Эффективное управление на угольных шахтах связанными с метаном рисками может также внести позитивный вклад в сокращение или минимизацию выбросов ПГ. Угольные шахты являются крупным источником выбросов метана, активного ПГ, потенциал глобального потепления (ПГП) которого в 20 раз превышает соответствующий потенциал диоксида углерода (МГЭИК, 2007 год).

В общей сложности на метан приходится 14% глобальных антропогенных выбросов ПГ, при этом выбросы угольных шахт составляют 6% от глобальных антропогенных выбросов метана, или около 400 млн. т, в эквиваленте диоксида углерода (млн. т CO₂-экв.) в год. Согласно прогнозам, выбросы ШМ будут увеличиваться вплоть до 2020 года включительно (партнерство «Метан - на рынки», 2008 год; МГЭИК, 2007 год; МЭА, 2006 год), при этом их расчетное значение к 2020 году составит 793 млн. т CO₂-экв. (ЭСМАП, 2007 год).

Присутствие метана и управление метановыделением

Газы с высоким содержанием метана, которые на глубинах подземной добычи угля, как правило, содержат 80-95% метана, естественным образом присутствуют в угольных пластах и выделяются в виде ШМ в случае нарушения угольных пластов при их разработке. ШМ приобретает свойство воспламеняемости и создает риск взрыва только при смешении с воздухом.

В некоторых горно-геологических условиях (например, в Австралии, Франции, Южной Африке и Центральной Европе) на угольных шахтах также происходят выделения больших объемов диоксида углерода. Этот диоксид углерода, присутствующий в угольных пластах, может иметь важное значение при разработке общих стратегий управления дегазацией шахт.

Надлежащая практика обеспечения безопасности в угольных шахтах заключается в снижении взрывоопасности путем недопущения, когда это практически возможно, возникновения взрывоопасных смесей и их скорейшего разбавления до безопасных концентраций (с помощью систем проветривания). При высокой интенсивности газовой выделений, превышающей возможности шахтной системы проветривания по обеспечению надлежащего разбавления метана в шахтном воздухе, еще до поступления газа в рудничный воздух его следует собирать с помощью шахтной системы дегазации источников метановыделения.

Надлежащая практика в отношении шахтных систем дегазации источников метановыделения, с одной стороны, заключается в выборе подходящего способа каптирования газа, а с другой - в надлежащем соблюдении правил сооружения и эксплуатации дегазационной системы шахты. Применение надлежащей практики позволит обеспечить возможности безопасного каптирования ШМ, его транспортировки и (в соответствующих случаях) утилизации при концентрации, как минимум в два раза превышающей верхний предел взрывоопасности (т.е. при концентрации метана, равной 30 или более процентов).

Нормативные подходы к управлению метановыделением

Существенно улучшить количественные и качественные параметры каптированного газа можно благодаря проведению оценки рисков с целью минимизации взрывоопасности в сочетании с жестким обеспечением соблюдения разумных правил техники безопасности, касающихся проветривания шахт и утилизации газа.

В свою очередь принятие и обеспечение соблюдения правил техники безопасности, регулирующих процессы извлечения газа, его отвода и утилизации будут способствовать принятию более эффективных стандартов в области дегазации источников метановыделения, увеличению производства экологически чистой энергии и дополнительному сокращению выбросов.

Прогнозирование метановыделения в подземных выработках

Интенсивность выделения газа в подземные выработки угольных шахт при нормальных

стационарных условиях является достаточно хорошо предсказуемой в определенных горно-геологических условиях, хотя в этой связи между отдельными странами имеются существенные различия. В отсутствие надежных методов прогнозирования газовыделения в процессе разработки свиты пластов на большой глубине возникают существенные проблемы, обусловленные сложным характером взаимодействий между пластами, подземными водами и газом в условиях ведения горных работ. Тем не менее существуют широкодоступные апробированные методы прогнозирования интенсивности газовыделения и каптирования газа и документы с описанием требований к проветриванию шахт и возможностей утилизации газа, которые следует учитывать в повседневной практике планирования горных работ.

Уже в силу самой своей природы нештатные ситуации, связанные с выделением и внезапными выбросами газа, с трудом поддаются прогнозированию, но условия, при которых они происходят, достаточно хорошо изучены. Поэтому излагаемая ниже надлежащая практика позволяет добиться более эффективного управления этими рисками.

Любые горные работы могут иногда приводить к нарушению прилегающих резервуаров природного газа, что в свою очередь способно стать причиной нежелательных выделений метана, интенсивность которых может в два раза превышать расчетную интенсивность метановыделения из угольных пластов. Такие процессы могут быть выявлены уже на раннем этапе путем сопоставления данных измерений и прогнозируемых данных.

Роль систем проветривания

Максимальные показатели добычи угля, которые могут быть достигнуты при соблюдении безопасности на газообильном очистном забое, в первую очередь зависят от сочетания двух факторов: 1) возможностей шахтной системы проветривания в плане разбавления газообразных загрязнителей до приемлемых концентраций и 2) эффективности шахтной системы дегазации источников метановыделения.

При проектировании общей схемы дегазации шахты ключевым побудительным фактором являются эксплуатационные расходы. Потребление электроэнергии для проветривания подземных выработок относится к числу наиболее затратных статей эксплуатационных расходов шахты: они пропорциональны объему воздушного потока в кубе. Следовательно, применение системы дегазации или повышение ее эффективности зачастую являются менее затратным вариантом по сравнению с увеличением объемов вентиляционного воздуха.

Дегазация источников метановыделения

Цель дегазации источников метановыделения заключается в каптировании газа высокой степени чистоты из его источника до попадания в вентиляционные штреки шахты. Если придерживаться строго нормативного подхода, то достаточно каптировать такое количество газа, которое необходимо для избежания превышения возможностей системы проветривания по подаче воздуха для разбавления газообразных загрязнителей. Однако имеются серьезные основания для максимизации объемов каптируемого газа с целью достижения большей безопасности, большего смягчения последствий для окружающей среды и извлечения энергоресурсов.

Каптаж метана может производиться как до, так и после начала ведения горных работ с применением методов предварительной и текущей дегазации соответственно. Предварительная дегазация является единственным способом сокращения объемов выделения газа непосредственно из разрабатываемого пласта. По этой причине предварительная дегазация имеет особо важное

значение в случае, если разрабатываемый пласт является основным источником газовыделения, но, как правило, ее проведение практически возможно только в отношении средне- или высокопроницаемых пластов. Методы текущей дегазации предполагают каптирование метана, выделившегося из-за нарушений, вызванных горными работами, до поступления в атмосферу шахты. Все методы текущей дегазации предусматривают обеспечение доступа к зоне нарушений в перекрывающих породах отработанного угольного пласта, а в некоторых случаях это может относиться и к подстилающим породам. Текущая дегазация может проводиться путем бурения с поверхности или из подземной выработки.

Низкая эффективность каптажа системой дегазации и чрезмерное проникновение воздуха в горные выработки являются следствием выбора неэффективных методов дегазации, а также ненадлежащего применения этих методов. Это в свою очередь негативно сказывается как на транспортировке газа, так и на его утилизации, поскольку уровни концентрации собираемого газа оказываются небезопасными (например, при содержании метана менее 30%).

Эффективность систем дегазации источников метановыделения может быть существенно повышена за счет сочетания надлежащих мер по их установке и техническому обслуживанию, проведению регулярного контроля и систематического бурения.

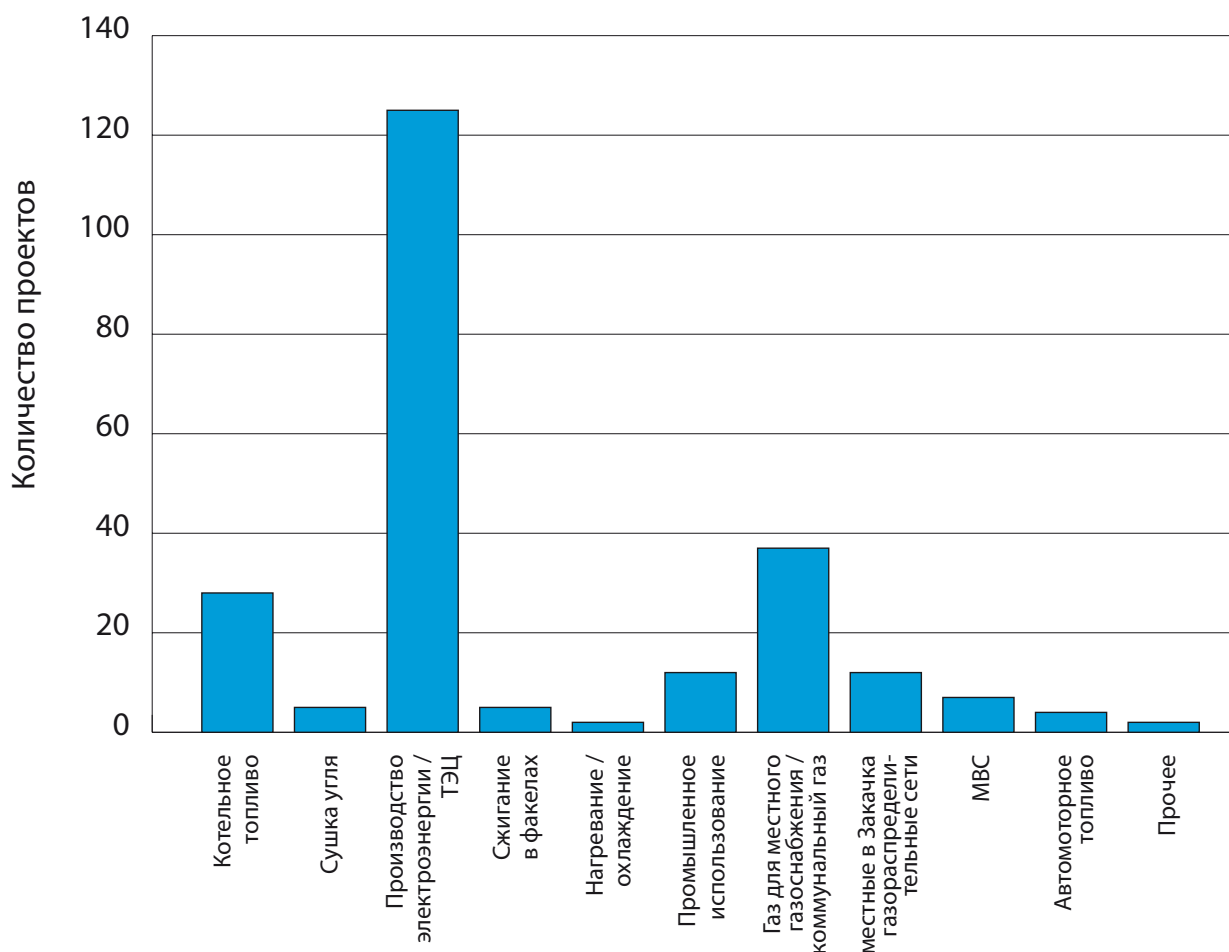
Существуют веские аргументы в пользу установки и эксплуатации высокоэффективных систем дегазации источников метановыделения. Успешное управление метановыделением – ключевой фактор в обеспечении рентабельности газообильных угольных шахт.

Опыт, накопленный на угольных шахтах всего мира, показывает, что инвестиции во внедрение «надлежащей практики» эксплуатации систем дегазации позволяют сократить простои, связанные с проблемами газовыделения, повысить безопасность условий добычи и создать возможности для утилизации больших объемов газа и сокращения выбросов.

Утилизация и снижение атмосферных выбросов метана

Каптированный ШМ представляет собой экологически чистый энергоресурс, который может использоваться для разных целей. На диаграмме ES-1 приводится краткая информация о видах применения ШМ в рамках известных проектов в мире, которые либо реализуются, либо разрабатываются и планируются или уже были осуществлены ранее. Эти данные получены из созданной партнерством «Метан – на рынки» базы данных, охватывающей более 240 проектов во всем мире. Как видно из диаграммы, большая часть проектов связана с выработкой электроэнергии, закачиванием газа в газопроводы и его сжиганием в котлоагрегатах (критерием служило количество проектов).

Диаграмма ES-1. Виды утилизации ШМ в рамках глобальных проектов. На диаграмме показано с разбивкой по видам конечного использования общее количество проектов по ШМ, о которых у партнерства «Метан – на рынки» имеется информация и которые либо реализуются, либо находятся на стадии разработки во всем мире.



(Источник: Партнерство «Метан – на рынки», 2009 год.)

С целью соблюдения жестких стандартов качества газа для трубопроводов разработаны и широко применяются технологии очистки (например, в Соединенных Штатах), позволяющие удалять любые загрязнители из высококачественного ШМ, который, как правило, получают в процессе предварительной дегазации (МЭА, 2009 год). Для многих других видов конечного использования газа высокие затраты, связанные с проведением очистки газа после дегазации, могут не потребоваться, поскольку их можно избежать благодаря совершенствованию норм дегазации источников метановыделения в шахтах.

При наличии надлежащего оборудования и процедур неиспользованный газ дегазации можно безопасно сжигать в факелах с целью минимизации выбросов ПГ. Сжигание в факелах позволяет преобразовать метан, ПГП которого в 20 раз превышает соответствующий показатель диоксида углерода, равный единице (МГЭИК, 2007 год).

Метан, не капируемый системой дегазации, разбавляется в вентиляционном воздухе и выводится в атмосферу в виде разбавленного вентиляционного метана низких концентраций, которые обычно составляют 1% или менее. Несмотря на столь низкие концентрации, в структуре глобальных выбросов МВС является крупнейшим отдельным источником выбросов шахтного метана. На нескольких предприятиях мира (например, в Австралии, Китае и Соединенных Штатах) в целях борьбы с такими выбросами в демонстрационном и коммерческом масштабах внедрены технологии термального окисления (в одном случае для производства электроэнергии

с использованием разбавленного метана). В настоящее время появляются и разрабатываются другие технологии по снижению выбросов МВС (например, каталитическое окисление).

Расходы и экономические вопросы

Эффективная дегазация позволяет снизить уровень взрывоопасности по газу и, следовательно, уменьшить опасность возникновения аварий. Снижение таких рисков в свою очередь приводит к сокращению сопутствующих затрат. Между странами существуют большие различия по затратам, возникающим в результате связанных с метаном аварий, но такие затраты весьма значительны. Например, в 10% случаев прекращения добычи или простоя типичной высокопроизводительной шахте с разработкой угля длинными забоями в результате происшествий и аварий, вызванных газоопасной обстановкой, сумма недополученных доходов может составить от 8 млн. до 16 млн. долл. США в год. Дополнительные затраты крупного угледобывающего предприятия в результате одной аварии, приведшей к гибели людей, могут колебаться в пределах от 2 млн. долл. США до более чем 8 млн. долл. США вследствие недополучения продукции, оплаты судебных издержек, выплаты компенсации и уплаты штрафов.

В то же время дегазация создает возможности для извлечения и утилизации газа. Такие проекты по утилизации энергоресурсов могут получить быть экономичными сами по себе благодаря продаже газа или его преобразованию в электроэнергию и переработке в топливо для транспортных средств или другое ценное газовое сырье.

Кроме того, проекты по извлечению и утилизации газа все чаще становятся источником поступлений благодаря получению квот за сокращение выбросов углерода в форме проверенных сокращений выбросов (ПСВ), сертифицированных сокращений выбросов (ССВ) или других видов квот, например единиц сокращения выбросов (ЕСВ). Эти потенциальные варианты углеродного финансирования могут сыграть крайне важную роль в обеспечении экономической жизнеспособности некоторых проектов по утилизации ШМ, которые в противном случае могли бы оказаться непривлекательными с финансовой точки зрения. Кроме того, углеродное финансирование может явиться единственным источником потоков доходов для проектов, не преследующих иных целей, помимо снижения выбросов, например проектов по окислению МВС (без извлечения энергии) или по сжиганию ШМ в факелах.

МВС может также использоваться для производства электроэнергии. В настоящее время производство электроэнергии с использованием МВС невозможно с коммерческой точки зрения без поступлений по линии углеродного финансирования или задействования других стимулов, например преференциального ценообразования на электроэнергию или портфельных стандартов.

Как представляется, в настоящее время на большинстве шахт инвестиционные решения принимаются в пользу расширения добычи угля, а не в пользу разработки проектов по утилизации ШМ (не говоря уже о производстве электроэнергии) ввиду высоких вмененных издержек инвестирования в основное электроэнергетическое оборудование и соответствующую инфраструктуру. Вместе с тем для достижения целевых показателей в области охраны окружающей среды в будущем владельцам шахт, возможно, придется повысить эффективность дегазации до таких уровней, которые превысят требования, предъявляемые исключительно из потребностей обеспечения шахтной безопасности. Соответствующее совершенствование систем дегазации, которое позволит получать газ относительно высокого качества, может явиться дополнительным стимулом для инвестиций в проекты по извлечению и утилизации газа.

Выводы

Целостный подход к управлению метановыделением в выработках угольных шахт и последующими выбросами метана в атмосферу будет иметь целый ряд позитивных последствий с точки зрения общешахтной безопасности, производительности шахт и воздействий на окружающую среду, в первую очередь в плане выбросов ПГ.

- Применение в глобальном масштабе накопленных к настоящему времени знаний о встречаемости метана, прогнозировании метановыделения, его контроле и управлении им позволит повысить безопасность в шахтах. Применение надлежащей практики дегазации источников метановыделения могло бы существенно снизить уровень взрывоопасности, связанной с присутствием метана в угольных шахтах.
- Целесообразность установки и эксплуатации высокоэффективных систем дегазации источников газовой выработки базируется на их вкладе в повышение производительности шахт. Вместе с тем расширение ресурсной базы ШМ высокого качества за счет таких систем может также послужить весомым аргументом в пользу вовлечения в оборот и утилизации энергии каптированного газа.
- Атмосферные выбросы метана - одного из основных ПГ - из подземных угольных выработок могут быть существенно сокращены за счет утилизации газа дегазации, сжигания в факелах газа, который не может быть утилизирован, а также снижения выбросов МВС путем их окисления.

Глава 1. Введение

Основные тезисы

Несмотря на лимитирующие факторы, безопасность шахтеров имеет первостепенное значение и не должна подвергаться угрозе.

Проведение оценки рисков с целью минимизации взрывоопасности должно сочетаться с жестким применением мер по обеспечению соблюдения разумных правил техники безопасности, касающихся проветривания шахт и утилизации газа.

Теоретически современные угледобывающие компании признают преимущества, связанные с принятием целостной системы управления газовойделением, в рамках которой обеспечивается конструктивная взаимоувязка контроля за газовойделением в подземных выработках, утилизации метана и сокращения атмосферных выбросов парниковых газов (ПГ).

1.1 Цели настоящего руководящего документа

Настоящий документ призван служить руководством для владельцев и операторов шахт, государственных регулирующих органов и разработчиков политики в процессе проектирования и создания безопасной и эффективной системы каптирования метана и управления метановыделением в угольных шахтах. Его первоочередная задача - стимулировать более безопасную практику проведения горных работ с целью сокращения числа случаев гибели людей, травматизма и потери имущества в результате аварий, связанных с метаном.

Важное дополнительное преимущество эффективной дегазации источников метановыделения на угольных шахтах заключается в создании возможностей для извлечения метана с целью более оптимального использования энергоресурсов, которые при его отсутствии тратятся впустую. Таким образом, важным побудительным мотивом разработки настоящего руководящего документа является содействие утилизации шахтного метана (ШМ) и борьбе с ним в целях сокращения выбросов ПГ, а также их стимулирование. В конечном итоге принятие такой практики будет способствовать усилению устойчивости и укреплению на длительную перспективу финансового положения угольных шахт всего мира благодаря:

- усилиям по достижению поставленной цели - полностью предотвратить случаи гибели людей, травматизма и потери имущества;
- демонстрации приверженности мировой угольной промышленности делу обеспечения шахтной безопасности, смягчению последствий изменения климата, принципам корпоративной социальной ответственности и подлинной гражданственности;
- установлению глобального диалога по проблеме каптирования и утилизации ШМ;
- налаживанию важнейших взаимосвязей между угольной отраслью; правительствами и должностными лицами регулирующих органов;
- включению проблематики эффективного каптирования ШМ в пакет мер по эффективному управлению рисками.

Настоящий руководящий документ задуман как изложение принципов. Иными словами, в нем не делается попыток предложить всеобъемлющий прескриптивный подход к установлению нормативных требований, в рамках которого возможно должным образом учесть условия на отдельных объектах, конкретные горно-геологические условия и практику ведения горных

работ. Авторы признают невозможность универсального решения, и поэтому определили широкий набор принципов, которые могут быть адаптированы к конкретным обстоятельствам. В целом технологии, позволяющие применять эти принципы, с течением времени продолжают развиваться и совершенствоваться. В настоящем документе соответствующим образом изложена наилучшая международная практика предприятий отрасли.

Не ставится задача использования настоящего документа в качестве всеобъемлющего и подробного технического пособия по дегазации источников метановыделения. В заключительную часть этого документа включены ссылки и указания на дополнительные источники.

1.2 Проблемы

Уголь относится к основным энергоресурсам как в промышленно развитых странах, так и в странах с формирующимися рынками. Необходимость удовлетворения огромного спроса на энергоресурсы, в первую очередь в некоторых странах с быстро развивающейся экономикой, заставила угольные шахты наращивать свое производство и в некоторых случаях доводить его до уровней, превышающих возможности обеспечения безопасности, что стало причиной чрезмерной интенсификации всех операций по добыче угля и возникновения риска для безопасности. Присутствие метана в угольных шахтах создает серьезную угрозу безопасности, для устранения которой необходимо проявлять профессионализм и эффективность. Хотя взрывы метана на подземных выработках угольных шахт являются весьма редким явлением во многих угледобывающих странах, тем не менее ежегодно они становятся причиной гибели и травматизма тысяч людей.

Одна единственная авария может привести к гибели большого числа людей. В таблице 1.1 приводится информация о некоторых наиболее серьезных по фатальным последствиям взрывах на угольных шахтах, которые имели место в нескольких странах в период после 2000 года. При эффективном управлении выделением шахтного метана такие трагедии можно было бы избежать.

Таблица 1.1 Крупные аварии, связанные со взрывами в угольных шахтах, в период после 2000 года

Страна	Дата	Угольная шахта	Количество жертв
Китай	14 февраля 2005 года	шахта "Суньдзявань", ствол Хайджу, Фуксин	214
Казахстан	20 сентября 2006 года	шахта им. Ленина, Караганда	43
Россия	19 марта 2007 года	шахта "Ульяновская", Кемерово	108
Украина	19 ноября 2007 года	шахта им. Засяцько, Донецк	80
США	2 июня 2006 года	шахта "Саго", Западная Виргиния	12

Аварии могут возникать в случаях, когда метан поступает в шахтное пространство из угольного пласта и окружающих пород вследствие их нарушения, в результате горных работ. Количество газа, выделяемого в шахтный воздух, зависит как от показателей выемки угля, так от газоносности угольного пласта и окружающих пород.

Национальные регулирующие органы устанавливают максимальные пределы концентрации метана в воздухе подземных выработок. Следовательно, выделение метана в горные выработки может быть ограничивающим фактором добычи угля.

Существует неотложная потребность в руководящем документе для содействия правительствам в скорейшем внедрении более безопасной практики ведения горных работ с целью снижения уровня опасности, создаваемой метаном на угольных шахтах. С учетом имеющихся данных следует отметить существенные различия в частоте фатальных исходов на угольных шахтах разных стран мира. Например, показатель фатальных исходов на 1 млн. т добытого угля по отдельным странам может различаться более чем в 30 раз¹.

Ни на одной угольной шахте безопасность не является свободной от рисков. Связанные с газом происшествия могут происходить даже на самых современных шахтах. Передовая технология позволяет снижать риск гибели шахтеров в результате взрывов, но для решения проблемы одной лишь технологии недостаточно. Важнейшими компонентами эффективного процесса управления рисками являются Управление, организационная структура, участие трудящихся, подготовка кадров и наличие системы нормативного регулирования и обеспечения соблюдения норм. Для проектирования эффективных механизмов контроля и систем основополагающее значение имеют знание и понимание основных принципов контроля газовой обстановки. В конечном итоге все связанные с взрывами аварии являются проявлением неспособности эффективно применять безопасные практику и процедуры.

Угольные шахты являются крупным источником выбросов метана, одного из активных ПГ с потенциалом глобального потепления (ПГП), в 20 раз превышающим аналогичный показатель диоксида углерода (МГЭИК, 2007 год). На метан приходится 14% глобальных антропогенных выбросов ПГ, а на выбросы ШМ - 6% глобальных антропогенных выбросов метана, или около 400 млн. т эквивалента диоксида углерода (млн. т CO₂-экв.) в год (МЭА, 2006 год; МГЭИК, 2007 год; Партнерство «Метан - на рынки», 2008 год). Согласно прогнозам, к 2020 году объем выбросов ШМ увеличится до 793 млн. т CO₂-экв. (ЭСМАП, 2007 год). Более 90% выбросов ШМ приходится на угольные шахты (МЭА, 2006 год), и из этого объема около 80% метана выбрасывается в атмосферу в сильно разбавленном состоянии (как правило, при концентрациях менее 1% метана) вместе с вентиляционным воздухом шахт.

Уже имеются технологии, за счет применения которых можно существенно сократить выбросы угледобывающих предприятий. Для их успешного внедрения требуются лидерство со стороны правительств, соответствующие механизмы финансирования, а также приверженность этому делу мировой угольной промышленности.

1.3 Каптирование, утилизация и сокращение атмосферных выбросов газов

Каптирование и использование газа на угольных шахтах не является чем-то новым, хотя за несколько столетий соответствующие технологии и их применение были существенно усовершенствованы. Впервые факт дегазации источников метановыделения был зарегистрирован

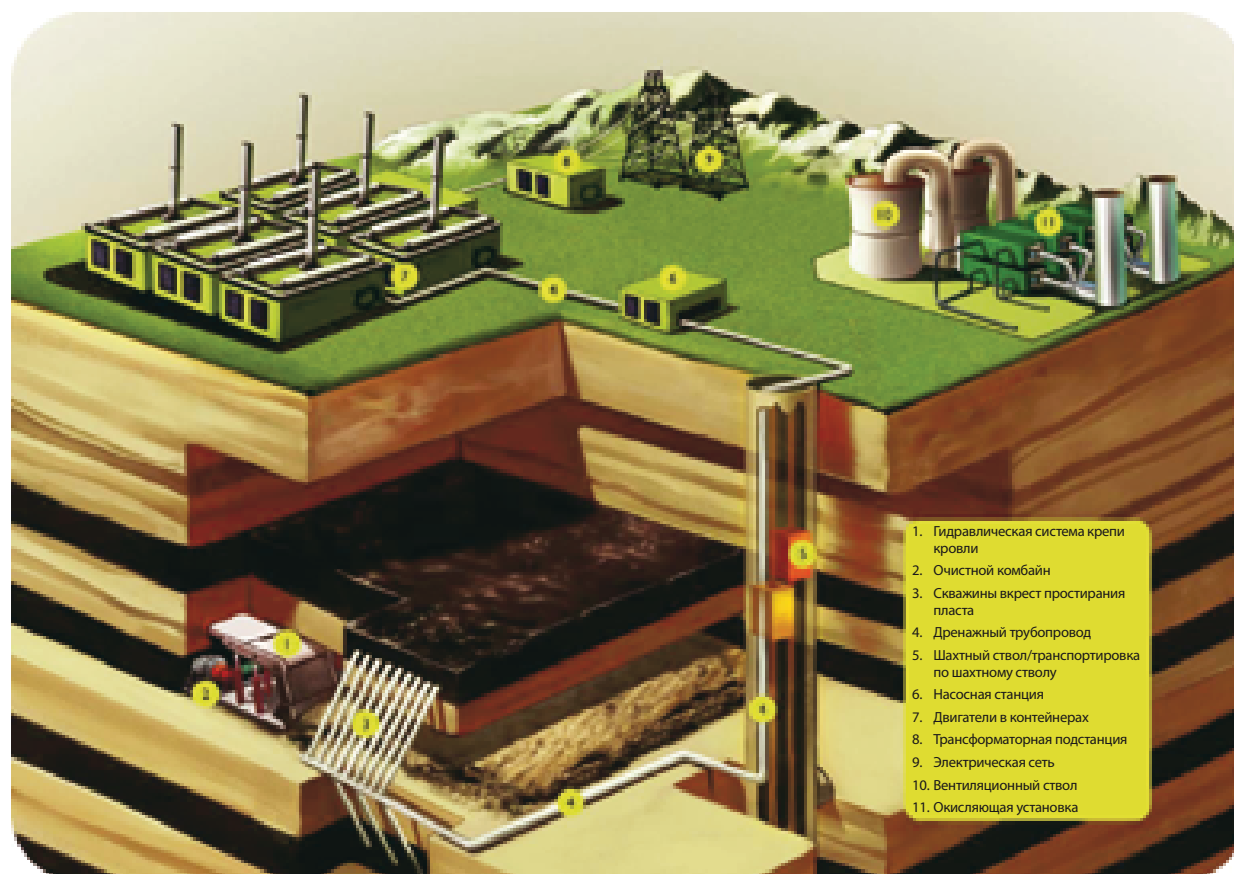
¹ Информация основывается на данных за 2008 год (официальные статистические данные) в отношении смертельных случаев на угольных шахтах Китая и Соединенных Штатов. В 2008 году Китай сообщил о 3 215 случаях гибели людей при объеме добычи угля на угольных шахтах 2 565 млрд. т (при том допущении, что в результате подземной добычи было добыто 95% всего угля, количество которого, согласно имеющейся информации, составило 2,7 млрд. т), что соответствует 1,25 случая гибели на 1 млн. т угля, добытого на шахтах (Государственная служба Китая по вопросам безопасности труда, 2009 год). В 2008 году Соединенные Штаты сообщили о 12 случаях гибели людей на угольных шахтах при объеме добычи 324 млн. т, что равнозначно 0,037 случая гибели на 1 млн. т угля добытого на угольных шахтах (Управление безопасности гигиены горнодобывающих работ США, 2009 год).

в Соединенном Королевстве в 1730 году. В первой половине XX столетия в Европе были внедрены более современные системы их контролируемой дегазации². Использование рудничного газа для освещения, возможно, практиковалось еще в XVIII столетии и было документально зафиксировано в 1880-х годах.

К 1950-м годам методы систематического и эффективного каптирования газа, которые первоначально были разработаны в Германии, применялись во всей Европе. С 1960-х годов газ дегазации стал применяться все шире - сначала в котельных установках и производственных процессах шахт, а позднее в производстве электроэнергии, для закачивания в магистральные трубопроводы, а также в качестве коммунально-бытового газа.

На диаграмме 1.1 показана трехмерная схема-разрез подземных выработок шахты и ее объектов на поверхности. Данная схема показывает сложность и взаимосвязанность элементов подземных систем дегазации и сбора газа с поверхностными объектами, которые необходимы для преобразования ШМ в электроэнергию. На схеме также показан одновременный процесс уменьшения метана вентиляционных струй (МВС) через вентиляционные стволы шахты.

Диаграмма 1.1 Схема подземной системы дегазации угольной шахты и объектов на поверхности, используемых для утилизации энергоресурсов и сокращения выбросов ШМ



(Публикуется с согласия организации «Грин гэс интернэшнл»)

В настоящее время в мире насчитывается несколько сотен проектов по извлечению и утилизации ШМ, которые находятся на стадии реализации или разработки. Например, по расчетам Партнерства «Метан - на рынки», где-то в 14 странах мира (2009 год) реализовано, реализуется в

² К их числу относятся системы, внедренные в Верхнесилезском бассейне в Польше в 1937 году и в Германии в 1943 году.

настоящее время или разрабатывается более 240 проектов. Наиболее распространенным видом использования ШМ является производство электроэнергии, и, кроме того, он используется в качестве топлива для котельных, для закачивания в газотранспортные трубопроводы, для целей коммунального газоснабжения, в качестве газа промышленного назначения, сырья для переработки в автотопливо, например для получения сжиженного природного газа (СПГ) или компримированного природного газа (КПГ), а также для сушки угля.

В некоторых случаях по причине неблагоприятных условий на конкретном предприятии или на рынках, когда невозможно экономически оправданное извлечение и использование метана, его подвергают уничтожению (т.е. сжигают в факелах, вследствие чего он преобразуется в диоксид углерода). Это позволяет сокращать ППП выбросов. Такой способ сокращения выбросов также может применяться для получения доходов в некоторых странах за счет углеродных квот, зарабатываемых на добровольных углеродных рынках и рынках выбросов углерода, созданных для целей соблюдения.

Глава 2. Основы управления газовойделением

Основные тезисы

Принятие и обеспечение соблюдения правил безопасности извлечения, отвода и утилизации газа способствует внедрению более эффективных норм дегазации источников метановыделения, а также увеличению производства экологически чистой энергии и более значительному сокращению выбросов.

На угледобывающих предприятиях мира накоплены огромные знания и опыт в области снижения взрывоопасности метана.

Безопасность условий труда в газообильных шахтах не может быть обеспечена только с помощью законодательства или даже за счет применения наиболее передовой технологии. Для безопасного ведения работ еще более важное значение имеют рациональные и эффективные системы управления, организация управления и практика управления. К числу других крайне важных элементов системы обеспечения шахтной безопасности относятся надлежащие обучение и подготовка как руководящего персонала, так и рабочей силы, а также поощрение работников к внесению своего собственного вклада в утверждение практики безопасного проведения работ.

2.1 Цели управления газовойделением

Основной задачей систем управления газовойделением является предотвращение взрывов и риска удушья в шахтах. В обычных условиях для управления метановыделением в действующей лаве с целью поддержания концентраций метана в вентиляционном штреке на уровне не выше 1% достаточно одного лишь проветривания. Вместе с тем при наличии прогноза усиленного выделения метана из отрабатываемого пласта в забой наряду с проветриванием в обязательном порядке проводится дегазация источников метановыделения. Применение наилучшей практики управления метановыделением в целях обеспечения безопасности позволят расширить возможности утилизации шахтного газа.

Для локализации распространения взрыва после его возникновения могут быть приняты защитные меры, которые играют важную роль вторичного механизма защиты. Однако меры по смягчению последствий аварий не могут заменить собой мер по их недопущению, которые находятся в центре внимания настоящего руководства.

2.2 Возникновение газоопасных ситуаций

Газы с высоким содержанием метана - а его содержание в них, как правило, составляет от 80% до 95% - естественным образом присутствуют в угольных пластах и выделяются в процессе их нарушения в результате проведения горных работ. Воспламенение газа угольных пластов и наступление взрывоопасной ситуации может произойти только при его смешении с воздухом.

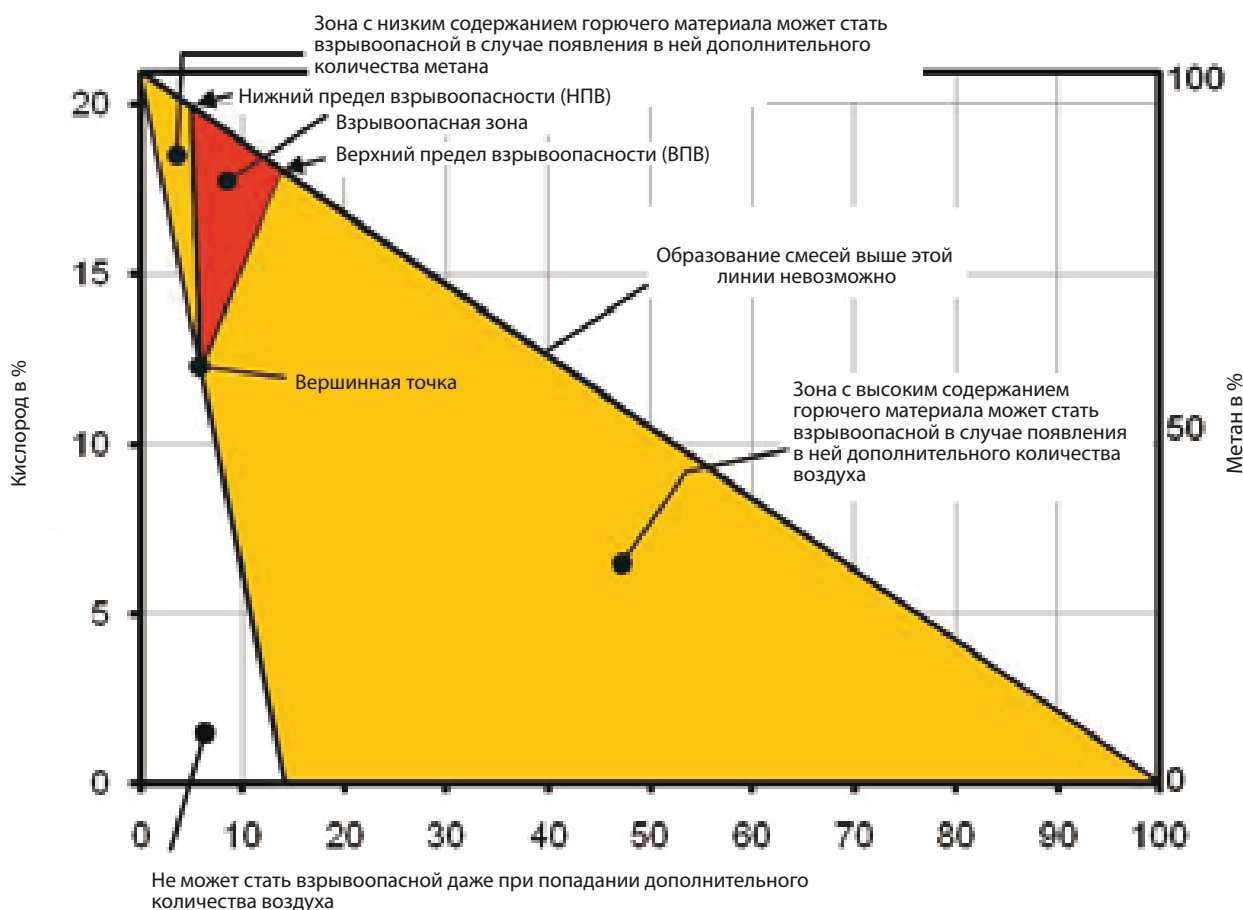
Кроме того, в некоторых горно-геологических условиях на угольных шахтах также выделяются большие объемы диоксида углерода. Диоксид углерода тяжелее воздуха и токсичен при его концентрациях в воздухе, превышающих 5%, но его физиологическое воздействие на организм возможно даже при концентрации не менее 1%.

Метан не имеет цвета, запаха и вкуса; поэтому для подтверждения его присутствия необходимо иметь измерительное устройство. Возгорание метана возможно в случае его смешения с кислородом в пределах концентраций, указанных на диаграмме 2.1.

При атмосферном давлении максимальной взрывоопасной концентрацией метана в воздухе является концентрация в 9,5% по объему. В стесненных условиях подземных выработок максимальное значение давления, при котором возникает взрыв, может быть выше вследствие того, что несгоревший газ перед фронтом воспламенения сжимается.

В бескислородных средах, которые могут существовать, например, в изолированных отработанных пространствах, взрывоопасные смеси могут образоваться лишь в случае поступления в них воздуха. Присутствие высоких концентраций метана вызывает удушье вследствие перемещения воздуха. Поскольку пространство угольных шахт ограничено, воспламенение больших скоплений метана неизбежно приводит к взрыву.

Диаграмма 2.1 Образование взрывоопасных смесей



(Источник: Мореби 2009 год; на основе исследования Кауэрда, 1928 год)

Метан имеет свойство стратифицироваться и образовывать горизонтальные слоевые скопления в подкровельном пространстве подземных выработок, где скорость вентиляционного потока недостаточно высока для предотвращения слоеобразования. Данное явление возникает в силу того, что метан легче воздуха и его плотность составляет только 0,55 от плотности воздуха. Во многих случаях при скорости воздуха, достигающей 0,5 м в секунду (м/сек), слоеобразования

не происходит, но в определенных условиях такой скорости воздуха оказывается недостаточно для его предотвращения. Проектировщики системы проветривания должны быть осведомлены о переменных, препятствующих образованию слоевых скоплений метана, например о ширине слоя, наклоне выработки, скорости газовыделения и скорости воздушного потока (Creedy and Phillips, 1997; Kissell, 2006).

В некоторых обстоятельствах, когда образования смеси не происходит ввиду недостаточности скорости воздуха, слоевые скопления метана могут образовываться и перемещаться либо по направлению, либо против направления потока вентиляционной струи. Такие слоевые скопления метана могут способствовать быстрому распространению огня, создавая, таким образом, повышенную степень взрывоопасности и увеличивая возможную силу взрыва за счет газопереноса между источниками возгорания и крупными скоплениями воспламеняемых смесей (например, в выработанных пространствах длинных забоев). Вместе с тем после смешения метана с воздухом он не может самопроизвольно отделяться от него.

Операторы шахт прилагают большие усилия для изолирования тех участков шахт, на которых более не проводятся очистные работы (т.е. выработанных пространств длинных забоев и в некоторых случаях выработанных пространств действующих длинных забоев), от системы проветривания шахты путем возведения перегородок или изолирующих перемычек. Эти вентиляционные перегородки или глухие перемычки никогда не обеспечивают полной герметизации ввиду движения пород и не позволяют полностью предотвратить поступления выделений газа в действующие шахтные выработки. За вентиляционными перемычками могут накапливаться газовые смеси, которые поступают в воздухопроводящие выработки вследствие нестабильности режима проветривания или депрессии барометрического давления.

Участками повышенной опасности в угольных шахтах, на которых метан угольных пластов становится взрывоопасным, являются выработанные пространства, остающиеся за длинными забоями, и зоны отбойки угля, где она ведется механизированными отбойными средствами. Взрывоопасные смеси также могут образовываться в неправильно спроектированных или неэффективно эксплуатируемых системах дегазации источников метановыделения в результате попадания в них чрезмерного объема воздуха.

При камерно-столбовом способе разработки (без извлечения угля целиков) обычно нарушаются значительно меньшие объемы вмещающих пород, чем при использовании методов, предусматривающих разработку длинными забоями; так что шахты, применяющие этот способ, как правило, являются менее газообильными по сравнению с шахтами, на которых выемка ведется методом длинных забоев. Однако шахты, на которых применяется камерно-столбовой способ разработки, не всегда являются менее взрывобезопасными, поскольку в них трудно обеспечить надлежащее проветривание очистных забоев. Основным источником метановыделения при использовании камерно-столбового способа является сам обрабатываемый пласт. В результате недостаточного проветривания тупиковых выработок и газовыделения из источников в кровле в ней могут образовываться слоевые скопления легковоспламеняющихся газовых смесей (см. пример 4).

Возгорание взрывоопасных метановых смесей

Существует ряд причин возгорания метановоздушных смесей: электрические искры, высокие температуры, создаваемые ударами стальных предметов по кварцевой породе, адиабатическая

компрессия, возникающая после обрушения пород, удары алюминиевыми предметами по железу, разряды молнии, курительные изделия, взрывчатые вещества и детонаторы, самовоспламенение и открытое пламя.

Применение в современных угольных шахтах все более мощной проходческой и выемочной техники стало причиной возникновения опасной проблемы возгораний от трения. Весьма частые возгорания метана при применении проходческих и выемочных механизмов по сравнению с другими источниками свидетельствуют о наличии технических трудностей с обеспечением полного контроля за газоопасными ситуациями.

2.3 Снижение уровня взрывоопасности

Основной целью настоящего руководства является изложение основополагающих принципов предотвращения взрывов. Их знание имеет принципиально важное значение для разработки эффективных программ по ограничению газоопасности в угольных шахтах. Описываемые в руководстве принципы аналогичны принципам, воплощенным в системах управления рисками, которые были внедрены современными горнодобывающими компаниями с целью полного предотвращения аварий и взрывов.

Вставка 2.1 Типовые меры контроля и процедуры, направленные на снижение опасности взрывов газа на угольной шахте

- Использование огнестойких электрооборудования и кабелей
- Контроль за взрывчатыми веществами и их применением в подземных выработках
- Обеспечение необходимыми пожароспасательными средствами
- Планирование, проектирование и ввод в действие систем дегазации источников метановыделения
- Контроль за выбросами отведенного метана
- Контроль за доступом на шахту и ее производственными участками
- Ограничения на пронос предметов в подземные выработки
- Проверка состояния подземных выработок
- Обеспечение антистатическими материалами
- Контроль за проведением работ в шахте
- Использование и техническое обслуживание механических и электрических установок
- Установление ограничений на использование непригодного оборудования
- Контроль за механизмами и электрическими работами
- Установление ограничений на пронос курительных изделий под землю
- Подготовка планов проветривания шахты
- Проведение контроля за шахтной вентиляцией
- Проведение мониторинга и измерения концентраций газа в шахте
- Использование вспомогательного проветривания
- Разгазирование тупиковых выработок
- Принятие мер предосторожности для недопущения возгорания от трения
- Обеспечение датчиками обнаружения метана
- Соблюдение требований к квалификации работников
- Проведение подготовки по технике безопасности
- Устройство взрывоподавляющих заслонов
- Развешивание предупредительных знаков и указателей

Управление взрывоопасностью по газу на угольной шахте включает в себя целый ряд различных видов деятельности (см. вставку 2.1), для проведения которых необходимы эффективная организация и четкое распределение обязанностей.

Наилучшей практикой на угольных шахтах являются снижение уровня взрывоопасности там, где это возможно, путем недопущения образования взрывоопасных смесей, а также принятие мер по обеспечению отделения взрывоопасных смесей от потенциальных источников возгорания.

Крайне важное значение имеет проведение контроля за разбавлением, рассеиванием и распределением воспламеняющихся газов в угольных шахтах с целью минимизации присутствия в них горючего материала. Риски, связанные с присутствием воспламеняющихся газов в угольных шахтах, могут быть минимизированы несколькими способами: путем их разбавления до безопасных концентраций вентиляционным воздухом; путем применения запатентованных устройств для вентиляции выемочных машин; посредством отведения газов с участков, на которых проводятся работы; и, при необходимости, путем каптирования газа в скважинах или газодренажных галереях до его поступления в шахтную атмосферу.

Основополагающие принципы снижения взрывоопасности заключаются в следующем:

- по возможности не допускать образования взрывоопасных газовых смесей (например, путем применения высокоэффективных методов дегазации источников метана, недопущения и рассеивания слоевых скоплений метана за счет изменения скорости проветривания);
- если образования взрывоопасных газовых смесей избежать не удастся, необходимо минимизировать объемы взрывоопасных смесей (например, путем их скорейшего разбавления в вентиляционном воздухе до допустимых концентраций по метану);
- изолировать газовые смеси, образования которых избежать не удалось, от потенциальных источников возгорания (например, путем применения вентиляционных систем, специально спроектированных для призабойного пространства, в целях недопущения скоплений газа вблизи электромоторов или избежания использования электричества в вентиляционных выработках с исходящими на выемочных участках с длинным забоем);
- в максимальной степени избегать появления источников возгорания (например, присутствия небезопасных электроприборов, открытого огня, курения);
- контролировать газовыделение из выработанных изолированных участков шахты с применением методов дегазации источников газовыделения, отрегулированных с целью поддержания чистоты газа и путем отвода газа с целью недопущения резких перепадов барометрического давления.

2.4 Принципы нормативного регулирования и управления

Эффективная нормативная база для обеспечения безопасности

Эффективная нормативная база безопасности обеспечивает последовательное и четкое руководство отраслю со стороны ведущего органа по надзору за соблюдением норм безопасности, наделенного четко определенными функциями и обязанностями, которые не должны дублировать обязанности других органов.

Всеобъемлющие нормы обеспечения безопасности на угольных шахтах в ее газовом аспекте не создают гарантий безопасности условий труда. Чтобы регулирующие нормы были

эффективными, необходимо обеспечить их понимание, применение и выполнение горными инспекторами, руководителями шахт, надзорным персоналом, а также самими шахтерами. Ключевое значение для предупреждения аварий, вызываемых газом, имеют инициативное управление рисками и разграничение ответственности в области техники безопасности снизу доверху. Должностные лица и шахтеры могут проявлять инициативу лишь в случае, если они понимают основные принципы процессов газовой выделенности и управления им. Таким образом, профессиональная подготовка и передача знаний, а также широкое распространение докладов с фактической информацией о связанных с газом происшествиях и их причинах являются необходимыми элементами успешных программ поддержания шахтной безопасности. Управление безопасностью на шахтах и подготовка кадров в этой области должны охватывать как работников шахт, так и подрядчиков.

Обеспечение соблюдения норм

Компетентные государственные инспекторы проверяют условия безопасности на шахтах, при этом они проводят тщательные инспекции в подземных выработках, готовят экспертные рекомендации для руководства шахт, рассматривают вопросы эффективности регулирующих норм и обеспечивают соблюдение этих норм в процессе выполнения совместной работы с операторами шахт с целью устранения любых недостатков или вынесения санкций лицам, которые явно игнорируют нормы и подвергают опасности жизнь людей. Вопрос об эффективности систем обеспечения безопасности и нормативного регулирования также имеет прямое отношение к тем лицам, на которых в наибольшей степени сказываются недостатки в проведении контроля за газовой выделенностью, а именно к самим шахтерам. С тем чтобы добиться наибольшей эффективности в управлении рисками, акцент должен делаться на предотвращение аварий или происшествий, а не на наказание виновных после них.

В целях обеспечения успешности управления рисками для здоровья и безопасности людей в нем в качестве равноправных партнеров должны участвовать не только регулирующие органы и операторы шахт, но и шахтеры. Как подчеркивается в принятой Международной организацией труда инструкции по безопасности труда и здоровья при работе на угольных шахтах (Code of Practice on Safety & Health in Underground Coal Mines) (МОТ, 2006 год), трудящиеся имеют право на безопасные условия труда, в том числе право информировать о потенциальных опасностях, не опасаясь каких-либо последствий в этой связи. Кроме того, в качестве партнеров по созданию безопасных условий труда трудящиеся обязаны содействовать безопасной практике работы и поддерживать безопасные условия труда.

Допустимые концентрации газов для создания безопасных условий труда

Следует соблюдать осторожность в применении предписывающих норм, поскольку они могут препятствовать внедрению инноваций. Они обосновываются непреложными требованиями физики, например существованием взрывоопасного диапазона концентраций воспламеняющихся шахтных газов в воздухе. Во всех угледобывающих странах установлены предельно допустимые концентрации метана или воспламеняющихся газов, превышение которых запрещено в выработках шахт. В некоторых странах применяются разные обязательные предельные значения концентраций газов для различных участков угольной шахты в зависимости от характера работ и риска достижения взрывоопасных уровней, а также установлены минимальные безопасные концентрации для отвода и утилизации газа с целью минимизации взрывоопасности в подземных выработках (таблица 2.1).

Таблица 2.1 Отобранные примеры предписываемых и рекомендуемых предельных значений пожароопасных концентраций метана

Предельные значения пожароопасных концентраций метана [%]	Австралия	Китай	Германия	Индия ^h	Южная Африка	Соединенное Королевство	США	Коэффициенты безопасности ^a
Максимальные значения, ниже которых разрешается проведение работ в шахте в целом	1,25	1,0	1,0	1,25	1,4	1,25	1,0	3,6-5,0
Максимальные значения, ниже которых разрешается проведение работ в выработках с исходящей струей воздуха	2,0 ^b	1,5 ^g	1,5	0,75	1,4	2,0 ^b	2,0 ^b	2,5-6,7
Минимально допустимые значения для утилизации	данные отсутствуют	30	25	данные отсутствуют ^f	данные отсутствуют ^f	40	25 ^c	1,7-2,7
Минимальные значения для подземной транспортировки по трубопроводам	данные отсутствуют	данные отсутствуют	22	данные отсутствуют ^f	данные отсутствуют ^f	данные отсутствуют	данные отсутствуют ^d	1,5

a Коэффициенты безопасности указывают применительно к содержанию метана в воздухе на диапазон кратных чисел ниже нижнего предельного значения взрывоопасности, составляющего 5%, или выше верхнего предельного значения взрывоопасности, составляющего 15%.

b При отсутствии электропитания.

c В Соединенных Штатах дегазификация по метану предусматривается в плане проветривания, а своды норм и правила отсутствуют.

d Не рассматривается в качестве проблемы, поскольку газы с низкой концентрацией из выработанных пространств, как правило, отводятся с помощью пробуренных с поверхности скважин.

e Определяются на основе проводимой на месте оценки риска.

f Ввиду незначительного применения или неприменения не установлены.

g 2,5% для выработок с исходящей струей воздуха.

h В Индии нормативы по метану указаны в Положении об угольных шахтах Индии 1957 года, которое принято на основе Закона о шахтах 1952 года.

Установления точных триггерных значений концентраций газов для принятия соответствующих мер самого по себе недостаточно для обеспечения шахтной безопасности. Столь же важно определить соответствующие места для производства замеров концентрации, процедуры замеров, а также действия, которые должны быть приняты с учетом результатов замеров. В горном законодательстве промышленно развитых стран основное внимание уделяется усилиям по мониторингу и контролю - пропорционально степени ожидаемого риска.

Безопасность при транспортировке и утилизации газа

Транспортировка и утилизация взрывоопасных смесей газов сопряжены с рисками, обусловленными опасностью распространения взрыва на другие участки ведения горных работ. Между национальными нормативными документами, регулирующими безопасность горных работ, существуют различия в оценке минимальной концентрации метана, рассматриваемой в качестве безопасной для транспортировки и утилизации, при этом в разных странах она варьируется в диапазоне от 25% до 40%. В целом в качестве минимального критерия надлежащей практики признан коэффициент безопасности, как минимум в два раза превышающий верхнее предельное

значение взрывоопасности (т.е. 30% или более по концентрации метана)³. Аварии на трубопроводах, предназначенных для транспортировки метана при концентрациях, значительно превышающих верхний предел огнеопасной концентрации, не приводят к взрывам, поскольку газ в них имеет слишком высокую степень чистоты и поэтому не подвержен возгоранию; в случае воспламенения огонь на границе взаимодействия газа/воздуха может быть потушен путем применения методов пожаротушения. Напротив, возгорание в трубопроводе газа с низкой степенью чистоты (например, в диапазоне от 5% до 15%) может явиться причиной ускоренного продвижения фронта горения в обоих направлениях внутри трубы, при котором создаются активные предпосылки для взрыва и вся шахта подвергается опасности.

Нормативное регулирование, направленное на снижение опасности возгорания

В большинстве угледобывающих стран действуют нормативные предписания, регулирующие вид и применение материалов, разрешенных для использования под землей, и направленные на минимизацию риска возгорания. Однако не все потенциальные источники возгорания могут быть устранены.

Для приведения в действие горного электрооборудования необходима электроэнергия. Его безопасное использование зависит от принятия стандартов огнестойкости и искробезопасности, применения армированных кабелей и безопасных соединителей, а также от строгости процедур проведения инспекций и технического обслуживания (ИТО). Обычно регулирующие документы запрещают использование электричества в конкретно оговоренных выработках выемочного участка с длинным забоем, в которых может наблюдаться повышенная концентрация метана, или в любом месте, где допускаются концентрации, близкие к предельным значениям воспламенения газа (т.е. где содержание метана превышает 1%).

Риски воспламенения от трения при работе выемочных машин минимизируются за счет использования острых резцов, правильно нацеленных оросительных установок и систем вентиляции машин. Источником воспламенения в результате перегрева могут также явиться конвейеры, но этот риск может быть существенно снижен благодаря проведению регулярных инспекций и технического обслуживания. Известно, что ненадлежащее поведение людей, например курение в подземных выработках, также может быть одной из причин взрывов в шахтах.

³ Максимумом, соответствующим надлежащей практике, при отключенном электропитании является коэффициент безопасности, меньший как минимум в 2,5 раза по сравнению с нижним предельным значением взрывоопасности метана (т.е. содержание метана должно быть меньше 2%); в случае использования электричества коэффициент безопасности должен быть больше.

Глава 3. Присутствие и высвобождение газов и прогнозирование газовыделения в угольных шахтах

Основные тезисы

Приток метана в угольные шахты при нормальных стационарных условиях, как правило, поддается прогнозированию.

Нештатные выделения и выбросы с трудом поддаются прогнозированию, но условия, при которых они могут происходить, известны достаточно хорошо. Разработаны детальные методы снижения рисков в этих условиях, которые следует применять во всех случаях выявления существенных рисков. В таких обстоятельствах безопасность условий труда зависит от строгого применения и контроля за применением методов управления газовыделением.

Наряду с проведением в подземных выработках мониторинга эксплуатационной безопасности шахты важнейшее значение имеют сбор и использование данных в целях планирования безопасности, роль которых трудно переоценить.

3.1 Введение

По мере роста показателей извлечения добычи угля и перехода к разработке угольных пластов с высокой газоносностью на всех больших глубинах современные высокопроизводительные угольные шахты все чаще сталкиваются с проблемой интенсивных газовыделений. Знания о присутствии метана, характеристиках его выделения и прогнозировании объектов газовых потоков, выходящих из угольной шахты, как функции темпов добычи угля, имеют важнейшее значение для целей обеспечения безопасности, планирования шахтных работ, проветривания, утилизации газа и ограничения выбросов ПГ.

3.2 Присутствие газа в угольных пластах

Основным компонентом газов, естественным образом присутствующих в угольных пластах, является метан (как правило, 80-95%), кроме того, в меньших пропорциях в них также содержатся более тяжелые углеводородные газы, азот и диоксид углерода. Смеси метана, водяных паров, воздуха и сопутствующих продуктов окисления, встречающихся в угольных шахтах, нередко называют «рудничным газом».

Метан образовался в угольных пластах в результате химических реакций, проходивших по мере увеличения глубины залегания угля в земной коре. Остатки растений, аналогичные тем, которые в настоящее время присутствуют в болотах, имеют свойство постепенно превращаться из влажных органических отходов в уголь, если они оказываются на достаточной глубине и остаются под толщей пород на протяжении процесса, называемого углефикацией. По мере увеличения температуры, давления и продолжительности нахождения угля в недрах повышается геологическая зрелость угля (т.е. его марка) и возрастает количество образующегося газа. В процессе такой углефикации образовалось значительно большее количество газа по сравнению с его нынешним количеством в пластах. В процессе углефикации имела место утрата газа, которая была связана с его выделением на древнюю земную поверхность, вымыванием в раствор подземной водой, проходившей через залежи угля, его миграцией или накоплением в пористых пространствах и структурных компонентах окружающих пород. Такой газ мог аккумулироваться

в прилегающих пористых слоях, например в песчаниках, или адсорбироваться сланцами органического происхождения. Коллекторные породы этого типа могут стать крупными источниками притока газа в шахту в случае, если газоносные пласты изолированы от других пластов непроницаемыми окружающими слоями пород и остаются ненарушенными до времени проведения горных работ. В угле метан присутствует в значительно больших концентрациях по сравнению с любым другим типом горных пород благодаря процессу адсорбции, позволяющему молекулам метана внедряться в угольное вещество, сжимаясь до плотности, почти достигающей плотности жидкого вещества. В вертикальной последовательности угольных пластов метаноносность часто систематически увеличивается по мере увеличения глубины залегания и повышения класса угля. Между месторождениями существуют различия по градиентам газообильности и глубины залегания, связанные с различной геологической историей бассейна, в котором проходил процесс углеобразования. В некоторых угольных бассейнах метаноносность возрастает по мере увеличения глубины залегания, достигает своего максимального значения, а затем снижается по отношению к этому значению.

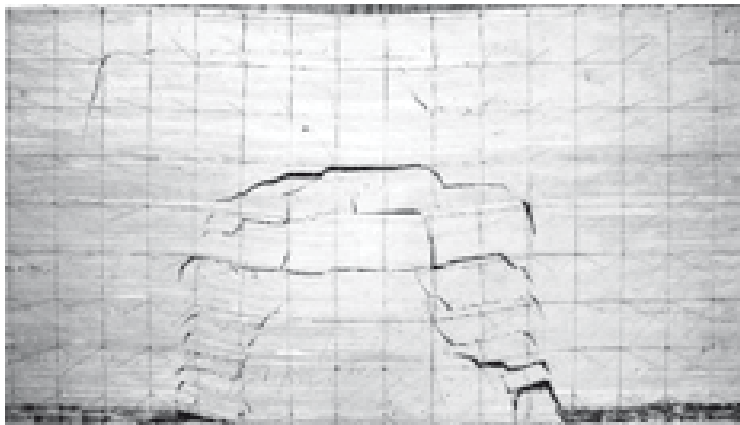
3.3 Процесс газовой выделения

Газ, образовавшийся в результате природных процессов и залегающий в угольных пластах и окружающих породах, может выделяться при их нарушении в процессе горных работ. Скорость и объем газовой выделения зависят от первоначального количества газа, содержащегося в угольном пласте (газоносности), распределения и мощности угольных пластов, нарушаемых горными работами, прочности угленосной толщи, геометрической конфигурации горных выработок, показателей угледобычи и проницаемости угольного пласта. Общий газовый поток находится в пропорциональной зависимости от степени нарушения пластов в результате проведения горных работ. Следовательно, в конкретных горно-геологических условиях общее количество газа, выделившегося в процессе выемки угля, увеличивается пропорционально увеличению темпов добычи угля. Вместе с тем в некоторых случаях могут также происходить внезапные прорывы или выбросы угля и газа и внезапные суфлярные выделения газа.

В некоторых угольных пластах, разрабатываемых в Австралии и других странах, накопились большие объемы диоксида углерода, а также метана. При разработке этих угольных пластов внезапные выбросы могут происходить даже при более низкой общей газоносности угольного пласта, чем это можно было бы ожидать в случае присутствия в нем только одного метана. Следовательно, при оценке потребностей в предварительной дегазации следует проводить измерения газоносности по обоим газам.

В проведенных в Европе исследованиях (Creedy et al, April 1997) показано, что газ выделяется через разгруженную от давления дугу или зону нарушения, которая образуется над длинным забоем, как правило, простираясь на 160 м – 200 м в кровлю, и под ним, уходя где-то на 40–70 м в толщу пород, образующих его подошву. На диаграмме 3.1 изображена гипсовая модель, наглядно представляющая результаты разгрузки от давления перекрывающих пород после образования пустого пространства. Создание таких моделей полезно для определения масштабов последствий такой разгрузки и высоты над пустым пространством, на которой имеют место заметные разломы пластов, раскрытие трещин, а также другие формы разгрузки пластов, являющиеся причиной увеличения проницаемости и образования путей миграции газов. Для отображения этого процесса разработаны различные теории и эмпирические модели.

Диаграмма 3. 1 Типовой разрез толщи пород, параллельный фронту длинного забоя, на котором показано формирование трещин в пластах в результате выемки угля с образованием выработанного пространства



(Смоделировано по Гаскеллу, 1989 год)

Отработка угольного пласта ведет к проседанию земной поверхности. Хотя нарушаются все пласты, залегающие в толще пород между длинным забоем и земной поверхностью, в подземные выработки газ поступает лишь из разгруженной от давления арки. В некоторых случаях при бурении скважин с земной поверхности и проведении земляных работ на небольшой глубине можно натолкнуться на газ, выделившийся из угольного пласта, который при нормальных условиях во время горных работ не выделился бы.

3.4 Относительная газообильность угольных шахт

Для оценки газообильности шахты или выемочного участка с длинным забоем обычно применяется показатель «удельной» (или «относительной») газообильности. В этой связи используются те же единицы измерения, что и при оценке газоносности (т.е. кубические метры метана, выделившегося на одну тонну угля, или $\text{м}^3/\text{т}$), но концептуально это понятие имеет совсем иное значение⁴. Показатель удельной газообильности позволяет оценить общее количество метана, выделенного всеми источниками, по отношению к общему количеству угля, добытого за определенный период времени, желательно за неделю или более. Другими словами, этот показатель означает количество выделившегося метана в кубических метрах (м^3) на одну тонну (т) добытого угля за любой установленный период времени. Выделяющийся и измеряемый газ поступает не только из отработываемого угля, но из всех других пластов горных пород, которые были нарушены и разгружаются от давления по мере обрушения выработанного пространства, возникшего в результате выемки угля. Как правило, угольные шахты с удельной газообильностью $10 \text{ м}^3/\text{т}$ и более считаются газообильными. В шахтах некоторых стран, например Соединенного Королевства и Соединенных Штатов отмечались показатели удельной газообильности, достигавшие от $50 \text{ м}^3/\text{т}$ до $100 \text{ м}^3/\text{т}$, но такие уровни являются исключением (Kissell et al, 1973).

3.5 Понимание характеристик газов угольных шахт

Пиковые значения дебита газа имеют место на выемочных участках в вентиляционных выработках с исходящей струей в процессе отбойки угля в угольном забое и после посадки кровли при передвижении крепей длинного забоя. Статистические исследования показали, что эти пиковые

⁴ Определение и описание термина «газоносность» приводится в разделе 3.6.

значения, как правило, на 50% превышают средние значения (Creedy et al, April 1997). В методах прогнозирования газовыделения эта зависимость обычно используется для оценки объема воздуха, который потребуется для соблюдения обязательных требований по разбавлению газа.

Количество газа, выделяемого любыми угольными пластами, нарушенными в результате проведения горных работ, со временем снижается, но при продолжении горных работ возникают дополнительные источники газовой выделений. Поэтому итоговые значения газообильности определяются путем суммирования всех источников за определенное время. Вследствие этого удельная газообильность (т.е. количество газа, выделяемого на одну тонну добытого угля) может увеличиваться на протяжении всего периода эксплуатации длинного забоя. После прекращения добычи угля продолжают десорбция газа из угольного пласта и его приток из неугленосных пород, но с понижающейся скоростью. При возобновлении добычи угля на шахте после нескольких дней перерыва первоначальные уровни газообильности будут ниже, чем при непрерывающейся добыче.

В большинстве эмпирических расчетов газообильности делаются допущения о безостановочной добыче угля и однородности характеристик газообильности. Хотя этот подход отвечает большинству потребностей планирования, операторы шахт также должны учитывать менее предсказуемые факторы. В этой связи крайне важное значение для снижения вероятности серьезных аварий имеют методы контроля рисков. Например, на некоторых шахтах с высокой газоносностью и низкой проницаемостью угля случаются внезапные выбросы газа и угля (а некоторых случаях породы) из отработываемого пласта. Основные горно-геологические факторы и факторы, связанные с горными работами, которые создают наибольший риск внезапных выбросов часто поддаются определению, но фактическое проявление такой выбровоопасности спрогнозировать с какой-либо степенью определенности невозможно. Руководство угольной шахты может решать эту проблему безопасности путем применения строгих методов предотвращения выбросов и ограничения их последствий. Обычно эти методы предполагают снижение газоносности угля до значений, ниже критических путем дегазации источников метановыделения до начала ведения горных работ.

Внезапные выбросы газа могут происходить у подошвы выработок с длинными забоями либо в направлении самого забоя, либо в направлении штреков вблизи забоя. Такой тип выбросов считается наиболее вероятным в случае, когда грунт подошвы сложен из слоя крепкого песчаника, а на расстоянии 40-60 м ниже отработываемого пласта залегает другой угольный пласт. Хотя прогнозирование в данном случае является сложной задачей, предотвращение выбросов может обеспечиваться в основном за счет периодического бурения серий подошвенных скважин с целью недопущения нагнетания давления газа.

Внезапные суфлярные выделения и выбросы газа могут нанести значительный ущерб и привести к травматизму и гибели людей. Если параметры воздушно-метановой смеси находятся в пределах диапазона воспламенения, то искры от ударов металлических предметов по породе также могут явиться причиной вспышки рудничного газа.

В некоторых случаях горные работы в угольной шахте могут приводить к нарушению породы-коллектора природного газа и вызывать выделения газа, в два раза превышающие по объему ожидаемые выделения газа из источников в одних лишь угольных пластах. Породы-коллекторы природного газа могут представлять собой пласты, вклинивающиеся между угольными пластами

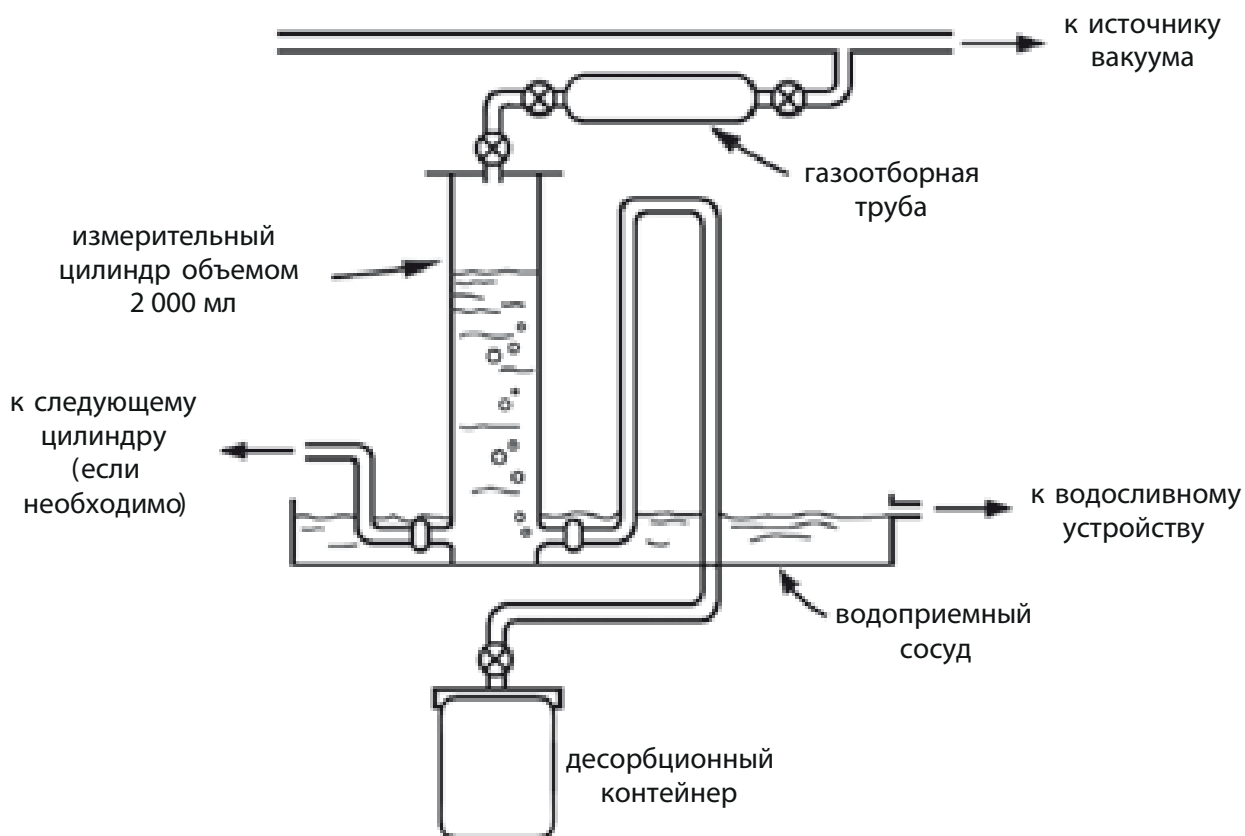
и залегающие в качестве естественной составляющей угленосной толщи, но в процессе ведения горных работ геологические препятствия и преграды на пути миграции газа устраняются и заземленный газ начинает выделяться. До начала горных работ такую возможность выявить сложно, но операторам шахт следует проявлять бдительность и учитывать ее, проводя сопоставление данных измерений и прогнозируемых данных. Невозможно переоценить важность не только налаживания в подземных выработках деятельности по мониторингу с целью обеспечения эксплуатационной безопасности шахты, но и сбора и использования данных с целью подготовки планов обеспечения безопасности.

3.6 Измерение газоносности угля

Для планирования систем дегазации источников газовыделения и проветривания шахт с целью обеспечения безопасности горных работ необходимо располагать данными о количестве газа, адсорбирующегося в угольном веществе и - в определенной степени - о количестве газа, находящегося под давлением в более крупных поровых пространствах. Газоносность выражается количеством газа, содержащегося в единице массы угольного вещества в месте его залегания (м³/т), и ее не следует путать с удельной газообильностью⁵. Общий подход к измерению газоносности заключается в получении проб угля пласта и их запечатывании в контейнеры в максимально «свежем» состоянии. Температура этих проб поддерживается на уровне, близком к пластовой температуре, при которой газ может выделяться. Измерение скорости выделения газа позволяет рассчитать объем газа, улетучившегося до отбора пробы. На диаграмме 3.2 показана аппаратура, предназначенная для сбора и измерения параметров газа при его десорбции из угля, помещенного в изолированный контейнер. Процедура использования этой системы включает в себя отбор проб угля из скважины и помещение угля в контейнер. Для газа, содержащегося в контейнере, периодически создаются условия для перетекания в измерительный цилиндр после чего проводятся измерение объема газа и регистрация данных. Состав газа может быть проанализирован путем улавливания его пробы и проведения ее химического анализа. Количество газа, остающегося в угле после проведения первоначальных тестов, определяется путем измельчения угля и измерения выделившегося количества газа. Для применения метода измерения газоносности Горнорудного бюро США (ГРБ США), который получил наиболее широкое распространение, обычно требуется от нескольких дней до нескольких недель (Diamond & Levine, 1981). В Европе и Австралии разработаны методы быстрой десорбции, позволяющие оперативно получать результаты с учетом потребностей, связанные с ведением горных работ (Janas & Orahle, 1986). Кроме того, для углей с низкой проницаемостью также разработаны методы парциального давления и статистические методы (Creedy, 1986). Поскольку в угольных пластах наряду с угольным веществом (газ преимущественно адсорбируется на органические вещества) содержатся включения минеральных веществ, газоносность, как правило, корректируется с учетом беззольной части. В некоторых случаях газообразные компоненты измеряются отдельно, и в большинстве случаев основным газом является метан. Обычно объем метановыделения в угольном пласте в естественных условиях колеблется от следовых количеств до почти 30 м³/т.

⁵ Мера измерения, характеризующая отношение объема газа, выделившегося за время проведения горных работ, к количеству добытого угля.

Диаграмма 3.2 Оборудование для изменения газоносности (австралийский стандарт)



(На основе документа Diamond & Schatzel, 1998)

3.7 Практические расчеты газовых потоков в угольных шахтах

Академическими учреждениями и научно-исследовательскими институтами разработаны строгие теоретические модели потоков газовой выделенности, а также имитационные модели. Для практических целей на шахтах обычно используются эмпирические модели газовой выделенности, которые доказали свою полную надежность при их применении в сочетании с накопленными на местах знаниями и профессиональным опытом. Для этих моделей требуются исходные данные по параметрам, относящимся к газоносности пласта, механическим свойствам породы и угольных пластов, геометрии горных выработок, а также темпам добычи угля. Пользователи могут либо построить свои собственные модели с использованием опубликованной информации, либо приобрести запатентованное программное обеспечение. Оценка потоков выражается либо как относительный показатель в кубических метрах газа, выделившегося на тонну добытого угля (удельная газообильность в м³/т), либо в абсолютных значениях как показатель скорости газовой выделенности при стационарных условиях в кубических метрах в минуту (м³/мин.) или в литрах в секунду (л/сек.).

С помощью моделей можно прогнозировать влияние увеличения темпов добычи угля на потоки газа. Благодаря им можно также прогнозировать максимальные объемы газовой выделенности, поддающиеся контролю, и соответствующие максимальные объемы добычи угля, на которые оказывают влияние следующие параметры:

- нормативные предельные значения пожароопасной концентрации газа в вентиляционных выработках с исходящими струями выемочных участков с длинным забоем;

- имеющееся количество вентиляционного воздуха и объемы воздушных потоков, которые могут циркулировать по выемочным участкам. Объем потоков воздуха, который может быть подан на действующий длинный забой, зависит от количества выработок, схемы вентиляции выемочного участка и максимальной скорости воздуха, приемлемой в плане обеспечения комфортных условий для шахтеров;
- каптирование дренируемого газа, параметры которого могут поддерживаться на постоянном уровне, если дренируемый газ утилизируется.

Глава 4. Проветривание шахты

Основные тезисы

Системы проветривания шахт являются компонентами общей системы, имеющими крайне важное значение для эффективного отвода метана из горных выработок. При проектировании систем проветривания шахты необходимо решить три задачи: 1) по подаче свежего воздуха, пригодного для дыхания людей, 2) по контролю за температурой и влажностью рудничного воздуха и 3) по эффективному разбавлению или отводу опасных газов и вдыхаемой с воздухом пыли.

Совершенствование систем дегазации источников метановыделения зачастую позволяет найти более оперативные и затратоэффективные решения проблем, связанных с присутствием рудничного газа, по сравнению с простым увеличением объема подаваемого в шахту воздуха.

4.1 Цели проветривания

Проблема обеспечения эффективного проветривания угольных шахт является основным фактором, ограничивающим добычу угля на каждой конкретной шахте. Максимальные темпы выемки угля, которые могут быть безопасно достигнуты в условиях газообильного очистного забоя, с одной стороны, зависят от обеспечиваемых системой проветривания возможностей разбавления вредностей до приемлемых концентраций, а с другой - от эффективности дегазации источников метановыделения.

Проветривание является основным способом разбавления и рассеяния опасных газов в подземных горных выработках. Скорости и количество воздуха поддерживаются в режиме, оптимальном для разбавления газов, удаления пыли и регулирования теплового режима. Чем больше свежего воздуха подается в забой, тем большее количество выделяемого газа может быть разбавлено. Этот процесс разбавления в принципе ограничен объемом воздуха, имеющегося в шахте, и максимально допустимыми скоростями воздушных струй.

Давление в системе проветривания пропорционально квадрату расхода воздуха. Следовательно, для незначительного увеличения количества подаваемого воздуха необходимо значительно повысить давление, что приводит к увеличению его утечек через выработанное пространство и вентиляционные двери. Чрезмерные утечки через выработанное пространство, кроме того, могут приводить к возникновению опасности самовоспламенения и повреждению систем дегазации.

Объем воздуха, необходимый для проветривания подземных выработок и допустимый уровень вредностей во многих случаях регулируются учреждениями местных органов власти. Система проветривания, рассчитанная лишь на соблюдение минимальных нормативных требований к потокам воздуха или скорости воздушных струй, может не отвечать целям поддержания безопасности и удовлетворительного состояния среды на действующей шахте. По этой причине в техническом задании на проектирование системы проветривания следует предусматривать возможные уровни содержания вредностей, ожидаемые при наихудшем сценарии.

Технические требования к системе проветривания задаются с учетом того, что метан является наиболее вредным и опасным газом. Предполагается, что если выбранный проект системы проветривания позволяет удалять наиболее вредный загрязнитель или удовлетворительным

образом ограничивать его присутствие, то одновременно он обеспечивает надлежащий контроль или отвод менее опасных загрязнителей.

4.2 Основные элементы проекта системы проветривания

Как правило, воздух подается (всасывается) в шахтные выработки установленными на поверхности всасывающими вентиляторами. Таким образом, давление воздуха в шахте ниже атмосферного. В случае отказа вентилятора давление воздуха в шахте возрастает, вследствие чего немедленное истечение газа из действующих участков шахты становится невозможным.

Чем больше глубина залегания и площадь шахты, тем сложнее ее вентиляционная сеть и тем больше появляется возможностей для утечек воздуха через сообщающиеся вентиляционные двери шахты, установленные между воздухоподающими и воздухоотводящими выработками. Так, на больших шахтах со сложной структурой для проветривания тупиковых выработок и действующих забоев имеется лишь ограниченное количество свежего воздуха, в связи с чем необходимо использовать воздухопроводы местного проветривания. Тем не менее в них необходимо подавать такое количество воздуха, которого было бы достаточно для их проветривания по параллельной, а не последовательной схеме, поскольку в последнем случае проблема газа, возникшая в одной тупиковой выработке, быстро распространится на следующую. Наилучшая практика заключается в принятии мер по отключению электропитания на всех рабочих местах, следующих за тем рабочим местом, на котором произошло превышение концентрации метана по отношению к разрешенному максимуму.

Требования по проветриванию имеют динамичный характер. Потребность в вентиляционном воздухе растет по мере проведения горных работ и увеличения площади проветривания, что в некоторых случаях вызывает необходимость в сооружении дополнительных вентиляционных стволов, модернизации вентилирующих установок или расширении имеющихся воздухопроводящих выработок.

Для моделирования работы вентиляционных сетей существует запатентованное программное обеспечение. По мере появления изменений для калибровки модели и проверки эффективности системы через регулярные промежутки времени следует проводить обследования для установления фактической обстановки с давлением и расходом воздуха.

По мере возможности систему проветривания следует проектировать таким образом, чтобы обеспечить сбалансированность различных «разделителей вентиляционной струи» или ее ответвлений. Эта мера снижает необходимость в установке таких устройств управления воздушным потоком, как вентиляционные шлюзы. Открытие и закрытие таких устройств для прохода персонала оказывает существенное влияние на параметры воздушных потоков на вентиляционном участке.

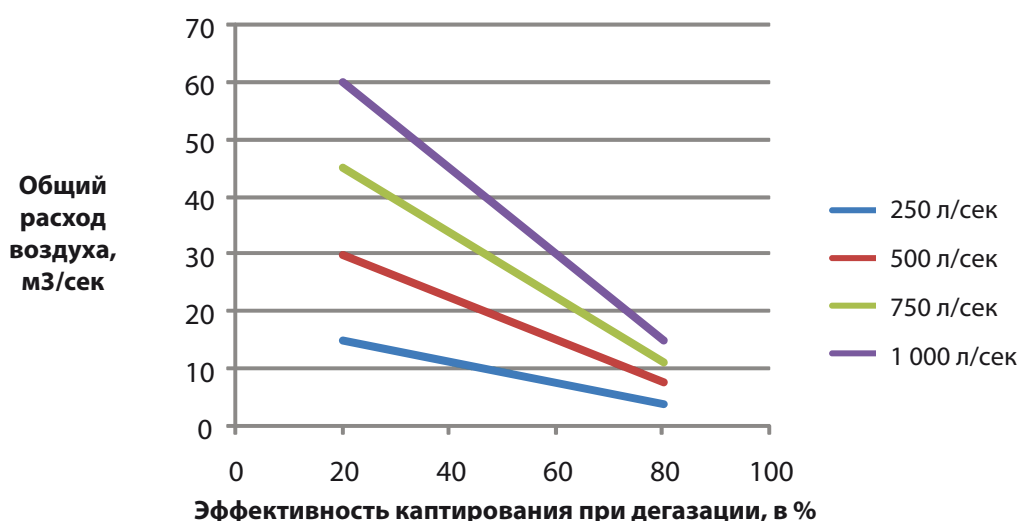
Устанавливаемый(ые) на поверхности вентилятор(ы) следует проектировать таким образом, чтобы он(и) удовлетворял(и) требованиям к проветриванию шахты. Как правило, поверхностные вентиляторы могут регулироваться в определенных пределах, с тем чтобы эти требования выполнялись без нарушения их аэродинамической устойчивости. Более ранние модели вентиляторов, установленные на некоторых старых шахтах, зачастую функционируют в максимальном режиме. В таких случаях подача дополнительных воздушных потоков к более удаленным участкам шахты может обеспечиваться только за счет внесения улучшений в вентиляционную сеть.

4.3 Проветривание газообильных выемочных забоев

Существуют различные схемы управления газовыделением, борьбы с пылью и регулирования теплового режима в угольных забоях в процессе выемки угля, которые имеют различную степень эффективности. Основные источники газоопасности находятся на тех участках горных выработок, на которых пласт был либо частично, либо полностью отработан (независимо от того, проводится ли выемка длинным забоем или камерно-столбовым способом) и к которым отсутствует безопасный доступ (например, выработанные пространства). В случае добычи угля длинным забоем или камерно-столбовым способом при всех операциях существует прямая связь с выработанными пространствами, в которых могут образовываться скопления метана, воздуха, бедного кислородом, и других опасных газов. Эти газы содержат метан, который не был извлечен путем дегазации и который, кроме того, продолжает выделяться из угля, оставшегося в выработанном пространстве.

Удаление этих газов проводится одним из двух способов. Во-первых, могут быть созданы условия для их поступления в шахтный воздушный поток, когда имеется достаточно воздуха для разбавления максимального прогнозируемого количества газовыделений в воздухопроводящих выработках до безопасных концентраций (диаграмма 4.1). Например, как показано на диаграмме 4.2, только в одном длинном забое с U-образной схемой проветривания при 50-процентном каптировании метана может быть обработан газовый поток с совокупным показателем дебита 800 л/сек (48 м³/мин.) в пересчете на чистый метан⁶. За счет применения наилучшей практики при проветривании длинного забоя, соединенного с несколькими выработками, и каптировании 70% метана можно держать под контролем поток с показателем дебита по чистому метану в размере 5 333 л/сек (320 м³/мин.), т.е. добиться более чем шестикратного увеличения^{7 8}.

Диаграмма 4.1 Воздушные потоки, необходимые для разбавления выделений метана на длинном забое до двухпроцентной концентрации с учетом допущений по пиковым значениям



(Публикуется с разрешения «Синдикатум карбон кэпитал»)

Во-вторых, если позволяют местные условия самовоспламенения или поведение залегающих в данном месте горных пород, какую-то часть газа можно отводить в газосборный штрек за забоем

⁶ При наличии одной воздухоподающей выработки и одной воздухоотводящей выработки максимальная концентрация метана - 2%, дебит воздуха - 30 м³/сек.

⁷ В соединении с несколькими выработками максимальная концентрация метана - 2%, и дебит воздуха - 120 м³/сек.

⁸ В обоих случаях делается допущение о том, что пиковые значения превышают средние значения на 50%.

или, через давно выработанные пространства, в основные воздуховыводящие выработки или непосредственно в газоотводные стволы (т.е. вертикальные стволы, через которые газосодержащий воздух выводится с выемочных участков). Эффективность этих «газоотводных» систем зависит от распределения давлений в системе проветривания выработок, которые корректируются путем устройства частичных преград регуляторов в воздухопроводящих выработках. С целью снижения взрывоопасности в некоторых странах концентрации метана в газосборных штреках устанавливаются на уровне ниже 2%.

По практическим соображениям устанавливается верхний предел по количеству воздуха, которое может подаваться вдоль забоя без создания неприемлемых условий для проведения работ, в первую очередь по переносимым воздухом пылевым частицам. Ограничения по расходу воздуха в призабойном пространстве сужают возможности проветривания при традиционной U-образной схеме проветривания (диаграмма 4.2). Если имеющегося воздуха недостаточно для разбавления газа, выделяющегося из выработок, может быть организована независимая подача дополнительного воздуха за счет применения схем шахтного проветривания разной конфигурации, например схемы проветривания “по трем штрекам” и “Y”-образной схемы, показанных на диаграмме 4.3. Однако на реализацию этих схем проветривания требуются более высокие инвестиционные затраты, в частности на проведение дополнительного штрека, устройство штрековой перемычки (из породы), а также на установку надежной крепи в непогашенных выработках выработанного пространства позади длинного забоя. На диаграммах 4.2 и 4.3 синими широкими стрелками показано направление отработки угля, узкими синими стрелками - направление поступающих вентиляционных струй, а красными стрелками - направление исходящих вентиляционных струй.

Независимо от применяемого способа или схемы к выемочной машине должен подаваться достаточный объем свежего воздуха для разбавления газа в призабойном пространстве (выделяющегося вследствие остаточной газоносности пласта после проведения любых предварительных дегазационных работ), с тем чтобы обеспечить соблюдение установленных в нормативных актах локальных предельных значений. Выбранная схема должна обеспечивать надлежащее проветривание в тех местах, где может быть достигнут наибольший эффект за счет бурения скважин для дегазации источников метановыделения. Ненадлежащее проветривание таких участков приведет к снижению эффективности дегазации, увеличению потребности в вентиляционном воздухе и сокращению добычи угля.

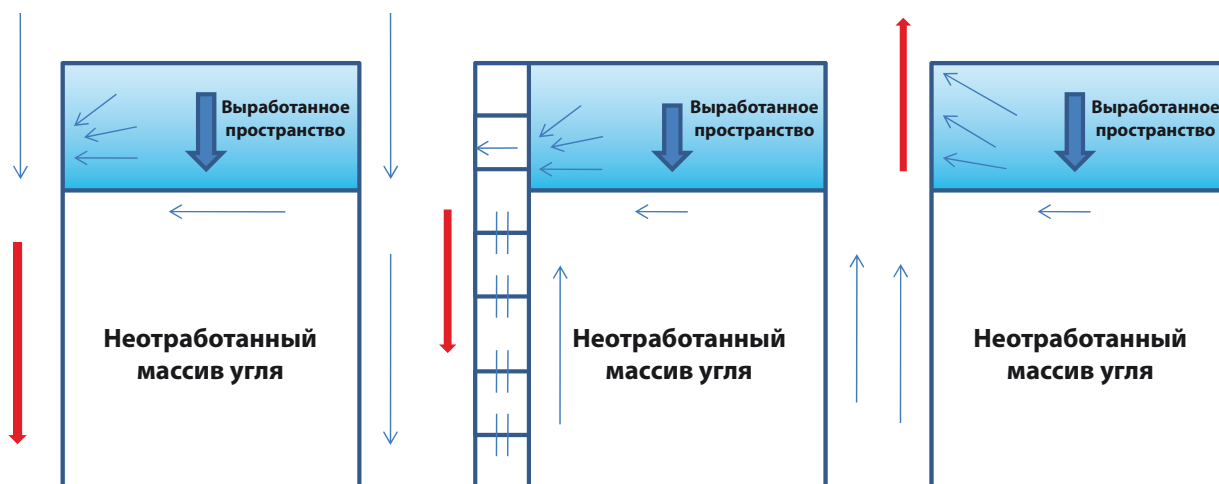
При отработке угля длинными забоями прямым ходом проще организовать управление газовыделением и доступ для бурения и регулирование режима в дренажных скважинах, пробуренных вкрест пласта, чем при отработке угля обратным ходом. Однако большая часть объема добычи угля, извлекаемого с применением длинных забоев, приходится на способы отработки обратным ходом по причине их более высокой производительности, в связи с чем были разработаны такие схемы проветривания, которые сочетают преимущества методов отработки в обоих направлениях в плане проветривания призабойного пространства, в частности типы «Y”-, “H”-образные схемы, а также схемы с реверсированием воздушных струй⁹.

⁹ Пример реверсирования воздушных струй см. на диаграмме 9.1, приводимой в примере накопленного опыта 1.

Диаграмма 4.2 Традиционная система проветривания по U-образной схеме



Диаграмма 4.3 Схемы проветривания, применяемые на газообильных длинных забоях



В схеме проветривания следует предусмотреть определенные способы создания перепада давлений на концевых участках длинного забоя, с тем чтобы пожароопасные газовые смеси не поступали в забой. Это может предполагать использование регуляторов (частичных преград) в выработках, а также специальных вентиляционных устройств на концевых участках забоя, которые предназначены для отвода воздушного потока с противоположной от забоя стороны вдоль отработанного пространства.

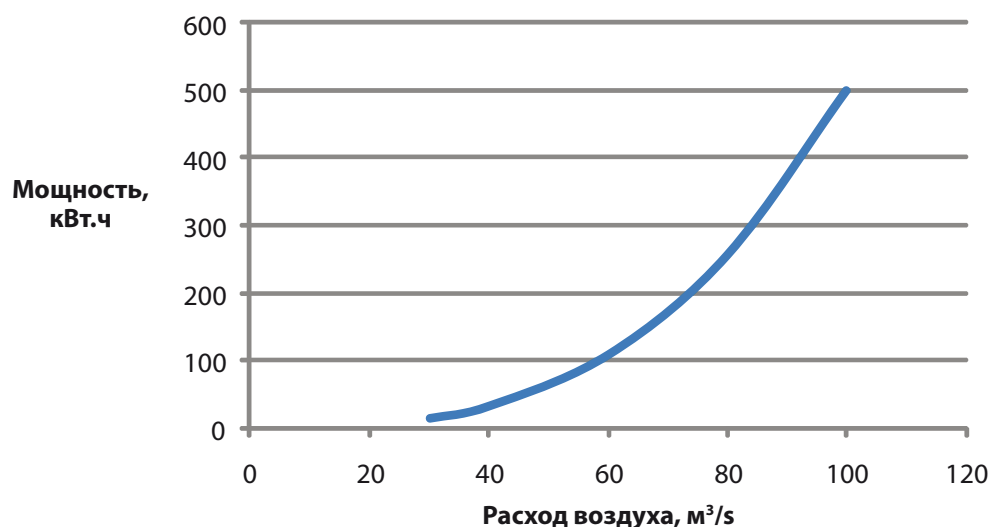
Проявлением ненадлежащей организации проветривания шахты являются опасности, создаваемые слоевыми скоплениями метана. Их наличие указывает на необходимость мониторинга газовой обстановки, недостаточную скорость воздушного потока, не позволяющую рассеивать газовые скопления, и на возможную необходимость совершенствования дегазации с целью удаления газа из источника его выделения.

4.4 Потребность в электроэнергии для системы проветривания

При незначительном увеличении объема воздуха, проходящего через систему проветривания шахты, потребление электроэнергии значительно возрастает и, соответственно, расходы на

вентиляцию возрастают. Потребность системы проветривания в электроэнергии, которая является одной из наиболее крупных статей эксплуатационных расходов шахты, пропорциональна объему воздушного потока в кубе (диаграмма 4.4). По этой причине внедрение дегазации или повышение ее эффективности нередко является менее затратным вариантом по сравнению с увеличением объемов вентиляционного воздуха, которое, кроме того, может предполагать необходимость проведения на шахте крупных работ инфраструктурного характера.

Диаграмма 4.4. Пример потребления электроэнергии для подачи вентиляционного воздуха по отношению к расходу воздуха



(Публикуется с согласия «Синдикатум карбон капитал»)

4.5 Проветривание тупиковых выработок и камер

Эффективное управление газовыделением в тупиковых выработках и на шахтах с камерно-столбовой системой разработки пластов может обеспечиваться путем сочетания местного проветривания и установки на выемочных машинах вентиляционных устройств для разбавления газа, выделяющегося при отбойке угля.

Проветривание тупиковых выработок и камер обычно проводится с применением вентилятора местного проветривания и воздухопровода как отсасыванием или нагнетанием воздуха, так и путем комбинирования обоих способов. В случае любой поломки системы местного проветривания возможно внезапное возникновение газоопасной ситуации. После накопления газа для безопасного попадания в выработку требуется прохождение специальных процедур. Для снижения риска появления скоплений газа в некоторых шахтах при определенных условиях после коротких остановок допускается автоматическое возобновление работы вентиляторов подземных выработок.

Выход из строя вентиляционной системы в результате прекращения подачи электропитания, механических поломок и неисправности труб для подвода воздуха к вентилятору местного проветривания является причиной многих связанных с газом аварий. Дублирование систем электропитания на шахтах и наличие резервных вентиляторов местного проветривания на поверхности и в подземных выработках обеспечивает избыточную мощность в главной системе проветривания.

4.6 Контроль за проветриванием

Контроль за проветриванием может осуществляться двумя основными способами: 1) путем непрерывного использования стационарных приборов измерения скорости воздуха, передающих данные на поверхность, или 2) посредством периодического применения откалиброванного переносного оборудования.

Точность контроля непрерывного потока зависит от ряда факторов: места размещения измерительных приборов, их надлежащей калибровки, а также площади сечения подземной выработки, которая может со временем меняться в результате нарушений, вызываемых ведением горных работ. Контроль расхода воздуха на выемочных участках и выработках должен проводиться непрерывно, поскольку это имеет крайне важное значение и для безопасности, и для добычи угля.

Не следует проводить замеры в местах, отведенных для парковки локомотивов и других транспортных средств, поскольку создаваемые ими помехи вызывают периодические изменения в локальной скорости воздуха.

Для повсеместного использования в шахтах, в том числе на участках нестабильности, пригодны переносные крыльчатые анемометры, поскольку размеры воздухопроводящей выработки могут контролироваться при любом замере скорости воздуха. Приборы для замера параметров состояния воздуха должны проходить повторную калибровку через установленные интервалы времени с целью обеспечения точности их показаний.

4.7 Управление проветриванием

Управление распределением воздуха включает в себя перенаправление воздушного потока на один участок за счет других воздушных потоков. Взаимосвязь между аэродинамическим сопротивлением, давлением воздуха и скоростью воздушного потока хорошо известна и может использоваться для прогнозирования результатов перераспределения воздушных потоков.

Общее управление системой проветривания шахты обеспечивается главным образом с помощью установленного(ых) на поверхности вентилятора(ов). Увеличение разницы давлений с помощью поверхностного вентилятора на шахте может лишь незначительно повлиять на воздушные потоки на наиболее удаленных участках шахты. По этой причине данная мера не может решить проблему недостаточности вентиляционных потоков воздуха на удаленных выемочных участках. Давление пород может вызвать осадку кровли, стенок и подошвы выработок, что, в свою очередь, может привести к увеличению воздушного потока; в этой связи необходимо обеспечивать техническое обслуживание подземных выработок с целью содействия эффективному проветриванию в соответствии с проектом.

Нецелесообразно проводить непрерывный контроль и регулирование вентилятора главного проветривания. Относительно устойчивый расход воздуха в подземных выработках позволяет минимизировать риск самовоспламенения и способствует проведению контроля воздушных струй и уровней содержания загрязняющих веществ. При обслуживании шахты системой поверхностных вентиляторов, спроектированной с избыточной мощностью (один или несколько рабочих вентиляторов и один или несколько резервных вентиляторов), предпочтительно использовать вентиляторы попеременно с целью недопущения прекращения подачи воздушных потоков в шахту на время остановки поверхностных вентиляторов для текущего технического обслуживания или проверки.

Глава 5. Дегазация источников метановыделения

Основные тезисы

Опыт промышленно развитых стран показывает, что инвестиции в надлежащую практику дегазации позволяют сократить в шахтах простои, обусловленные их газообильностью, обеспечить более безопасные условия ведения горных работ, а также создать возможности для утилизации большего объема газа и сократить выбросы метана из шахт.

Практические проблемы дегазации на угольных шахтах, как правило, могут быть решены за счет применения имеющихся знаний и методов. Вопрос о внедрении новейших или новых технологий следует рассматривать лишь после применения надлежащей практики, причем только в том случае, если существующие методы не позволили найти удовлетворительного решения проблем. Внедрению любой технологии на шахтах должны предшествовать строгие испытания, с тем чтобы можно было обеспечить гарантии безопасности и поддержку наилучшей практики.

Эффективность системы дегазации источников метановыделения может быть повышена благодаря надлежащему проведению монтажных работ, технического обслуживания, регулярных осмотров и реализации периодически принимаемых планов буровых работ.

Транспортировка на угольных шахтах метано-воздушных смесей при концентрациях, находящихся в пределах диапазона взрывоопасности или близких к нему, является опасной практикой, которая должна быть запрещена.

5.1 Дегазация источников метановыделения и связанные с ней проблемы

Цель дегазации источников метановыделения заключается в каптировании газа высокой чистоты в его источнике до его поступления в рудничный воздух. Для целей регулирования количество газа, поступающего в воздушный поток, не должно превышать возможностей разбавления газообразных загрязнителей вентиляционным воздухом до предписанных уровней безопасности, однако весьма целесообразно каптировать газ в максимальных объемах, с тем чтобы добиться более высокого уровня безопасности, уменьшения его воздействия на окружающую среду и извлечения энергии.

Существует широкий круг методов каптирования газа. Выбор ненадлежащих методов или их неудовлетворительное применение являются причиной низкой эффективности каптирования при дегазации и чрезмерного поступления воздушных потоков с низкой концентрацией газа. В случаях, когда в процессе отвода и утилизации концентрация этих газов находится в пределах диапазона взрывоопасности или приближается к нему, они становятся источником опасности.

5.2 Основные принципы применяемой в мире практики дегазации источников метановыделения

Различия в горно-геологических условиях в угольных бассейнах мира стали причиной разработки разных методов дегазации источников метановыделения.

Методы дегазации источников метановыделения традиционно подразделяются на методы предварительной дегазации и текущей дегазации. *Предварительная дегазация* заключается в удалении метана из пласта, предназначенного для разработки, до начала ведения горных

работ, в то время как *текущая дегазация* предполагает каптирование метана и других газов, выделяемых окружающими пластами вследствие движения горных пород, их разгрузки от давления и повышения проницаемости в результате ведения горных работ. В добавлении 1 кратко рассмотрены наиболее распространенные методы дегазации источников метановыделения.

Благодаря надлежащей практике применения методов текущей дегазации на выемочном участке с длинным забоем в нормальных горно-геологических условиях, как правило, удается каптировать от 50 до 80% всего газа. В большинстве случаев достижима задача по каптированию 50% газа на всей шахте. При использовании систем текущей дегазации практически в любых условиях ведения горных работ, за исключением наиболее сложных, удается обеспечивать концентрации метана на уровне 30% и выше, а при применении методов предварительной дегазации достигается концентрация 60% и более.

5.3 Предварительная дегазация

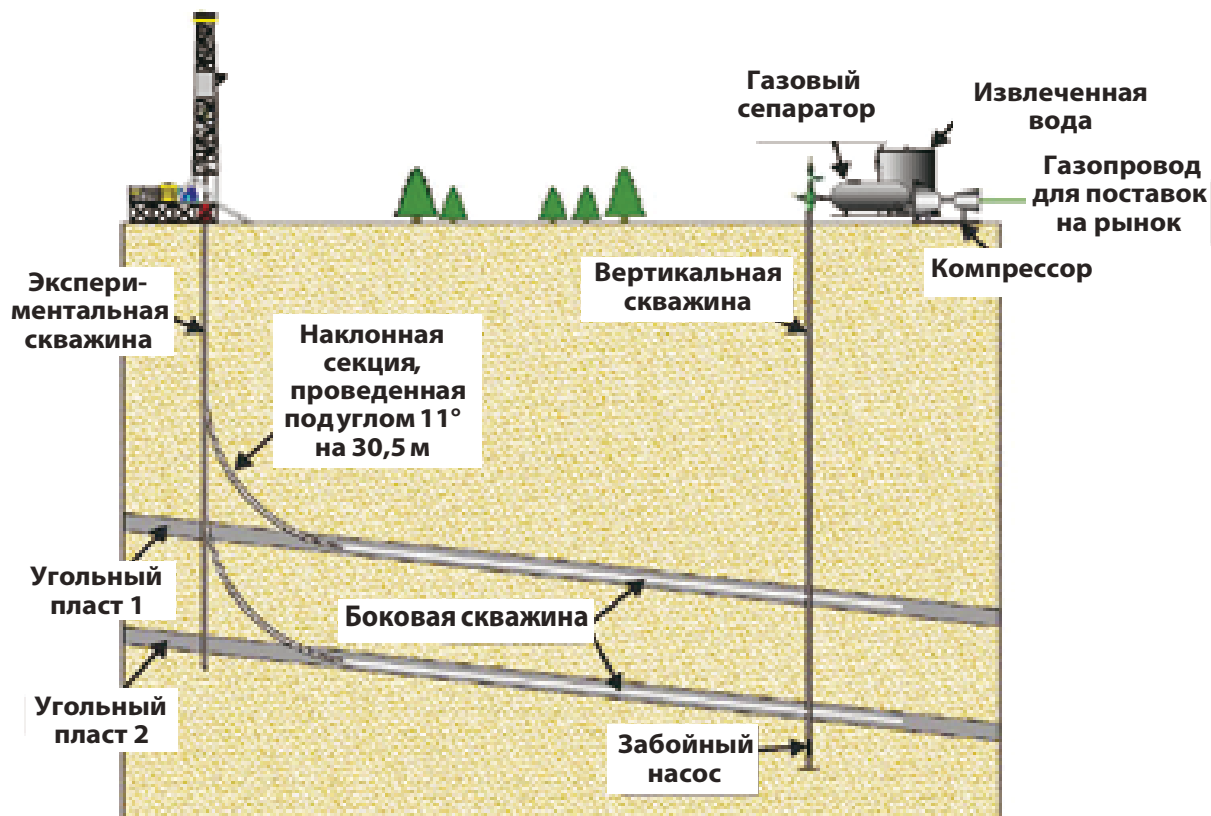
Предварительная дегазация является единственным способом снижения интенсивности газовыделения непосредственно из отрабатываемого угольного пласта, которая может быть весьма высокой в случае, если отрабатываемый пласт является основным источником газовыделения. В некоторых случаях предварительную дегазацию необходимо проводить для снижения выбороопасности. Поскольку дегазация проводится до начала ведения горных работ, вероятность нарушения систем сбора газа в результате сдвига горных пород отсутствует, при этом, при наличии возможностей условий, обычно извлекается газ относительно высокой частоты. При дегазации блоков угля до ведения горных работ, как правило, образуются непрерывные потоки газа высокой чистоты при условии, что проницаемость угольного пласта и его газоносность достаточны для того, чтобы могло иметь место интенсивное газовыделение. Интенсивное газовыделение в неразработавшиеся выработки указывает на среднюю или высокую степень проницаемости пласта по трещинам и наличие возможностей для проведения эффективной предварительной дегазации и утилизации газа.

Время, необходимое для достаточной дегазации угольного пласта, напрямую зависит от его проницаемости. Чем меньше проницаемость угля, тем больше времени необходимо для проведения дегазации с целью снижения газоносности до требуемого среднего значения. Наоборот, для углей с низкой проницаемостью требуется бурение значительно большего числа скважин с той целью, чтобы до начала проведения горных работ снизить уровни газоносности по метану до желательных. Факторами, которые в конечном итоге определяют осуществимость предварительной дегазификации в условиях конкретного объекта, являются имеющееся время для разгазирования и расходы на бурение.

В мире применяются различные методы предварительной дегазации шахт. Для бурения из подземных выработок скважин в пластах на глубину от 100 до 200 метров повсеместно применяется вращательное бурение. Скважины же глубиной 1 000 м или более могут прокладываться с применением методов направленного бурения из подземных выработок, за счет чего обеспечивается повышение эффективности дегазационных работ. Кроме того, когда шахты не слишком глубокие, существует возможность для обуривания и дегазации пласта на больших площадях непосредственно с поверхности. Методы направленного бурения пласта с поверхности доказали свою эффективность при проведении предварительной дегазации угольных пластов с диапазоном проницаемости от 0,5 миллдарси (мД) до 10 мД (т.е.

приблизительно от $5 \cdot 10^{-4}$ (микрометров)² до 10^{-2} (микрометров)² и даже менее. В Австралии, где общая газообильность шахты может достигать 8 000 л/сек, а эффективность каптирования газа на длинном забое требуется на уровне 80%, планируется комбинированное применение предварительной и текущей дегазации с использованием передовых методов направленного бурения с поверхности (Moreby, 2009). Опыт Австралии и США (Von Schonfeldt, 2008) показал, что при наличии возможности бурения пласта с поверхности применение этого метода более эффективно по сравнению с бурением пласта из подземных выработок, поскольку скважина может быть пробурена задолго до начала горных работ, в связи с чем существует меньшая вероятность сокращения времени, которое можно отнести на эффективную дегазацию, по причинам, связанным с угледобычей (Black & Aziz, 2009). На диаграмме 5.1 показана возможная схема бурения, которую можно использовать с целью дегазации угля до начала горных работ. На схеме показано, что два предназначенных для отработки пласта сначала дегазировываются путем пробуривания экспериментальной скважины, из которой затем пробуриваются две боковые скважины в каждый из пластов. После прокладки боковых скважин проводится бурение еще одной вертикальной скважины, пересекающей боковые скважины. Из вертикальной скважины отводится вода и газ, а экспериментальная скважина останавливается или оставляется. На диаграмме 5.2 указаны варианты проведения текущей дегазации, но и в этом случае перекрестные и направленные скважины (до начала очистки пласта) в основном могут буриться по той же схеме.

Диаграмма 5.1 Схема предварительной дегазации пробуренных с поверхности боковых скважин



(Публикуется с разрешения компании «Рейвен ридж рिसорсез инкорпорейтед»)

На пластах малой–средней глубины залегания с высокой проницаемостью (> 10 мД) для проведения метановой дегазации до начала горных работ, главным образом в Соединенных Штатах, традиционно и с большим успехом применяются пробуренные с поверхности гидравлически возбуждаемые вертикальные скважины, которые известны как «скважины гидроразрыва». Гидравлический разрыв пласта, или «гидроразрыв», нашел применение без ущерба для безопасности на угольных шахтах, расположенных в восточной части Соединенных Штатов, но в случае выбора этого метода следует проявлять осторожность и еще до его применения определить, является ли он пригодным в конкретных горно-геологических условиях.

Преимущества «поверхностных» методов, заключаются в том, что дегазация может проводиться независимо от горных работ, однако возможность их применения зависит от глубины бурения, сплошности и проницаемостью угля, а также от любых ограничений, обусловленных топографическими факторами или наличием поверхностных сооружений.

5.4 Основные принципы текущей дегазации

Во многих угольных бассейнах мира низкая проницаемость угольных пластов ($< 0,1$ мД) и их геологические характеристики (например, наличие мягких углей, образование разрывов) не способствуют применению методов предварительной дегазации. Поскольку во многих странах запасы неглубокого залегания уже отработаны, а добыча угля ведется из более глубоких пластов, вышеуказанное обстоятельство, возможно, будет играть все большую роль. Любые работы по дегазации источников метановыделения в этих угольных бассейнах основаны на усилении трещинообразования и проницаемости в результате просадки горных пород по мере постепенной выемки угля.

Методы текущей дегазации заключаются в каптировании метана, выделяющегося из зон, нарушенных горными работами, до его поступления в рудничный воздух и в получении доступа в зону нарушений над отрабатываемым пластом, а в некоторых случаях - под ним.

При наличии одного или более угольных пластов над отрабатываемым пластом или под ним газовыделение из этих источников может существенно превысить объем газовыделения из отрабатываемого пласта, что в первую очередь зависит от действительной мощности и газоносности этих пластов. Таким образом, при использовании методов текущей дегазации нередко имеется возможность для извлечения газа в значительно больших объемах по сравнению с методами предварительной дегазации. Для обеспечения достаточно высоких концентраций газа для эффективной дегазации и безопасной утилизации требуются тщательные проектирование этих систем и управление ими. Чем больше угля залегают в кровле и в подошве отрабатываемого газообильного угольного пласта, тем более важное значение приобретает текущая дегазация.

На диаграмме 5.2 приводится сводная информация о методах дегазации, которые могут применяться для отвода газа из панели с длинным забоем после извлечения угля. На этой диаграмме показаны три способа бурения.

- Проведение направленных горизонтальных скважин. Бурение производится из конвейерного штрека или специально подготовленных для бурения галерей. Скважины могут пробуриваться в окружающие породы, в которых будет происходить разгрузка

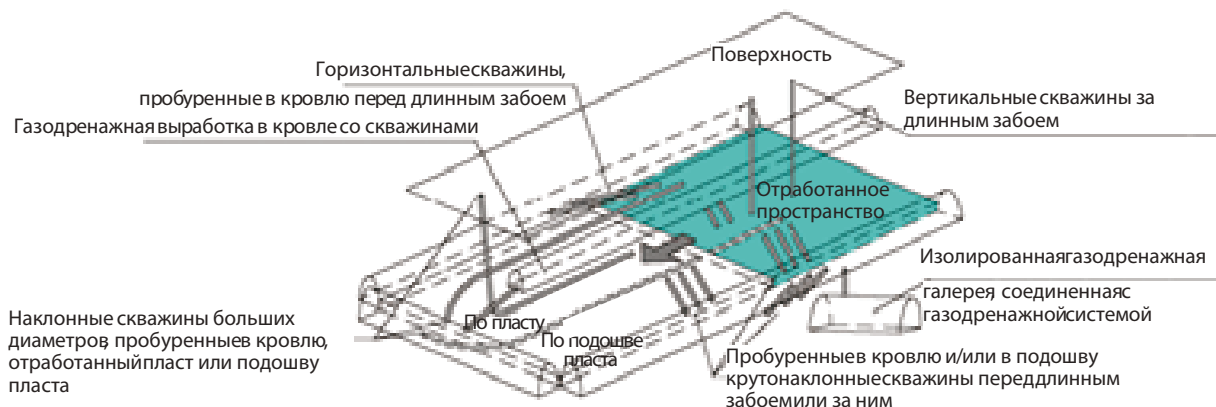
от давления по мере отхода очистного забоя. Из разгруженных пород газ по мере его миграции в верхнем направлении поступает в зоны переноса и накопления газа. На иллюстрации показаны скважины, которые были пробурены над панелью в перекрывающие и подстилающие пласты горных пород.

- Скважины вкрест простирания пласта. На рисунке показаны различные схемы проведения таких скважин; они служат для дегазации горных пород кровли и подошвы по мере их разгрузки от давления, возникающей в результате выемки угля. Одна серия скважин, опережающая длинный забой при отработке угля обратным ходом, пробуривается по перекрывающим кровлю породам позади забоя. Скважины такого типа обычно являются более эффективными по сравнению со скважинами, пробуренными до начала ведения горных работ, поскольку последние в любом случае повреждаются по мере продвижения забоя по горным породам после начала ведения в лаве очистных работ. Как правило, перекрестные скважины, пробуриваемые позади длинного забоя, позволяют добиваться более высокой эффективности каптажа газа и поддерживать более чистый состав газа по сравнению со скважинами, пробуренными перед очистным забоем. Вместе с тем с обратной стороны забоя необходимо поддерживать кровлю выработок за счет формирования породных стенок, а, кроме того, в некоторых случаях нужно создать перемычку, изолирующую выработанное пространство. Перемычки, изолирующие выработанное пространство от конвейерного штрека, открытого в призабойное пространство, служат для усиления крепи конвейерного штрека и изоляции выработанного пространства от попадания туда воздуха с целью минимизации опасности самовозгорания.
- Поверхностные скважины над выработанным пространством. Они бурятся с поверхности до верхних границ выработанного пространства - как правило, с опережением очистных работ. Эти скважины бурятся таким образом, чтобы газ, мигрирующий в верхнем направлении из подстилающих разгруженных от давления и нарушенных пластов горных пород, отводился через нижний участок скважины. Эксплуатация скважин обычно осуществляется в условиях частичного вакуума. Необходимо не допускать чрезмерного всасывания газов, при котором из-за поступления больших объемов шахтного воздуха происходит разбавление метана до концентраций ниже 30%. При падении концентраций до уровня ниже 25-35% такие скважины над выработанным пространством должны закрываться.

Помимо методов, показанных на диаграмме 5.2, еще одним эффективным способом сокращения выделений метана в действующие шахтные выработки является устройство газодренажных галерей над примыкающими к длинному забою выработками или под ними, а также отвод газа из прежних выработок, которые находятся в пределах нарушенной зоны.

В рамках стратегии проведения текущей дегазации могут применяться либо один, либо все эти методы дегазации. Выбор методов и схемы в рамках программы текущей дегазации зависят от требований к эффективности дегазации, горно-геологических условий, пригодности метода для целевой зоны с наибольшей газообильностью, а также от затрат. На диаграмме 5.2 показано несколько вариантов проведения текущей дегазации, но схема бурения скважин вкрест простирания пласта и направленных скважин во многом совпадает с точки зрения извлечения газа на оконтуренных выработками панелях до начала работы длинного забоя.

Диаграмма 5.2 Варианты бурения скважин для текущей дегазации



(Опубликовано с разрешения «ВМТ ГмбХ и Ко. КГ» (DMT GmbH & Co. KG))

При применении некоторых методов отвода газов, например при укладке дренажных труб в отработанное пространство через переключки, возведенные за забоем, в систему поступает излишний воздух, который в некоторых случаях является причиной разбавления метана до взрывоопасных концентраций. Следует избегать применения этого и других видов систем дегазации источников метановыделения, которые каптируют только ШМ низкой чистоты, поскольку они крайне неэффективны и способствуют накоплению взрывоопасных газовых смесей в выработанном пространстве длинных забоев при отработке пласта обратным ходом. Кроме того, эти методы дегазации также, как правило, являются неэффективными в плане недопущения образования слоевых скоплений метана и их перемещения.

Снижение эффективности дегазации приводит к резкому увеличению концентраций метана в атмосфере шахты (при том допущении, что общий объем вентиляционного воздуха, поступающего в шахту, остается неизменным). В этой связи требуется проведение непрерывного и тщательного мониторинга систем дегазации источников газовой выработки и управления ими.

5.5 Проектровочные требования к системам дегазации источников метановыделения

Мощность системы дегазации источников метановыделения следует проектировать с учетом максимальных прогнозируемых объемов каптируемых потоков газовой смеси (метана и воздуха) из всех имеющихся на шахте источников, включая действующие очистные забои, отработанные забои, из которых вывезено все оборудование, и заброшенные участки (закрытые или изолированные).

Прогнозируемый объем метанодобываемости может рассчитываться с применением метода прогнозирования метанообильности. Наибольший объем, который необходимо транспортировать по трубопроводной сети, определяется на основе наибольшего прогнозируемого объема каптирования газа с наименьшими концентрациями метана (наименьшей чистотой), выделение которого вероятно в штатных условиях проведения работ. Результирующие значения скорости потока должны быть в пределах запланированной мощности системы при работе всех насосов.

Качество газа является проектным параметром системы дегазации источников газовой выработки, а не собственной или природной характеристикой газа. Чистота газа при концентрации метана

в воздухе менее 30% должна рассматриваться в качестве неприемлемой по соображениям как безопасности, так и эффективности. Поддержание чистоты газа в подземных дренажных системах зависит от качества герметизации скважин, в том числе от надлежащей установки обсадных труб, систематического регулирования параметров отдельных скважин, а также давления всасывания на поверхностной газонасосной станции. Повышение давления всасывания с целью увеличения газового потока приведет к попаданию дополнительного воздуха и, следовательно, к снижению чистоты газа. Напротив, снижение давления при всасывании вызовет снижение общего дебита смеси, но повысит степень чистоты газа. Самое важное, чтобы давление всасывания и дебит газа на станции, установленной на поверхности, корректировались с учетом всех данных об обстановке в подземных выработках, получаемых в непрерывном режиме от лиц, ответственных за контроль проветривания длинных забоев.

В процессе планирования и сооружения системы дегазации источников метановыделения, а также управления ею необходимо обеспечивать учет нижеследующих факторов:

- безопасность доступа для буровых работ, мониторинга и регулирования;
- устойчивость грунта и наличие необходимых систем крепления для стабилизации скважин;
- выбор схем проведения газодренажных скважин с учетом различий между прогнозируемой эффективностью скважин для текущей дегазации, перекрывающих пород и подстилающих пород;
- дренающую способность, диаметры труб, характеристики откачивающего насоса и требования в отношении инфраструктуры;
- необходимость определения мест проведения, установки и пуска в эксплуатацию дегазационного трубопровода;
- необходимость установки водоулавливающего и водоотделяющего оборудования;
- эксплуатационный контроль и техническое обслуживание дегазационной системы и инфраструктуры;
- мониторинг скважин, трубопроводных сетей и насосной станции на поверхности;
- защиту газодренажных труб от разрушения в пространстве за забоем при отработке угля обратным ходом.

5.6 Подземные газодренажные трубопроводы

Для создания системы газодренажных трубопроводов следует применять соответствующие материалы. В настоящее время имеются газодренажные трубы из стали, армированных стекловолокном пластмасс (АСП) и полиэтилена (ПЭ).

Трубы из АСП являются относительно хрупкими и не должны использоваться на очистных участках, однако с учетом того, что по сравнению со стальными трубами с ними проще работать и их легче устанавливать, такие трубы предпочтительно использовать для проведения основных магистральных линий.

При ограниченности пространства и возможности физического повреждения трубопровода (например, в результате деформации конвейерного штрека или перемещения безрельсовых транспортных средств) следует применять стальные трубы, соединенные между собой запатентованными специальными гибкими соединителями с целью создания условий для передвижения.

В некоторых странах применяются полиэтиленовые трубы, но в подземных выработках следует избегать проведения высокотемпературной сварки соединений или сегментов таких труб. В одних странах органы по надзору за безопасностью разрешают такую практику на хорошо проветриваемых участках под контролем квалифицированных специалистов по технике безопасности на шахтах, в то время как в других странах такая практика считается недопустимой. Кроме того, для снижения риска статического разряда необходимо наличие проводящей среды.

Независимо от выбора материалов и места для прокладки подземные трубопроводные системы являются уязвимыми к повреждению даже в тех шахтах, в которых применяются самые жесткие правила. Основным потенциальным источником повреждений является горное оборудование, включая конвейеры для транспортировки породы, системы канатной откатки, локомотивы и перевозимый ими груз, а также горновзрывные работы. Кроме того, потенциальная опасность повреждения создается в связи с движением горных пород и обрушением кровли. Поэтому система дегазации должна проектироваться и эксплуатироваться, исходя из допущения о постоянной опасности нарушения целостности системы.

5.7 Мониторинг систем дегазации источников газовыделения

Для определения эффективности системы дегазации источников газовыделения следует применять системы прямого и дистанционного мониторинга. Качество мониторинга зависит от надежности датчиков, их размещения, технического обслуживания, калибровки и правильности применения.

Замеры необходимо проводить на отдельных скважинах, дегазационных трубопроводах и на поверхностной установке на откачке метана, на которой размещены насосы для откачки газа, отводимого из шахты. К числу параметров, по которым должен проводиться мониторинг, относятся дебит смеси, концентрация газа, избыточное давление и температура. Для облегчения нормализации данных о дебите газа также следует регистрировать барометрическое давление. В некоторых случаях газ, отводимый или выделяемый в горную выработку, может содержать другие компоненты, в частности влагу, соединения серы или более тяжелые газообразные углеводороды (например, этан или пропан), что может сказаться на точности замеров по метану. Следует тщательно подходить к проектированию программы мониторинга и измерений, с тем чтобы они позволяли вносить коррективы по любым дополнительным компонентам с целью обеспечения точности измерений.

С помощью мониторинга следует оценивать фактическую эффективность установленной системы по сравнению с первоначальной концепцией проекта.

Глава 6. Использование метана и борьба с его выбросами

Основные тезисы

Угольные шахты представляют собой один из крупнейших источников антропогенных выбросов метана, однако объем этих выбросов может быть существенно снижен с помощью внедрения передовой практики. ППП метана более чем в 20 раз больше ППП диоксида углерода – самого важного парникового газа в мире.

Большая часть метана, образующегося в шахтах, может быть использована или уничтожена предприятиями горнодобывающей промышленности. К возможным вариантам относятся утилизация газа дегазации, сжигание в факеле излишних объемов такого газа, а также утилизация МВС или сокращение его выбросов. При соответствующих технических и рыночных условиях конечной целью должно быть доведение выбросов метана до практически нулевого уровня.

В стремлении использовать шахтный метан в некоторых случаях допускалось пренебрежительное отношение к соблюдению необходимых норм безопасности и технических норм, что создавало новые опасности на угольных шахтах. При планировании использования метана следует избегать любого повышения подземного риска.

6.1 Метан угольных шахт и смягчение изменения климата

Сокращение выбросов метана представляет собой международный приоритет, в реализации которого угольные шахты могут играть важную роль. На метан приходится 14% глобальных антропогенных выбросов ПГ, а на угольные шахты – 6% выбросов метана, или приблизительно 400 млн. т CO₂-экв. в год (АООС, 2006а; МГЭИК, 2007 год; «Метан – на рынки», 2008 год). Объем выбросов шахтного метана является небольшим в сравнении с другими источниками выбросов ПГ, связанными с углем (например, диоксид углерода при сжигании угля), однако его нельзя назвать несущественным. Более важным является то, что технологии извлечения и использования шахтного метана уже коммерчески доступны и доказали свою эффективность, что делает утилизацию шахтного метана весьма привлекательным решением проблемы борьбы с выбросами ПГ в краткосрочном и среднесрочном плане для угольной промышленности.

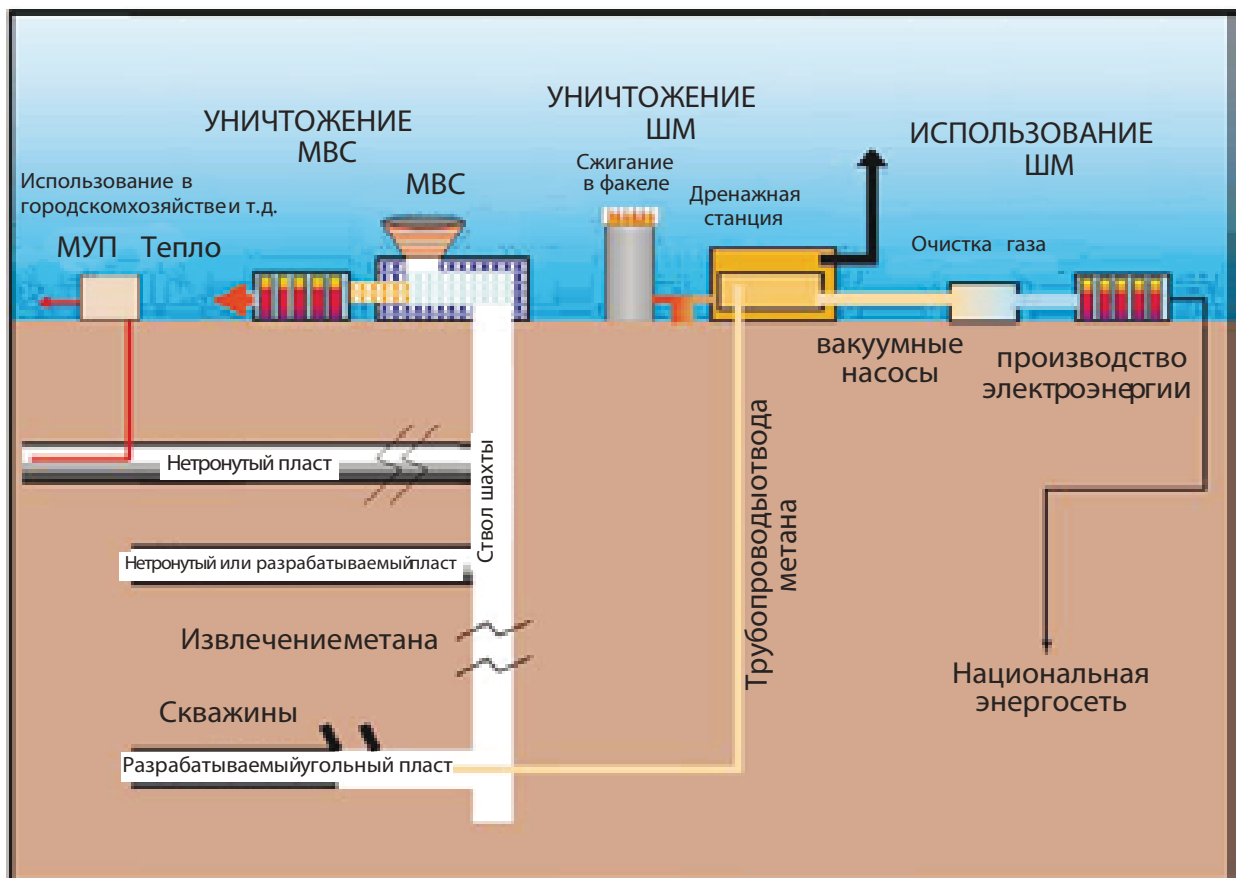
6.2 Шахтный метан как энергоресурс

Улавливание и использование метана могут существенно повысить добавленную стоимость горнодобывающих работ. Каптированный ШМ можно непосредственно использовать для целей энергоснабжения или генерирования энергии, обеспечивая реализацию ценностных качеств этого природного ресурса. В свою очередь это может приносить шахте экономические доходы благодаря продаже энергии или экономии на затратах. Кроме того, использование метана повышает стоимость самого предприятия благодаря генерированию капитала, который может быть реинвестирован в оборудование и мероприятия, обеспечивающие безопасность шахты.

Существующие технологии позволяют оптимизировать процесс рекуперации энергии и практически исключить существенную долю выбросов метана из подземных угольных выработок (рис. 6.1). Надлежащие стандарты и практика дегазации обеспечат получение пригодного к использованию газа стабильного качества и будут содействовать реализации возможностей его утилизации с наименьшими затратами. В результате колебаний в условиях ведения горных

работ поставки газа будут колебаться, и оборудование для утилизации газа может в некоторых случаях приходить в неисправность или останавливаться на техническое обслуживание. В таких случаях неиспользованный газ может сжигаться в факеле для сведения к минимуму объема его выбросов. Метан, который не может быть каптирован или утилизован, разбавляется в вентиляционном воздухе и выбрасывается в атмосферу в виде МВС. Технологии снижения выбросов метана вентиляционных струй (МВС) уже разрабатываются в течение многих лет. В целом технически вполне возможно окислять метан вентиляционных струй при концентрациях выше 0,20%, и в различных регионах мира в настоящее время уже осуществляется несколько коммерческих проектов.

Рис. 6.1 Оптимизация рекуперации энергии при горных работах с практически нулевыми выбросами метана



(Публикуется с разрешения «Синдикатум карбон капитал»)

При обращении с метаном в угольных шахтах самым приоритетным должен всегда оставаться вопрос соблюдения техники безопасности. В стремлении использовать ШМ в некоторых случаях допускалось пренебрежительное отношение к соблюдению необходимых норм безопасности и технических норм, что создавало новые опасности на угольных шахтах. При планировании использования метана следует избегать любого повышения подземного риска.

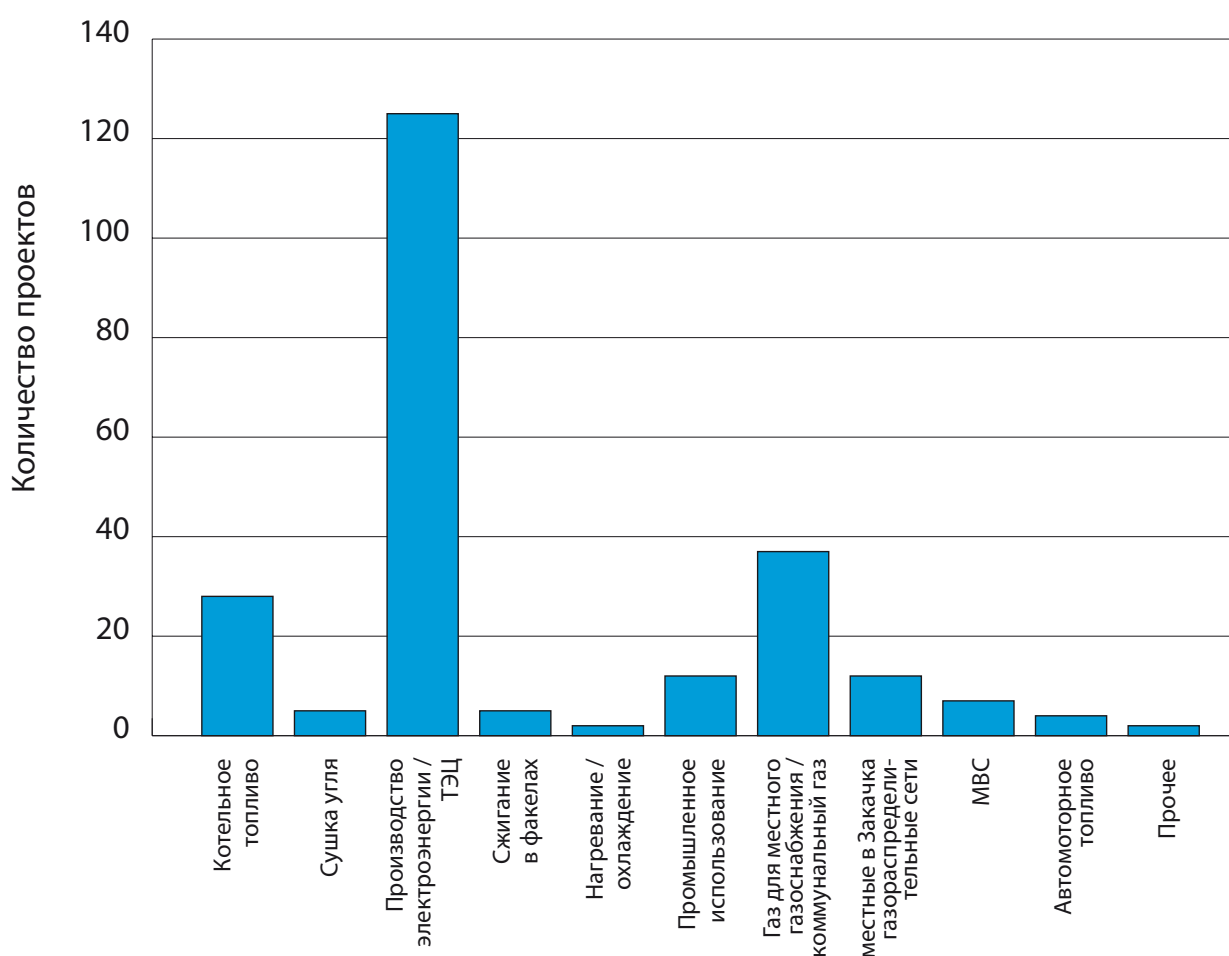
6.3 Варианты использования метана

Потенциальные варианты использования шахтного метана в диапазоне концентраций 30%-100% существуют в весьма различных прикладных областях, включая следующие: 1) использование в качестве топлива в металлургических печах, в промышленных печах и котлоагрегатах;

2) сжигание в двигателях внутреннего сгорания или турбинах для производства электроэнергии; 3) использование для закачки в трубопроводы природного газа; 4) применение в качестве сырья в отрасли по производству удобрений; или 5) сжигание в качестве моторного топлива (СПГ или КПГ). Для использования газа вне объекта, в особенности для гражданских потребителей, часто создаются мощности по хранению газа для обеспечения возможностей удовлетворения пикового спроса и создания буферных запасов на случай перерывов в каптировании газа. Но в целом операторы пытаются избежать высоких затрат, проблем землепользования и негативного визуального эффекта этих сооружений, а также рисков, связанных с хранением больших объемов смесей горючего газа на шахтных энергоблоках, использующих метан, многие из которых успешно обеспечивают прямое энергоснабжение действующей шахты.

«Партнерство «Метан - на рынки» (www.methanetomarkets.org) выявило более 240 осуществляемых, планируемых или уже выполненных проектов по ШМ/МВС на действующих или заброшенных шахтах во многих странах мира. На диаграмме 6.2 приводится распределение по видам проектов утилизации ШМ/МВС, в которых основное место отводится его использованию для производства электроэнергии, закачки в трубопроводы природного газа и использованию в качестве топлива для котлоагрегатов. В совокупности эти проекты обеспечивают 1 263 мегаватт (МВт) электрогенерирующих мощностей и 156 МВт мощностей по производству тепловой энергии, а также поставки на продажу 1 582 млн. м³ в год природного газа и ежегодное сокращение выбросов в размере 7 млн. т CO₂-экв. («Метан - на рынки», 2009 год).

Диаграмма 6.2 Распределение проектов использования шахтного метана в мире



(Источник: Партнерство: «Метан - на рынки», 2009 год)

К настоящему времени большинство проектов использования каптированного метана осуществлялось в Австралии, Германии, Китае, Польше, Российской Федерации, Соединенном Королевстве, Соединенных Штатах, Украине и Чешской Республике. С появлением рынков углерода в некоторых странах большее значение придается сокращению выбросов углерода и формированию за счет этого углеродных квот и созданию других экологических благ в дополнение к энергетическим продуктам, получаемым в результате осуществления таких проектов (см. Раздел 7). Это способствовало расширению проектной деятельности во многих странах, особенно в Китае, а также усилило рост числа таких видов проектов, которые зависят исключительно от углеродных квот как основного источника доходов (например, сжигание в факеле и борьба с выбросами МВС).

6.4 Борьба с выбросами метана и использование каптированного метана

Использование каптированного метана зависит от количества и качества получаемого газа. Исторически для этого требовался метан с концентрацией как минимум 30%. В последние годы на рынке стали появляться двигатели внутреннего сгорания, которые могут использовать шахтный газ с концентрациями метана менее 30%. В настоящем руководстве проводится разграничение между использованием каптированного метана средней/высокой концентрации и низкой концентрации (<30%), поскольку транспортировка газа с низкой концентрацией является крайне опасной и ее следует избегать.

6.4.1 Шахтный метан средних-высоких концентраций

Технологии, применяемые в данной категории, как правило, требуют достаточно стабильного притока метана и качества метана из систем дегазации при его минимальной концентрации 30% для обеспечения его безопасной транспортировки. Некоторые виды применения могут быть реализованы в промышленных масштабах лишь при наличии высококачественного каптированного метана, извлеченного до начала горных разработок. Какого-то одного «наилучшего» вида утилизации не существует. Каждый проект следует оценивать на основе присущих ему достоинств, определяемых качеством и количеством получаемого газа, а также условиями рынка, горных работ, эксплуатации и правовыми условиями функционирования каждой шахты. Например, в Германии одним из побудительных мотивов использования шахтного метана стали льготные тарифы на подачу энергии в сеть, которые стимулировали производство электроэнергии на основе шахтного метана. Многие шахты США имеют доступ к хорошо развитой системе транспортировки природного газа в условиях благоприятного ценообразования на природный газ, что привело к формированию ряда проектов по продаже газа через трубопроводные системы природного газа. В таблице 6.1 приводится сопоставление наиболее общераспространенных конечных видов использования дренированного газа дегазации с кратким указанием их преимуществ и недостатков. Для получения дополнительной информации пользователи могут обратиться к основным источникам информации, включая вебсайт Партнерства «Метан - на рынки» (www.methanetomarkets.org).

Таблица 6.1 Сопоставление видов использования ШМ

Вид использования	Применение	Преимущества	Недостатки
Производство электроэнергии	Газовые двигатели, обеспечивающие энергоснабжение шахты либо подачу электроэнергии в энергосеть	<ul style="list-style-type: none"> ● Апробированная технология ● Рекуперация отработанного тепла для отопления сооружений шахты, душевых комнат шахтеров, а также для подогрева и охлаждения воздуха шахтных стволов 	<ul style="list-style-type: none"> ● Прерываемый и переменный отпуск электроэнергии; обусловленная этим невозможность подачи электроэнергии в энергосеть ● Регулярное техническое обслуживание требует ответственного отношения оператора шахты ● Высокие капитальные издержки на начальной стадии реализации проекта
Высококачественный трубопроводный газ	Очищенный шахтный метан высокого качества	<ul style="list-style-type: none"> ● Эквивалент природного газа ● Прибыльно при высоких ценах на газ ● Хороший вариант там, где существует мощная трубопроводная инфраструктура 	<ul style="list-style-type: none"> ● Стандарты на чистоту трубопроводного газа являются высокими, а сам процесс очистки - дорогостоящим ● Реализация возможна только при высоком качестве предварительно дренированного или очищенного шахтного метана ● Требуется разумных условий доступа к трубопроводу
"Городской" или промышленный газ среднего качества	Метан для местных систем централизованного теплоснабжения жилых зон и для промышленного использования, например в промышленных печах, с концентрацией более 30%	<ul style="list-style-type: none"> ● Источник топлива по низким ценам ● Локализованные выгоды ● Может требовать лишь минимальной или не требовать вообще очистки газа 	<ul style="list-style-type: none"> ● Стоимость системы распределения и технического обслуживания ● Переменные качество и поставки ● Высокая стоимость содержания газохранилищ, необходимых для регулирования пикового спроса

Вид использования	Применение	Преимущества	Недостатки
Сырье для химической промышленности	Высококачественный газ для производства сажи, формальдегида, синтетических топлив и диметилового эфира (ДМЭ)	<ul style="list-style-type: none"> Использование для поставок высококачественного шахтного метана при сложной конъюнктуре 	<ul style="list-style-type: none"> Высокие издержки переработки Отсутствие возможностей использования МЧР при возможном высвобождении углерода
Район расположения шахты	Обогрев, приготовление пищи, котлоагрегаты, сушка угольной пыли, жилые дома шахтеров	<ul style="list-style-type: none"> Заменяет уголь Экологически чистый, дешевый энергоисточник 	<ul style="list-style-type: none"> Вариант может быть экономически менее выгодным при использовании на месте расположения шахты, чем за ее пределами
Транспортные средства	Высококачественный очищенный газ, извлекаемый при предварительной дегазации, и метан угольных пластов, которые заменяют КППГ и СПГ	<ul style="list-style-type: none"> Свободный доступ на рынок для поставок газа при сложной конъюнктуре Весьма высокие цены на моторное топливо 	<ul style="list-style-type: none"> Издержки на переработку, хранение, закачку и транспортировку газа Очень высокие стандарты на очистку

Примечание. Все проекты могут претендовать на получение углеродных квот, квот за использование возобновляемых источников энергии или льготных тарифов на подачу энергии в сеть в тех случаях, когда они удовлетворяют требуемым критериям.

6.4.2 Дренированный метан низких концентраций

Неприемлемые методы дегазации и неудовлетворительные стандарты их применения приводят к низкой эффективности отвода газа и чрезмерному попаданию в него воздуха с образованием потоков газа низкой концентрации, иногда находящейся в диапазоне взрывоопасности. В этом руководстве настоятельно рекомендуется не предпринимать попыток транспортировки или использования газа при концентрациях в диапазоне взрывоопасности в целях избежания взрывов с катастрофическими последствиями, которые поставят под угрозу жизнь шахтеров и структурную целостность шахтных сооружений и приведут к существенному увеличению расходов на горнодобывающие работы.

6.4.3 Технологии очистки разбавленного метана из систем дегазации

В некоторых случаях весьма целесообразно улучшить качество шахтного метана, в особенности метана из выработанных пространств. Прежде всего необходимо уделить основное внимание улучшению стандартов подземной дегазации метана во избежание высоких издержек, связанных с очисткой дегазации. Такой подход ведет к повышению качества газа и безопасности в шахте.

Вторым вариантом является повышение качества газа. Системы, обеспечивающие повышение качества газа, могут быть весьма дорогостоящими. До монтажа такой системы необходимо весьма

внимательно подойти к оценке различных вариантов, а также провести анализ «затраты-выгоды» с учетом целей проекта извлечения шахтного метана. Если повышение качества газа желательно, самым простым решением является смешение низкокачественного газа из выработанных пространств с высококачественным метаном, прошедшим через предварительную дегазацию, в целях получения оптимальной смеси. Другим вариантом является устранение из шахтного газа загрязнителей (кислород, азот, диоксид углерода и монооксид углерода, а также сероводород) с использованием одной из трех следующих основных технологий: 1) адсорбция со сдвигом давления (PSA); 2) адсорбция с применением молекулярного сита (MSA), один из вариантов PSA; и 3) криогенная сепарация.

- Адсорбция со сдвигом давления. В большинстве систем PSA для поглощения азота молекулярные углеродные сита с крупными ячейками вначале адсорбируют метан в ходе каждого цикла изменения давления. В ходе этого процесса происходит рециклизация богатого метаном газа, т.е. при каждом цикле изменения давления доля метана увеличивается. Технология PSA позволяет рекуперировать до 95% имеющегося метана и может функционировать постоянно при минимальном контроле на объекте.
- Адсорбция с помощью молекулярного сита. В технологии MSA используется процесс PSA с регулируемым молекулярным ситом. Она позволяет регулировать размер ячеек до 0,1 ангстрема. Эта технология становится нерентабельной при содержании инертного газа более 35%.
- Криогенная сепарация. В криогенном процессе, являющимся стандартным экономичным решением проблемы повышения качества газа на месторождениях природного газа, где он не удовлетворяет установленным требованиям, используется ряд теплообменников для сжижения потока газа, подаваемого под высоким давлением. Криогенные установки имеют самый высокий КПД рекуперации метана по сравнению с любыми другими технологиями очистки – приблизительно 98% – однако являются весьма дорогостоящими и поэтому могут подойти только для крупномасштабных проектов.

С дополнительной информацией о повышении качества дренированного шахтного метана можно ознакомиться в публикации АОС США “Upgrading Drained Coal Mine Methane to Pipeline Quality: A Report on the Commercial Status of System Suppliers” (EPA/430/R-08-004) по адресу <http://epa.gov/cmop/docs/red24.pdf>.

6.4.4 Сжигание в факеле

Сжигание шахтного метана в факеле является одним из вариантов сокращения выбросов, который может быть привлекательным в том случае, если утилизация шахтного метана не представляется возможной. В идеальном случае каждая установка по утилизации метана должна быть оборудована факельным механизмом на случай ее выхода из строя либо на тот случай, если установка временно отключается на время проведения планового технического обслуживания, а также на начальных этапах работы шахты, когда количество получаемого метана еще не достигло коммерчески жизнеспособных уровней. Такой подход позволяет свести к минимуму выбросы метана в атмосферу и тем самым обеспечивает охрану окружающей среды, когда утилизация метана невозможна.

Угольная промышленность и регулирующие органы горнодобывающей промышленности в некоторых странах выступали против факельного сжигания в районах нахождения шахт

на том основании, что пламя может вернуться через систему дегазации в шахту и привести к взрыву. Минимальные требования по безопасному сжиганию в факеле заключаются в том, чтобы конструкция была тщательно продумана и предусматривала наличие ограничителей распространения пламени и антидетонаторов, изолирующих устройств, датчиков и других устройств, обеспечивающих безопасность. Факельное сжигание шахтного метана успешно применялось в ряде стран, и в том числе в Австралии, Китае и Соединенном Королевстве. В принципе риск безопасности в этом случае не отличается от риска использования котлоагрегатов, сжигающих шахтный метан, которые широко применяются.

Факелы могут либо иметь форму столба пламени, либо находиться в замкнутом пространстве (в грунте). Стоимость сжигания в замкнутом пространстве может быть существенно выше, чем при открытом факельном сжигании, однако эффективность уничтожения метана значительно выше. В «идеальных условиях» эффективность практически одинаковая и может приближаться к 98–99%, однако эффективность сжигания в открытом факеле стремительно падает при появлении ветра или действии каких-либо других факторов (Университет Альберты, 2004 год). Исполнительный совет Механизма чистого развития (МЧР), к примеру, установил стандартные величины в размере 90% для факелов в замкнутом пространстве и 50% для открытого факельного сжигания (Исполнительный совет МЧР, 2009 год). Показатели фактической эффективности для закрытых пространств сжигания поддаются измерению и могут быть использованы. Наконец, сжигание в закрытых пространствах более эстетично, поскольку пламя невидимо, а загрязнители, образующиеся при сжигании, могут устраняться более эффективно.

6.5 Борьба с выбросами метана вентиляционных струй низкой концентрации или его утилизация

Подземные шахты являются – причем с большим опережением – самым крупным источником неорганизованных выбросов метана в угледобывающей промышленности, и, согласно оценкам, 70 или более процентов всех глобальных выбросов угледобывающей промышленности приходится на выделения метана из подземного вентиляционного воздуха. Метан вентиляционных струй обычно выбрасывается в атмосферу при концентрации менее 1%.

В последние годы были разработаны технологии, которые позволяют уничтожать метан с очень низкой концентрацией в вентиляционном воздухе шахт путем термического окисления. Основной целью этих технологий является снижение выбросов парниковых газов. Некоторые из этих технологий могут комбинироваться с системами рекуперации тепла, предназначенными для использования на шахтах или при централизованном теплоснабжении либо в паровых турбинах, генерирующих электроэнергию.

В настоящее время на рынках имеется две технологии окисления – регенеративные термальные окислители (RTO), известные также как термические поточные реверсивные реакторы (TFRR) и регенеративные каталитические окислители (RCO), известные также под названием каталитические поточные реверсивные реакторы (CFRR). В обеих технологиях используется процесс реверсии потока для поддержания базовой температуры реактора, и они различаются лишь методом использования катализатора в процессе окисления в RCO. До применения этих технологий к метану вентиляционных струй они находили широкое распространение в сфере контроля загрязнителей в коммерческой и производственной деятельности, в частности для окисления летучих органических соединений, ароматических и других загрязнителей воздуха.

В промышленных масштабах установки типа RTO для утилизации МВС были смонтированы и продемонстрированы в качестве средств смягчения воздействия метана на шахтах в Австралии, Китае и Соединенных Штатах. Эффективность рекуперации энергии МВС также была успешно продемонстрирована в Австралии с использованием МВС в качестве топочного воздуха в двигателях внутреннего сгорания, а также с использованием технологий RTO для преобразования энергии МВС в электроэнергию на энергоустановках, расположенных на выходе шахты. Применение технологии RCO для МВС было продемонстрировано в полном масштабе на экспериментальной установке.

Современные технологии использования МВС в целом не способны снижать концентрации метана ниже 0,2% без использования дополнительного топлива, однако в настоящее время проводятся исследования по снижению порога концентрации, поскольку концентрации МВС во многих шахтах мира составляют ниже 0,2%. При использовании МВС для производства электроэнергии, вероятно, потребуется оптимизация входных концентраций и повышение концентрации МВС на входе в устройство для окисления. Одним из применявшихся методов является обогащение (смешивание) газа метаном из других источников, например, газом из выработанных пространств или газом, полученным в результате предварительной дегазационной подготовки. При рассмотрении вопроса обогащения метана использование дренированного газа низкого качества (<30%) не допускается из-за взрывоопасности. Использование газа более высоких концентраций (>30%) может изменить экономические показатели производства электроэнергии на основе шахтного метана в сторону повышения издержек, и этот вопрос необходимо рассматривать при изучении экономической целесообразности проекта.

Необходимо обеспечить, чтобы системы RTO/RCO, а также инфраструктура, необходимая для транспортировки выходящего из шахты воздуха, который направляется в реакторы, не создавали дополнительного обратного давления на вентилятор шахты, обеспечивали по возможности минимальное потребление электроэнергии, а также включали анализаторы метана и другое оборудование для обеспечения безопасности (например, пламегасители, обводные системы).

К другим разрабатываемым технологиям использования МВС относятся каталитические монолитные реакторы (CMR), турбины для сжигания бедной топливной смеси, в которых, согласно сообщениям, сжигается МВС при концентрациях 1,5% и ниже, и роторные печи, в которых МВС смешивается с мелкими отходами угледобычи (Su, 2006).

В настоящее время промышленная применимость технологий, использующих МВС в качестве первичного источника топлива, зависит от доходов, обеспечиваемых углеродными квотами. Проекты, связанные с использованием МВС, согласно сообщениям, обеспечивают прибыль при ценах на выбросы углерода от 5 до 10 долл. США/тCO₂-экв.

6.6 Мониторинг метана

Эффективность и безопасность использования метана могут быть существенно повышены, если может быть обеспечено точное измерение фактической концентрации метана в извлекаемом газе.

Более безопасная транспортировка дренированного газа к установкам для его преобразования в энергию или для сжигания в факеле может обеспечиваться лишь при наличии точных данных о действительном содержании метана в газе. Вместе с тем выгоды не ограничиваются

безопасностью: к ним также относятся расширение возможностей сбыта метана или продуктов, производимых благодаря утилизации метана, и результаты борьбы с его выбросами. Например, газовые двигатели имеют узкую сферу использования различных концентраций метана, а гарантированный постоянный поток газа повысит эффективность двигателей, снизив издержки по эксплуатации и текущему ремонту. Метан, поставляемый в газопроводы, должен удовлетворять весьма жестким требованиям или же вообще не будет использоваться оператором трубопровода (дело может дойти до штрафов).

Для проектов использования метана вентиляционных струй весьма важно проводить точные измерения потоков вентиляционного воздуха для оценки колебаний концентраций метана в вентиляционных струях, а также для оценки общих потоков метана вентиляционных струй до начала разработки проекта. Уже при эксплуатации тщательный режим мониторинга обеспечит получение оперативных данных, однако программа мониторинга особенно важна для точного измерения размера сокращения выбросов. Это может потребовать применения режима проверки, сильно отличающегося от обычно применяемого при горных работах, при котором мониторинг метана осуществляется в целях обеспечения безопасности, вентиляционные потоки измеряются для обеспечения оптимального проветривания. Например, многие протоколы по парниковым газам требуют постоянного мониторинга выбросов в потоках метана вентиляционного воздуха и постоянного или регулярного отбора проб с помощью анализаторов метана.

Глава 7. Издержки и экономические вопросы

Основное содержание

Имеются веские деловые основания для установки и эксплуатации высокоэффективных систем дегазации и утилизации копированного газа. Существует также широкий круг потенциальных видов конечного использования шахтного метана, которые прибыльно реализуются в промышленных масштабах во всем мире. Высоких издержек, связанных с очисткой газа дегазации в целях оптимизации концентрации метана для какого-либо отдельного вида конечного использования, часто можно избежать путем совершенствования практики подземной дегазации метана.

7.1 Обоснование целесообразности дегазации метана

На современных угольных шахтах высокий уровень добычи угля необходим для обеспечения приемлемой финансовой доходности инвестиций. Растущие темпы добычи угля зачастую приводят к более высоким объемам выбросов метана. Устойчивая добыча угля не должна ограничиваться неспособностью предотвратить в шахтах появление таких концентраций газа, превышающих предельные нормы безопасности, и ставиться под угрозу из-за неконтролируемых происшествий, связанных с присутствием газа. Нарушение норм газовой безопасности может привести к штрафам или к взрывам, подвергающим опасности жизнь людей. Любые потери человеческих жизней недопустимы, и их надо всеми силами избегать. Помимо прямых последствий для родственников шахтеров, любой смертельный случай наносит компании и ее персоналу ущерб, далеко выходящий за рамки денежных вопросов, связанных с уголовной ответственностью, выплатой компенсаций, остановкой производства и уплатой возможных штрафов по контрактам. Издержки одного единственного несчастного случая со смертельным исходом для крупного горнодобывающего предприятия могут находиться в диапазоне от 2 до 8 млн. долл. США вследствие недобычи, юридических издержек, выплаты компенсаций и штрафных санкций. В некоторых странах серьезный несчастный случай на одной шахте может привести к приостановке угледобычи в масштабах района на период в несколько недель до завершения инспекций, проводимых соответствующими органами и принятия мер реагирования для предотвращения повторения несчастных случаев.

Расходы по дегазации источников метановыделения неотъемлемой частью входят в общие издержки угледобычи и эксплуатации предприятия. Поэтому существуют веские основания для вложения инвестиций в эффективное извлечение газа с целью обеспечения того, чтобы на забойных участках выполнялись задачи по добыче угля с соблюдением существующих норм и в условиях безопасности. Финансовый эффект можно проиллюстрировать. Один высокопроизводительный забой с современным оборудованием, где ведется отработка пласта умеренной мощности (например, около 3 м), может в хороших геологических условиях выдать на-гора от 2 до 4 млн. т угля в год. Если цена на уголь составляет 40 долл. США/т, то любые ограничения, связанные с выбросами газов, которые отнимают у предприятия 10% времени из-за замедления или остановок добычи, приведут к потере доходов угольной компании в размере от 8 до 16 млн. долл. США в год.

После установки системы дегазации осуществление инвестиций в дополнительную откачку газа дает возможность экономии средств или получения дополнительных доходов за счет

возможности сокращения расходов на электроэнергию для вентиляции шахты или повышения потенциала добычи угля.

7.2 Сравнительные издержки дегазации источников метановыделения

Издержки на систему отвода метана зависят от ряда факторов (например, оборудование, обслуживание, рабочая сила, доступ с поверхности, приобретение земель) и в разных странах являются весьма различными. К этим различиям в издержках добавляются различия в горно-геологических условиях в отдельных странах, поэтому обобщение неизбежно ведет к формированию весьма широких диапазонов оценки. В таблице 7.1 представлено обобщенное сопоставление относительных издержек от применения методов дегазации в расчете на 1 т добытого угля (в ценах 2009 года). Основой для сопоставления является дегазация условной газоносной панели длинного забоя протяженностью 2 км, шириной 250 м и глубиной залегания 600 м при мощности пласта 3 м с базовыми темпами добычи в диапазоне 2,0 млн. т/год – 0,5 млн. т/год; при сопоставлении использовались данные, полученные из Китая и Австралии.

Таблица 7.1 Относительные издержки на тонну добытого угля в 2009 году в долл. США при применении различных методов дегазации

Метод	Базовая технология	Основные статьи расходов	Основные переменные расходов	Оценка издержек, долл. США/т
Предварительная подземная дегазация	Бурение направленных протяженных скважин в пласте вдоль длины панели	Специалисты-бурильщики и оборудование	Диаметр и протяженность скважины	0,4-3,2
	Роторное бурение скважин сквозь панель	Роторная буровая установка и оборудование	Диаметр и протяженность скважины	0,6-4,0
Предварительная дегазация с поверхности	Бурение вертикальной скважины с применением обычных методов интенсификации гидроразрыва пласта	Подрядное бурение, услуги по обсадке и гидроразрыву пласта; герметизация при ликвидации скважин	Глубина скважины и число пластов для бурения	1,2-9,6
	Бурение с поверхности через пласт скважины с многочисленными боковыми ответвлениями	Подрядное бурение, услуги по обсадке и бурению специализированных наклонно-направленных скважин; герметизация при ликвидации скважин	Глубина скважины и общая протяженность пробуренных в пласте боковых ответвлений; при возникновении трудностей при бурении издержки могут резко возрасти	1,0-8,0

Метод	Базовая технология	Основные статьи расходов	Основные переменные расходов	Оценка издержек, долл. США/т
Текущая подземная дегазация	Поперечные скважины (из существующих штреков)	Установки роторного бурения и оборудование	Диаметр и протяженность скважины	0,1-1,6
	Дренажные галереи	Дополнительная проходка подготовительных выработок	Расстояние до разработанного пласта сверху/снизу и размер подготовительных выработок	0,3-11,2
	Сверху (снизу) прилегающие скважины или направленные горизонтальные скважины	Специалисты-бурильщики и оборудование для направленного пневмоударного бурения	Трудности с бурением по радиусному изгибу	0,5-4,0
Текущая дегазация с поверхности	Скважины в выработанные пространства	Подрядное бурение и обсадка; герметизация при ликвидации скважин	Глубина	1,4-15,2

Примечание. Данные, приведенные выше, являются весьма обобщенными и не учитывают изменений в издержках от применения «поверхностных» методов с увеличением глубины.

Отобранные методы дегазации должны соответствовать горно-геологическим условиям. Например, в подземных выработках, пройденных по вышерасположенным породам вкрест простираения разрабатываемого пласта с несколькими кровельными пластами, не обеспечивается эффективный контроль за газовой обстановкой. Издержки при методах работы с поверхности растут с глубиной разработки, так что по мере увеличения глубины подземные методы становятся все более привлекательными с финансовой точки зрения.

В очень газоносных шахтах может потребоваться применение комбинации методов, прежде чем можно будет безопасным образом достичь высоких темпов угледобычи. Расходы на системы дегазации растут с повышением геологической сложности. Система должна иметь достаточный запас прочности, чтобы отказ в работе одной из скважин или закрытие одной дренажной галереи не ставили под угрозу безопасность ведения подземных горных работ. Типичные эксплуатационные расходы на извлечение шахтного метана из подземных выработок в пересчете на чистый метан оцениваются в 0,06 долл. США/м³-0,24 долл. США/м³.

7.3 Экономические аспекты утилизации метана

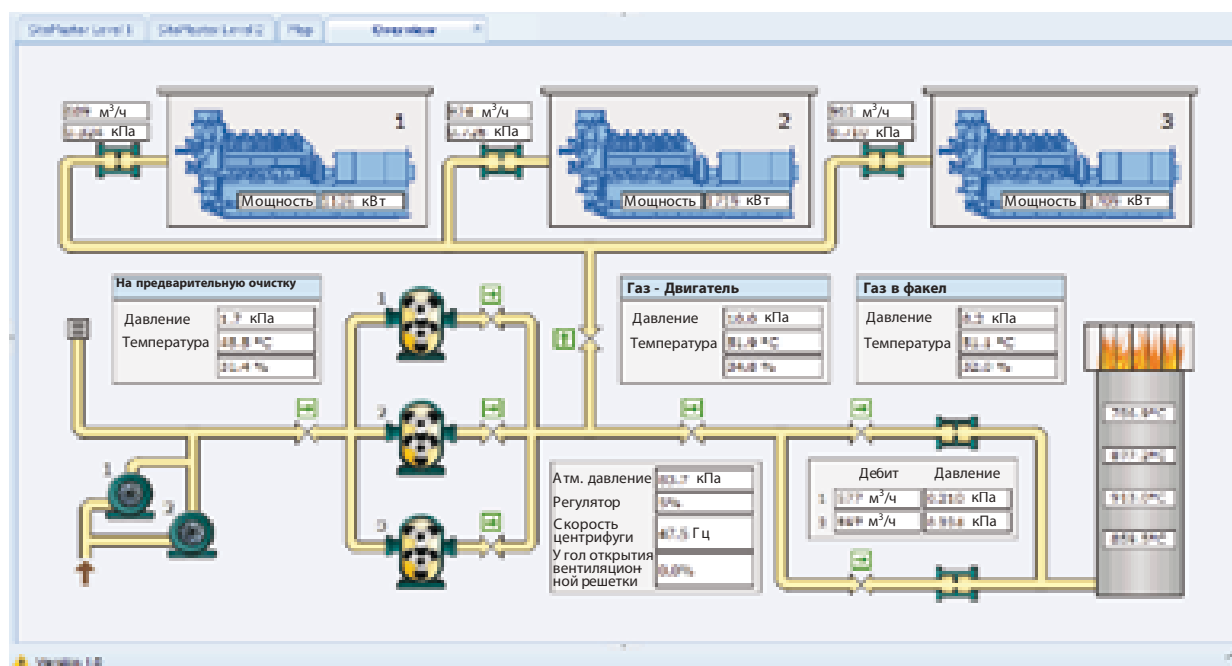
Утилизация газа дегазации для производства электроэнергии требует дополнительных инвестиций, однако благодаря ей формируется поток доходов или снижаются затраты на электроэнергию, подаваемую в шахту. Финансовыми вопросами, которые необходимо рассмотреть при инвестировании средств в проекты по производству электроэнергии,

являются изменчивость объема поставок и качества газа, вмененные издержки и источник финансирования.

Затраты на капиталовложения в производство одного мегаватта электрической мощности (МВтэ) для когенерационной энергоустановки, использующей шахтный метан (все оборудование, включая газоподготовку), составляют приблизительно 1,0-1,5 млн. долл. США для высокоэффективных генераторов, удовлетворяющих международным стандартам (2008 год). Затраты на эксплуатацию и техническое обслуживание (включены все статьи) из расчета на единицу объема произведенной электроэнергии за весь жизненный цикл такой установки составляют в среднем 0,02-0,025 долл. США/киловатт-час (кВтхч) (2008 год).

Финансовые показатели энергоустановки, использующей шахтный метан, зависят от объема имеющегося газа, надежности оборудования (и, следовательно, времени его загрузки), согласия пользователей или операторов национальной сети на потребление такой энергии и получаемых шахтой доходов от ее производства или экономии от использования энергии, полученной благодаря шахтному метану. Поскольку дегазация осуществляется в целях обеспечения безопасности работ и добычи угля в любом случае, предельные издержки дегазации из анализа исключаются. В некоторых случаях могут возникнуть дополнительные расходы, связанные с усилением дебита газа и повышением его качества. Для достижения успеха весьма важным является сочетание хорошей проработки проекта, использования апробированного оборудования, надежной схемы эксплуатации и технического обслуживания и мониторинга показателей результативности в режиме реального времени. На диаграмме 7.1 приводится блок-схема по стандартному программному обеспечению мониторинга работ.

Диаграмма 7.1 Производство электроэнергии на основе шахтного метана и борьба с его выбросами: мониторинг результативности в режиме реального времени с показом диаграммы и параметров показателей результативности использования шахтного метана в трех газовых двигателях и его сжигания в одной факельной установке

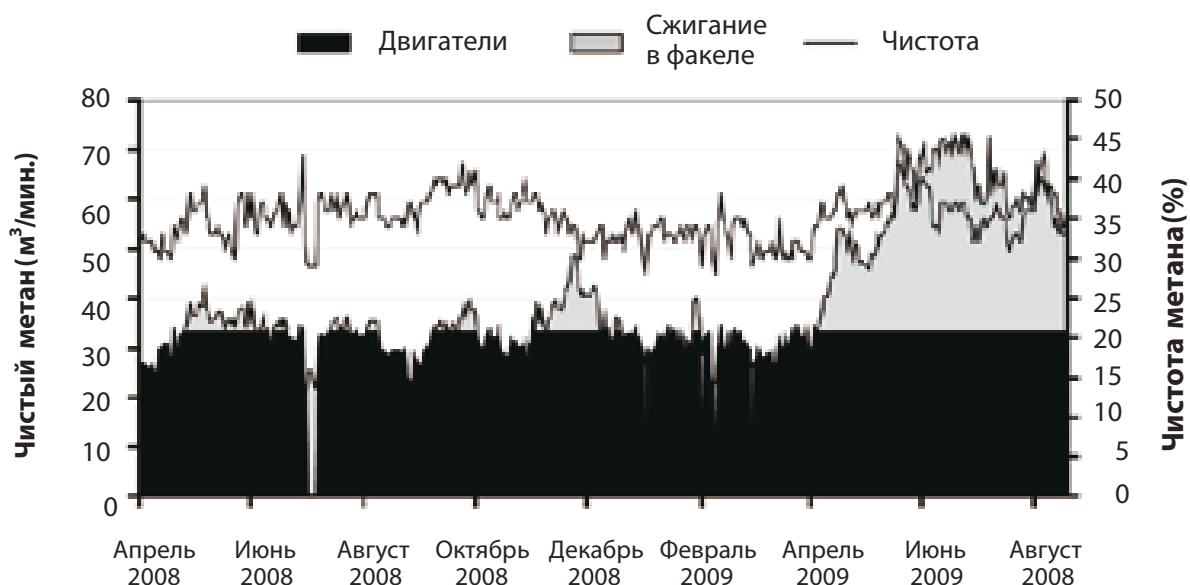


(Публикуется с разрешения «Формак электроник энд синдикатум карбон капитал»)

При определении габаритов энергоблока, работающего на шахтном метане, необходимо принимать во внимание переменность газового потока и чистоты газа, которая связана с обычной горнодобывающей деятельностью, а при необходимости нормы дегазации должны повышаться для обеспечения того, чтобы газ был безопасным, а его качество удовлетворяло нормам утилизации. Можно с помощью ретроспективных данных определить потенциальный объем генерирующей мощности при заранее определенном объеме имеющегося газа (например, 85%) для сжигания в факеле в случае его неиспользования (диаграмма 7.2). Как показывают примеры многих слишком крупных, а следовательно, недостаточно эффективных энергоустановок, использующих шахтный метан, эта мера весьма важна, поскольку экономические аспекты эксплуатации энергоустановок на шахтном метане требуют их максимальной эксплуатационной загрузки по времени сверх минимального срока, равного 7 500 часов в год. Поэтому следует производить расчет мощности газового двигателя, исходя не из пикового объема подачи газа, а из базового безопасного дебита с учетом объема имеющегося газа. Газ, характеризующийся пиковыми количественными и качественными (в сторону понижения) показателями, в идеальном случае должен ликвидироваться сжиганием в факеле с целью максимизации экологических выгод.

По мере повышения эффективности улавливания газа можно предусмотреть установку дополнительных двигателей; при этом дебит чистого метана в размере 4 м³/мин. обеспечит мощность приблизительно 1 МВтэ.

Диаграмма 7.2 Колебания дебита метана и чистоты дренируемого ШМ, показывающие оптимальную мощность и характеризующие использование двигателей и факельного сжигания



(Публикуется с разрешения «Синдикатум карбон кэпитал»)

Помимо варианта использования шахтного метана для производства электроэнергии, существует широкий круг других возможностей, как, например, его использование в качестве городского газа, топлива котлоагрегатов при производстве тепла и как сырья для химической промышленности, как об этом уже говорилось в главе 6. В этих случаях экономические аспекты его использования во многом зависят от конкретных обстоятельств, и формулирование более обобщенных суждений на этот счет, как и в случае с производством электроэнергии, является делом сложным.

Поскольку бóльшая часть выбросов метана из угольных шахт происходит в форме метанавентиляционных струй (МВС), необходимо упомянуть некоторые принципы использования такого вида метана. При окислении МВС выделяется тепло, которое может использоваться для производства пара и электроэнергии. Блоки окисления МВС мощностью 35 нормальных кубических метров в секунду (нм³/с) вентиляционного воздуха, содержащего 0,5% метана, могут произвести приблизительно 1,3 МВтэ электроэнергии. Чтобы достичь постоянной выходной мощности, необходим источник дренированного шахтного метана для стабилизации концентрации МВС, причем для оптимизации показателей требуется относительно высокая концентрация МВС. Капитальные издержки на единицу производимой мощности более чем в два раза превышают аналогичные показатели при обычном производстве электроэнергии на основе шахтного метана, и в данном случае «внесенные экологические издержки» в связи с борьбой с выбросами метана в 4-5 раз выше, чем они могли бы быть при схожем уровне капиталовложений. При нынешних ценах на энергоносители и в отсутствие высоких тарифов на подачу в сеть экологически чистой энергии производство электроэнергии на основе МВС не является коммерчески возможным без обеспечения долгосрочного потока углеродных доходов. Кроме того, повышение эффективности дегазации источников газовой выделенки может привести к увеличению объема производства электроэнергии из шахтного метана при значительно более низких издержках, что таким образом будет содействовать сокращению выбросов МВС.

Экономические аспекты любого использования шахтного метана или метана вентиляционных струй для производства электроэнергии в большой степени зависят от цен на электроэнергию, получающихся при реализации конкретного проекта, и цены единиц сокращения выбросов или других стимулов.

7.4 Углеродное финансирование и другие стимулы

В некоторых странах дополнительным вариантом финансирования, дополняющим обычное проектное финансирование через механизмы банковских ссуд или частных инвестиций в акционерный капитал, является получение квот за сокращение выбросов. Существуют различные режимы предоставления квот в связи с выбросами, как-то: гибкая система МЧМ и механизм совместного осуществления (СО) в соответствии с Киотским протоколом, а также добровольные режимы, которые лежат в основе такого дополнительного варианта финансирования.

Другими стимулами, содействующими финансированию схем утилизации метана, являются субсидии, налоговые кредиты, программы «зеленых инвестиций» (GIS) и льготные тарифы на подачу электроэнергии в сеть (например, в Германии и Чешской Республике). При отсутствии таких стимулов предпочтительным вариантом инициирования процесса реализации схем утилизации шахтного метана и метана вентиляционных струй становится углеродное финансирование.

В основе возможного мобилизационного эффекта углеродного финансирования лежит то, что одна единица сокращения выбросов эквивалентна одной тонне диоксида углерода. Одна тонна диоксида углерода эквивалентна по объему 66,4 м³ метана. При расчетах необходимо принимать во внимание выигрыш в результате уничтожения метана, который как ПГ по силе воздействия выбросов в 20 раз превышает диоксид углерода, а также учитывать, что при сжигании одной тонны метана высвобождается 2,75 т CO₂. Согласно эмпирическим данным, объект с установленной электрогенерирующей мощностью 1 МВт, на котором сжигается ШМ и который использует выделения чистого метана при дебите 250 м³/час, может обеспечить ежегодное

сокращение выбросов CO₂ в размере 30 000 тонн. При соответствующем количестве часов работы и надлежащей эффективности системы этот показатель в семь раз превышает показатель сокращения выбросов, который может быть обеспечен ветряной турбиной мощностью 1 МВт.

Прежде чем сделать выбор в пользу углеродного финансирования с его мобилизационным эффектом и/или другие стимулы, необходимо рассмотреть такие вопросы, как механизм начисления квот, производственные и транзакционные издержки, время, сложность, местные правила и неопределенность цены квот за сокращение выбросов, причем некоторые из этих вопросов стоит рассмотреть более подробно с использованием в качестве примеров МЧР и СО.

МЧР, осуществляемый в рамках Киотского протокола, дает возможность развитым странам развивать практику ССВ и претендовать на их получение благодаря применению утвержденных методологий в развивающихся странах (страны, не входящие в приложение 1). Механизм СО способствует осуществлению проектов в странах, не охваченных МЧР, и/или странах, для которых установлены предельные значения выбросов согласно Киотскому протоколу. Существуют различные добровольные стандарты для аттестации сокращений выбросов. Проекты по ПСВ не подлежат строгим и времязатратным процедурам утверждения или проверки, которым подчиняются проекты МЧР и СО согласно Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИКООН), однако рынок проектов ПСВ меньше, а цены на нем - существенно ниже.

Для квалификации проекта в качестве подпадающего под МЧР или СО требуется убедительное доказательство его «дополнительности». Дополнительным является проект, который обеспечивает сокращение антропогенных выбросов ПГ ниже уровня выбросов, которые произошли бы в отсутствие этого проекта, например по сравнению с вариантом, предусматривающим применение обычной практики. Инвестиционные затраты на когенерационные блоки, использующие шахтный метан, - с точки зрения потенциала сокращения выбросов в течение 10 лет эксплуатации - составляют приблизительно 3-5 долл. США на тонну недопущенных выбросов в эквиваленте CO₂. Генерирование ССВ/ЕСВ предполагает несение расходов по подготовке, утверждению, проверке и обслуживанию проектов в рамках МЧР/СО наряду с расходами на оборудование по утилизации/уничтожению метана и на его техническое обслуживание. В случае учета всех расходов, включая стоимость капитала, финансовый риск и услуги специалистов по проектам МЧМ/СО, общая сумма может составить 10 долл. США/ССВ или ЕСВ.

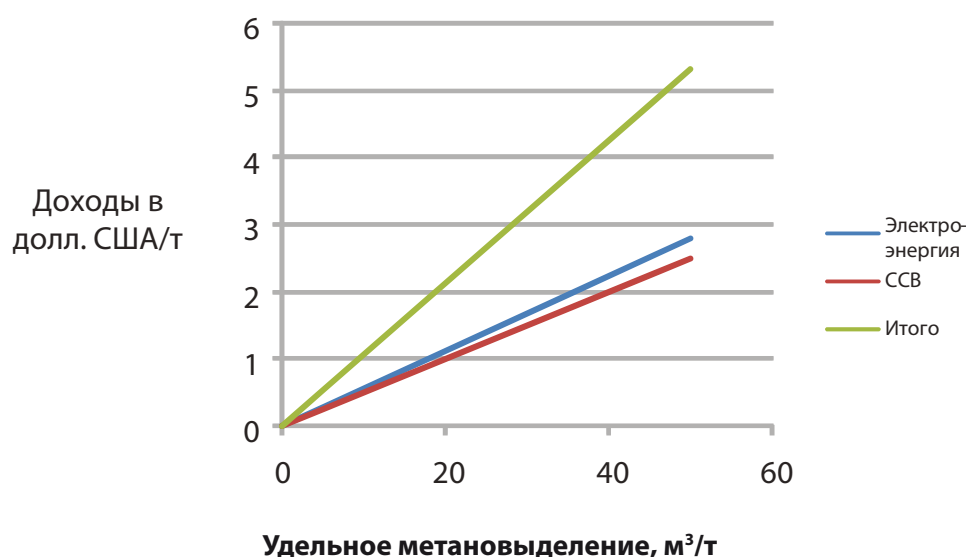
Например, шахта со средним уровнем газообильности (удельная эмиссия 10 м³/т) получает в валовом выражении приблизительно 0,042 ССВ на тонну добытого угля, в то время как весьма газообильная шахта (удельная эмиссия 40 м³/т) - 0,168 ССВ на тонну угля¹⁰. При этих расчетах допускается, что извлекается 40% общего объема газа, из которого 80% используется. Такой уровень показателей можно считать минимальным для проектов, в которых применяются самые передовые методы и стандарты и при осуществлении которых не возникает крупных геологических проблем или проблем горной добычи. Фактическая стоимость ССВ или ЕСВ зависит от конъюнктуры рынка и времени продажи.

Инвестиции в утилизацию на шахте со средней газообильностью (10 м³/т), добывающей 4 млн. т угля в год, при цене в 12 долл. США за тонну эквивалента CO₂ в соглашении о покупке единиц сокращения выбросов (СПЕСВ) (40% газа улавливается и 80% может использоваться) могут

¹⁰ Имеется в виду только уничтожение метана, однако могут быть также получены выгоды от топливозамещения в результате переноса угольных энергоблоков.

приносить благодаря ССВ или ЕСВ приблизительно 2 млн. долл. США в год плюс доход или экономия от производства электроэнергии или продажи газа¹¹. Объем каптированного метана при условии стабильной подачи газа будет достаточным для производства 5 МВт электроэнергии (2,5 млн. м³ в год чистого метана обеспечивает производство приблизительно 1 МВт_э), и доход от производства электроэнергии при приблизительно цене 0,05 долл. США/кВт.ч и времени эксплуатации 7 000 часов в год составит 1,75 млн. долл. США. Таким образом, общий объем дохода от сокращения выбросов и производства электроэнергии составит 3,75 млн. долл. США. В этом примере углеродные квоты практически удваивают доходы от реализации проекта, как это иллюстрируется на диаграмме 7.3, где в долл. США на тонну добытого угля приводятся смоделированные доходы от производства электроэнергии и продажи ССВ как функция удельного метановыделения на шахте, выраженного в м³ (чистый газ) на тонну угля.

Диаграмма 7.3 Двойные доходы от производства электроэнергии на основе шахтного метана, при каптаже 40% газа и использовании 80% каптированного газа



Существенно более высокие прибыли могут быть потенциально получены на шахтах с более высокой концентрацией газа. Весьма загазованная шахта (удельная эмиссия – 40 м³/т), добывающая 4 млн. т угля в год, может обеспечить себе доход от сокращения выбросов в размере 8 млн. долл. США, а также способна произвести электроэнергию в объеме 20 МВт_э, что может принести доход в размере 9 млн. долл. США. Таким образом, общий валовой доход может составить 17 млн. долл. США¹².

Получение финансовых прибылей от реализации проектов по сокращению выбросов возможно лишь в том случае, если сокращение выбросов может быть доказано путем обеспечения точных измерений дебита и чистоты метана. Проекты дегазации источников выделения метана и его утилизации внимательно изучаются и, наверное, будут изучаться еще внимательнее в целях предоставления надежных доказательств сокращения выбросов. Сложность мониторинга и измерений часто недооценивается, и это может привести к появлению рисков для безопасности и потере доходов.

¹¹ В учет не принимается налогообложение ССВ.

¹² И в этом случае не учитывается налогообложение ССВ.

7.5 Вмененные издержки утилизации

Средние капитальные затраты на установку по утилизации метана зависят от масштаба и вида выбранного процесса утилизации. В качестве первой оценки капитальных затрат на утилизацию метана можно обоснованно допустить цифру в 1 долл. США на тонну мощности по добыче угля. Для сравнения, предельные затраты на расширение производственных мощностей в Китае, к примеру, оцениваются приблизительно в 12 долл. США/т (в тех случаях, когда их делают возможными наличие лицензий, официальных разрешений, ресурсов, геологические условия, условия горной добычи, подземная и поверхностная инфраструктура и конъюнктура рынка). Следовательно, инвестиции в размере 1 долл. США/т угледобывающих мощностей в горные работы вместо утилизации газа приведут к незначительному увеличению мощностей по добыче угля в размере 1/12, или 0,083 тонны. Так, например, мощности шахты, добывающей 4 млн. т угля в год, будут повышены до $1,083 \times 4 = 4,332$ млн. т в год за счет использования финансовых средств, необходимых для утилизации газа с целью увеличения угледобывающих мощностей. При цене угля 30 долл. США/т дополнительные ежегодные доходы составят приблизительно 10 млн. долл. США. Вмененные издержки в размере 2,50 долл. США/т являются высокими, поэтому решения об инвестициях на большинстве шахт, вероятно, будут способствовать расширению мощностей по добыче угля, а не производству электроэнергии на основе шахтного метана. В тех случаях, когда, к примеру, имеются дополнительные доходы в виде единиц сокращения выбросов, производство электроэнергии начинает восприниматься как экономически жизнеспособная альтернатива для угольных шахт при удельном выделении свыше 20 мЗ/т (см. выше диаграмма 7.3).

Следствием данного аргумента является то, что производство электроэнергии на основе шахтного метана носит лишь дополнительный характер. По мере роста цен на уголь производство электроэнергии на основе шахтного метана становится все более непривлекательным.

Картина меняется при наличии инвестиций третьих сторон, вкладывающих средства в утилизацию метана при поддержке углеродного финансирования (весьма привлекательное предложение для шахт), поскольку вопрос о вмененных издержках снимается и в прошлом не использовавшийся метан создает добавленную стоимость.

7.6 Природоохранные затраты

В настоящее время большинство угледобывающих компаний относят дегазацию на затраты по горным работам, в то время как расходы на утилизацию газа или на смягчение влияния выбросов на окружающую среду классифицируются как дополнительные инвестиционные расходы. Вместе с тем, поскольку смягчение изменения климата и получение экологически чистой энергии становятся неотъемлемой частью стоимостной цепочки, операторам шахт, наверное, необходимо принять более целостный подход к этим факторам. Владельцам шахт в будущем, может быть, потребуется повысить эффективность дегазации сверх потребностей безопасности на шахтах для достижения целей охраны окружающей среды.

При сценарии «обычного ведения дел» оценки по Китаю говорят о том, что издержки интернализации воздействия выбросов метана при горных работах составят приблизительно 12 долл. США на тонну добытого угля (ESMAP, 2007 год). Ни одна из стран еще не предпринимала попыток навязать операторам издержки такого масштаба. Но приведенное число в долларах указывает на потенциальные издержки угольной шахты, которой не удастся свести к минимуму выбросы в окружающую среду. Россия, например, уже ввела штрафы за выбросы метана из угольных шахт, однако их размеры значительно ниже вышеуказанного числа.

Глава 8. Выводы и резюме для директивных органов

Со времен промышленной революции мир полагался на уголь, объем добычи которого составлял солидную долю производства первичных энергоресурсов. Основные страны с формирующимися рынками, промышленно развитые страны и страны с переходной экономикой, а следовательно, и вся мировая экономика будут продолжать использовать энергоресурсы угля и зависеть от них в обозримом будущем. В настоящее время на поставки угля приходится 25% общемирового объема первичной энергии, 40% производства электроэнергии в мире и почти 70% мирового производства стали и алюминия. По прогнозам Международного энергетического агентства (МЭА), в странах с формирующимися рынками спрос на энергию к 2030 году вырастет на 93%, что вызвано в основном ростом спроса в Китае и Индии, и при этом уголь, как ожидается, останется основным топливом для удовлетворения этого растущего спроса (МЭА, 2009 год).

Добыча угля и эффективное управление метановыделением будут становиться все более сложными задачами, поскольку запасы угля неглубокого залегания исчерпаны и сейчас ведется разработка более газоносных пластов на больших глубинах. В то же время общества во все большей степени требуют и ожидают от отрасли более результативных мер по охране окружающей среды и обеспечения более безопасных условий труда.

В идеальном случае современные угледобывающие компании признают преимущества, связанные с принятием целостной системы управления газовыделением, в рамках которой обеспечивается конструктивная взаимоувязка контроля за газовыделением в подземных выработках, утилизации метана и мер по сокращению вредных выбросов. Подобным же образом, если говорить с точки зрения политики и нормативного регулирования, многочисленные выгоды принесет комплексный подход к утилизации шахтного метана. Принятие и обеспечение соблюдения правил безопасности извлечения, отвода и утилизации газа способствуют внедрению более эффективных норм дегазации источников газовыделения, а также увеличению производства экологически «чистой» энергии и более значительному сокращению выбросов шахтного метана.

Опыт промышленно развитых стран показывает, что инвестиции в надлежащую практику дегазации позволяют сократить в шахтах простои, обусловленные их газообильностью, обеспечить более безопасные условия ведения горных работ, а также создать возможности для утилизации бóльшего объема газа и сократить выбросы метана из шахт. Данное руководство следует рассматривать как отправную точку для разработки стратегий и программ поддержки необходимых усовершенствований норм безопасности и практики в целях повышения безопасности работ в шахтах при существенном сокращении выбросов шахтного метана.

Основные принципы этого документа являются следующими:

1. **На предприятиях мира накоплены огромные знания и опыт в области снижения взрывоопасности метана.** Применение в глобальном масштабе накопленных к настоящему времени знаний и практики относительно встречаемости метана, прогнозирования метановыделения, его контроля и управления им может существенно снизить взрывоопасность метана в угольных шахтах.
2. **Несмотря на лимитирующие факторы, безопасность шахтеров имеет первостепенное значение и не должна подвергаться угрозе.** Безопасность

условий труда в газообильных шахтах не может быть обеспечена только с помощью законодательства или даже за счет применения наиболее передовой технологии. Для безопасного ведения горных работ еще более важное значение имеют рациональные и эффективные системы управления, организация управления и практика управления. К числу других крайне важных элементов системы обеспечения шахтной безопасности относятся надлежащие обучение и подготовка как руководящего персонала, так и рабочей силы, а также поощрение работников к внесению собственного вклада в принятие практики безопасного ведения работ.

3. **Проведение оценки рисков в целях сведения к минимуму взрывоопасности должно сочетаться с жестким обеспечением соблюдения правил техники безопасности в отношении проветривания шахт и утилизации газа.** Такой подход приведет к увеличению объема и повышению качества дегазации. В целом есть возможность прогнозировать приток метана в угольные шахты при нормальных стационарных условиях. Прогнозирование нештатных ситуаций, связанных с выделением и внезапными выбросами газа, сопряжено с трудностями, однако условия, при которых они могут произойти, как правило, хорошо известны. Разработаны детальные методы снижения риска в этих условиях, которые должны применяться во всех случаях выявления существенных рисков. В таких обстоятельствах безопасность условий труда зависит от строгого применения и контроля за применением методов управления газовой выделением. Невозможно переоценить значение не только проведения мониторинга для обеспечения безопасной эксплуатации шахты, но и сбора и использования данных в целях планирования безопасности.
4. **Системы проветривания шахт являются компонентами общей системы, имеющими крайне важное значение для эффективного отвода метана из горных выработок.** Система проветривания шахт предназначена для достижения трех целей: 1) обеспечения шахтеров свежим воздухом, пригодным для дыхания, 2) регулирования температуры воздуха в шахте и 3) эффективного разбавления или отвода опасных газов и вдыхаемой с воздухом пыли.
5. **Совершенствование систем дегазации источников метановыделения зачастую позволяет найти более оперативные и затратоэффективные решения проблем, связанных с присутствием рудничного газа, по сравнению с простым увеличением объема подаваемого в шахту воздуха.** Практические проблемы дегазации на угольных шахтах, как правило, могут быть решены за счет применения имеющихся и методов. Вопрос о внедрении новейших или новых технологий следует рассматривать лишь после применения надлежащей практики, причем только в том случае, если существующие методы не позволили найти удовлетворительного решения проблем. Эффективность системы дегазации источников метановыделения можно повысить благодаря надлежащему проведению монтажных работ, технического обслуживания, регулярных осмотров и реализации периодически принимаемых планов буровых работ.
6. **Транспортировка на угольных шахтах метано-воздушных смесей при концентрациях, находящихся в диапазоне взрывоопасности или близких к нему, является опасной практикой, которая должна быть запрещена.** Метан - взрывоопасный газ при концентрации в воздухе 5–15%. Как общее правило, должно

неукоснительно соблюдаться ограничение на операции с метаном при концентрациях, меньших не более чем в 2,5 раза по сравнению с нижним пределом его взрывоопасности или превышающих не более чем в 2 раза ее верхний предел.

- 7. *Подземные угольные шахты представляют собой существенный источник антропогенных выбросов метана (приблизительно 6% общемирового объема выбросов метана, связанных с деятельностью человека), но объем этих выбросов можно существенно сократить путем внедрения передовой практики.*** ППП метана более чем в 20 раз больше чем ППП диоксида углерода – самого важного ПГ в мире. Большую часть метана, образующегося в шахтах, можно извлечь и продуктивно использовать либо уничтожить (снижение его воздействия на глобальное потепление путем преобразования в диоксид углерода). К возможным вариантам относятся рекуперация энергии газа дегазации, сжигание в факеле излишнего количества такого газа, а также утилизация МВС или снижение объема их выбросов. При соответствующих технических и рыночных условиях конечная цель должна заключаться в доведении выбросов метана до практически нулевого уровня.
- 8. *Имеются веские деловые основания для установки и эксплуатации высокоэффективных систем дегазации и утилизации каптированного газа.*** Существует также широкий круг потенциальных видов конечного использования шахтного метана, который прибыльно реализуется в промышленных масштабах во всем мире. Высоких издержек, связанных с очисткой газа дегазации в целях улучшения показателей концентрации метана для какого-либо отдельного вида конечного использования, часто можно избежать путем совершенствования практики подземной дегазации источников метановыделения.

Глава 9. Примеры из практики

Ниже приводится семь примеров практического применения технологий на действующих шахтах различных регионов мира, в которых излагается самая передовая практика, рассматриваемая в настоящем руководстве. В примерах 1-3 рассматривается практика оценки, планирования и рационального использования метана, внедренная на трех шахтах с системой разработки длинными забоями с целью решения проблем контроля метана. В примере 4 рассматриваются вопросы снижения риска взрывоопасности на шахтах с камерно-столбовой системой разработки. В примере 5 рассматривается практика каптирования и использования метана для производства электроэнергии. В примерах 6 и 7 излагаются вопросы борьбы с выбросами и утилизации метана вентиляционных струй.

Приведенные примеры в силу необходимости описываются кратко и служат в каждом случае лишь для освещения основных моментов.

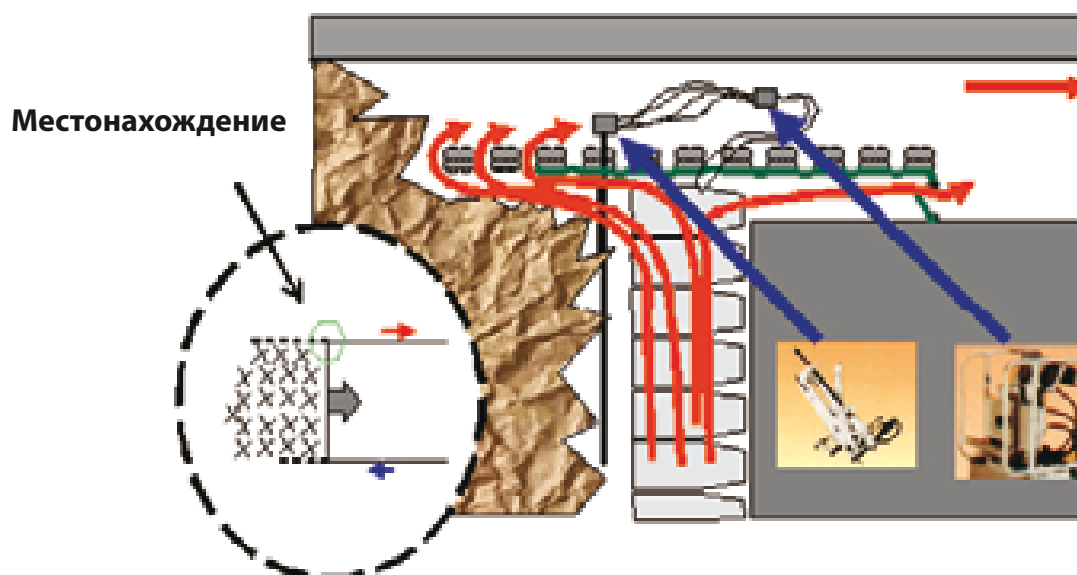
Пример 1. Достижение планируемых показателей добычи угля на газообильной шахте, работающей по системе длинных забоев с выемкой обратным ходом, при высоком напряжении во вмещающих породах склонного к самовозгоранию угольного пласта – Соединенное Королевство

Начальные условия. Глубина разработки – 980 м, удельное метановыделение из длинного забоя с выемкой обратным ходом с высотой 2 м, требующегося для добычи 1 млн. т угля в год, – 50 м³/т, высокий риск произвольного возгорания угля, сверхнизкая проницаемость угля, высокие горизонтальные напряжения в забое и вспучивание подошвы в подъездных штреках к длинному забою, одна основная выработка для подачи и одна – отвода воздуха.

Проблемы контроля газа. Предварительная дегазация была невозможна из-за низкой проницаемости угля; а целостность поперечных скважин, проходящих под углом к длинному забою, – нарушена высокими напряжениями, поэтому объемы каптирования газа и показатели его чистоты были слишком низкими. Высокий риск самопроизвольного возгорания и требование о существенных размерах целиков для обеспечения стабильности не давали возможности использовать многоштрековые системы или системы отводных штреков.

Решение. Необходимый уровень добычи угля был достигнут благодаря использованию имевшегося вентиляционного воздуха с дебитом 30 м³/с путем проведения квершлагов позади забоя в реверсивно вентилируемом пространстве со специальной крепью (рис. 9.1). Была разработана оптимальная схема бурения с серией восстающих скважин, пробуренных под прямым углом к транспортному штреку, сопряженному с длинным забоем, и под наклоном 55° вверх к плоскости пласта на расстоянии 7,5 м. Нисходящие скважины были пробурены в стороне на расстоянии 100 м для сведения к минимуму риска выбросов из подошвы.

Диаграмма 9.1 Система реверсивного проветривания «Возвратно-поступательного» типа

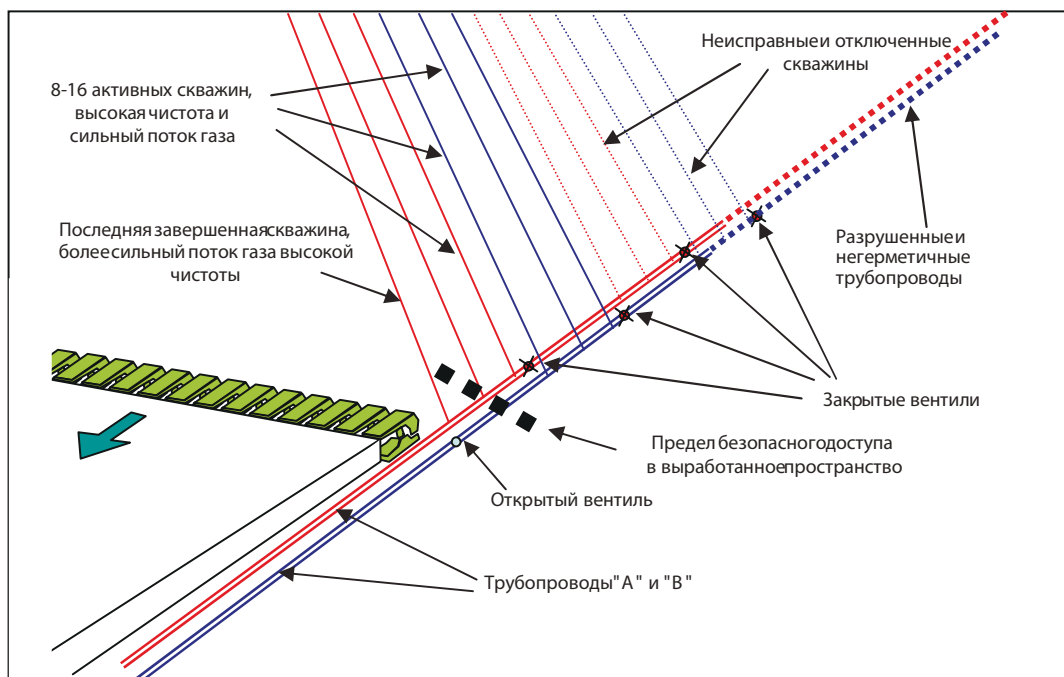


(Публикуется с разрешения «Грин гэс интернэшнл»)

Были установлены параллельно две газосборные трубы. К одной из труб последовательно подключались скважины, пока не снижалось качество газа; затем производилась регулировка этой трубы в целях избежания излишнего разбавления газа, а далее скважины подключались к другой газосборной трубе. Этот процесс, названный «липфрог», был непрерывным, что давало

возможность оставлять постоянно подсоединенными к системе дегазации в любой момент времени по крайней мере восемь скважин (см. рис. 9.2). Для оптимизации качества и количества газа было достаточно грубого регулирования, при этом показатель каптирования составил 67%, что не требовало вмешательства техников для корректировки отдельных скважин в опасных для работы выработанных пространствах.

Диаграмма 9.2 Система «Липфрэг»



(Публикуется с разрешения «Грин гэс интернэшнл»)

Темпы разработки пласта обратным ходом были весьма высокими, а пространство, имевшееся для проведения буровых операций, - ограниченным, поэтому необходимо было пробурить каждую скважину, установить и загерметизировать стояк и подключить ее к дренажной газосборной трубе в течение приблизительно 10-часового цикла. Это было достигнуто с использованием небольшой переносной мощной буровой машины (диаграмма 9.3), работавшей на гидроприводах от машин, обеспечивающих поддержание кровли длинного забоя, что исключало необходимость подвода электричества.

Диаграмма 9.3 Оборудование для проводки квершлагов



(Публикуется с разрешения ЭДЕКО лтд.)

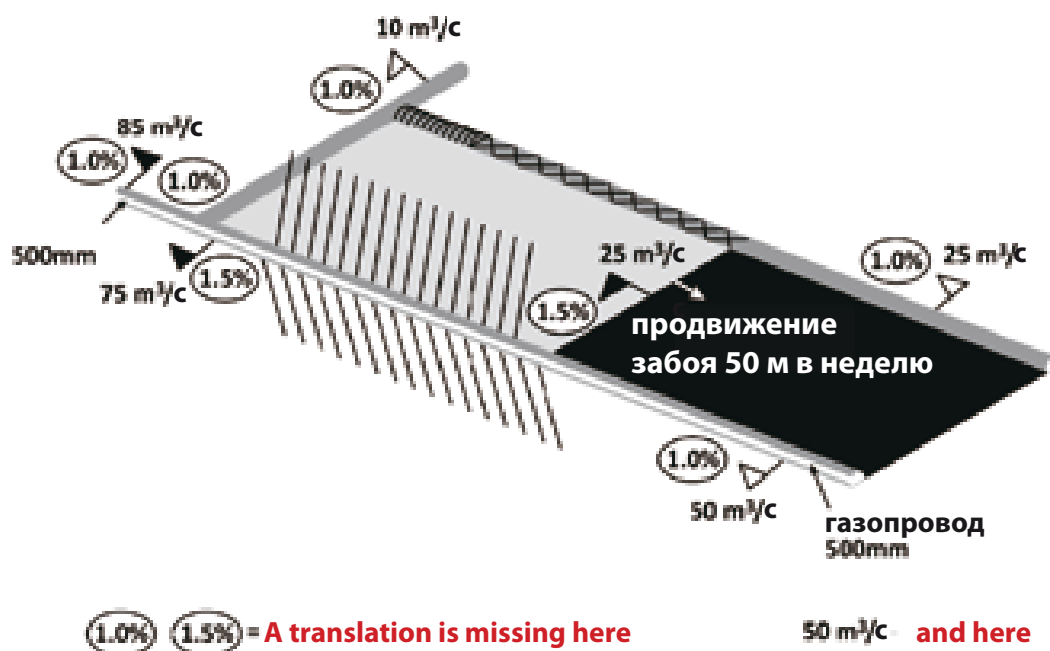
Пример 2. Высокоэффективные операции в длинном забое в зонах с большим газовыделением - Германия

Начальные условия. Пласт мощностью 1,5 м, протяженность длинного забоя - 300 м, планируемый объем добычи 4 000 тонн в сутки (т/с), темпы продвижения забоя - приблизительно 50 м/в неделю. Мощность перекрывающих пород - 1 200 м, пласт практически горизонтален, отсутствие ранее пройденных выработок для частичной дегазации угольных пластов. Прогнозировавшееся удельное газовыделение из кровли - 25 м³/т, из отрабатываемого пласта - 3 м³/т и из подошвы выработки - 8 м³/т (итого 35 м³/т). Было известно, что угольная залежь подвержена риску самовоспламенения.

Проблема контроля газа. Максимальный дебит метана, при котором он должен каптироваться или разбавляться вентиляционным воздухом до безопасной концентрации, составляет 1 875 м³/с (112,5 м³/мин.). Была проведена оценка в отношении предварительной дегазации, по результатам которой она была сочтена неэффективной. Существовали две основные проблемы. Во-первых, при максимально допустимой скорости прохождения потока воздуха по длинному забою, равной 25 м³/с, можно было разбавить за секунду максимум 0,37 м³/с поступающего газа (22,2 м³/мин.), несмотря на данное горнадзором разрешение повысить максимально допустимую концентрацию метана с 1,0% до 1,5% (коэффициент взрывобезопасности снизился с 5,0 до 3,3). Это изменение допускалось при условии более эффективных мониторинга и дегазации. Важно, что такие изменения допускаются лишь для какого-то конкретного объекта и что принимаются дополнительные меры по обеспечению того, чтобы повышение риска было незначительным. Другая проблема заключалась в наличии вентиляционного штрека для выведения вентиляционного воздуха с участков, в котором максимальная концентрация метана допускалась в раз мере 1%.

Решение. Была спроектирована Y-образная система проветривания (диаграмма 9.4), обеспечивающая в дополнение к воздуху, проходящему по забою со скоростью 25 м³/с, подачу еще 50 м³ воздуха в секунду, при этом совокупный поток проходит позади забоя, разбавляя метан, выделяющийся из угольного забоя и выработанного пространства. Схема вентиляции создает возможности для проходки квершлагов, их соединения с системой дегазации и проведения отдельного мониторинга и регулирования, при этом, как правило, квершлаг, проведенные позади длинного забоя, обеспечивают более высокую степень каптажа и более высокую степень чистоты газа по сравнению с квершлагами, проведенными перед угольным забоем. Эти дренажные скважины долговечны и высокоэффективны; предполагается, что они обеспечат каптаж 70% газа кровли и 40% газа подошвы выработки.

Диаграмма 9.4 Длинный забой с прогрессивной Y-образной схемой проветривания и дренажные скважины в кровле и подошве выработки позади длинного забоя



(Источник: DMT GmbH & Co. KG).

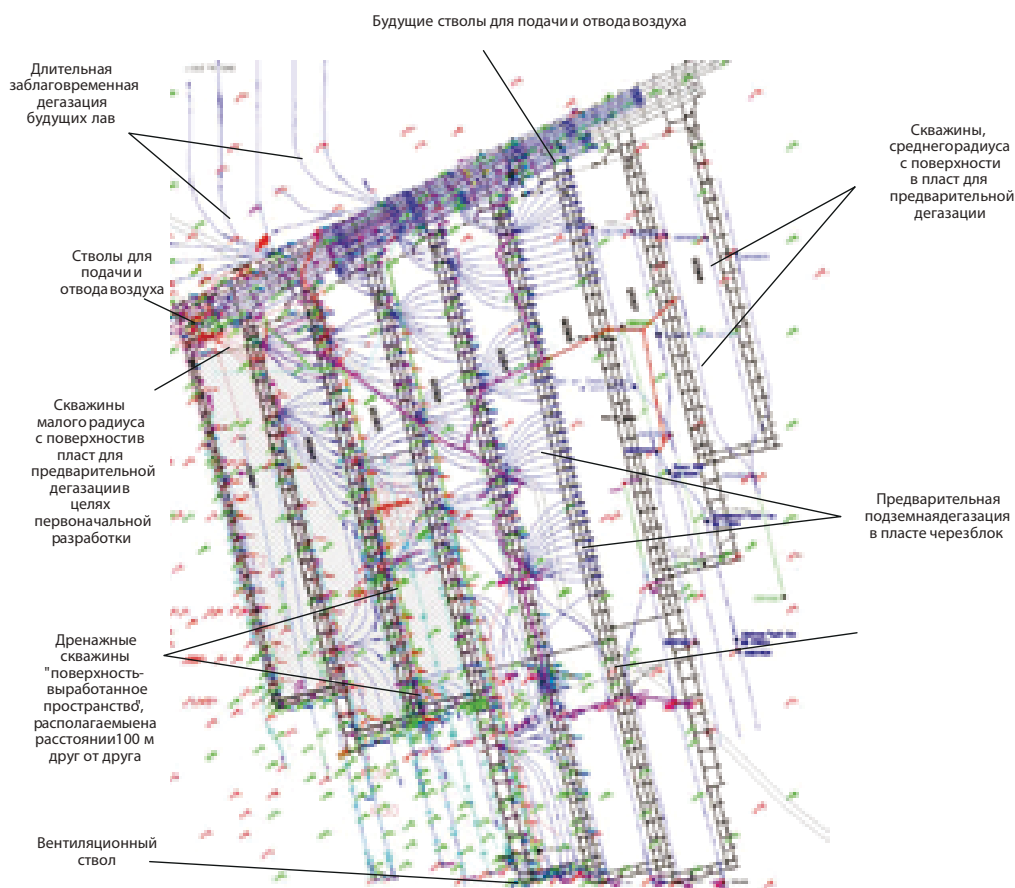
Перемычки (породные стенки), изолирующие выработанное пространство от открытого транспортного штрека позади забоя, служили для усиления крепи транспортного штрека и изоляции выработанного пространства от попадания туда воздуха с целью сведения к минимуму риска самопроизвольного возгорания и образования концентраций метана в диапазоне взрывоопасности.

Установление предельно допустимой концентрации метана в вентиляционном просеке по направлению от забоя к стволу шахты в размере 1% ограничивало объем добычи угля 4 000 тоннами в сутки, что соответствовало плановому заданию. Система дегазации была способна обеспечить отвод 80 000 м³ в сутки чистого метана, который мог использоваться в энергоблоке. Несмотря на весьма тяжелые условия добычи, работа забоя была успешной благодаря передовой системе проветривания и весьма эффективной дегазации.

Пример 3. Высокоэффективные операции в длинном забое в зонах с большим газовыделением - Австралия

Начальные условия. Новая линия лав расположена в пласте мощностью 2,8 м с показателями газоносности в диапазоне 8-14 м³/т. Глубина покрывающих пород составляет 250-500 м и при этом особенности поверхностного рельефа не препятствуют доступу с поверхности. Газоносность пласта должна быть снижена до 7,5 м³/т или ниже для соблюдения свода норм по предотвращению внезапных выбросов газа и ниже предельного значения в 5,75 м³/т, самостоятельно установленного для целей контроля за фрикционным воспламенением - с использованием методов предварительной дегазации. В подошве выработки имеется один, а в кровле - восемь пластов угля протяженностью 10-15 м угля в пределах расчетной зоны обрушения. Ширина лав составляет 300 м, а их протяженность - до 3,6 км (диаграмма 9.5), при этом планируемая производительность составляет 110 000 т в неделю.

Диаграмма 9.5 План шахты с указанием расположения систем дегазации



(Источник: Moreby, 2009)

С учетом высоких значений потенциала выбросов газа в шахте необходимо было с самого начала провести в лаве штреки с тремя выходами, с тем чтобы система проветривания обеспечивала разбавление больших объемов газа. Штрек с тремя выходами дает возможность существенно увеличить объем подачи воздуха для разбавления газа до вентиляционного штрека длинного забоя, не увеличивая при этом скорости потока воздуха в забое в сравнении с обычной

U-образной системой проветривания. В настоящее время эта шахта является единственной в Австралии, которая применяет систему штреков с тремя выходами.

Проблемы контроля газа. Прогнозы выделения газа указывают на то, что показатель удельного газовыделения из источников в угольном пласте может находиться в диапазоне 15-30 м³/т. При планируемых темпах добычи угля это будет составлять 3 500-7 000 л/с CH₄, причем с увеличением глубины этот показатель обычно возрастает. Вместе с тем предыдущие исследования на соседней шахте показали присутствие существенного количества свободного газа, который мог бы привести к значительному увеличению общего объема выбросов. Выбросы из первых трех длинных забоев подавались контролю при существовавшей схеме, однако они были выше, чем предполагалось при относительно небольшой глубине залегания. Экстраполяция на более глубокие длинные забои показала, что прогнозы, сделанные на этапе технико-экономического обоснования, будут превышены и что скорость выделения может составить 9 500 л/с.

Решение. На этапе разработки предельные значения выбросоопасности и фрикционной воспламеняемости были соблюдены за счет комбинированного использования технологий бурения скважин среднего радиуса "поверхность-пласт" в сочетании с подземными направленными скважинами и проверочными скважинами, которые пробуриваются в целях проверки состава газа. Зона первоначального нахождения дна ствола подверглась предварительной дегазации с применением технологий бурения скважин с малым радиусом.

Первоначальный план применения штреков с тремя выходами оказался правильным и обеспечил круговое проветривание лавы со скоростью потока 100-120 м³/с (2 000-2 400 л/с CH₄ при предельной концентрации в вентиляционном просеке 2,0%). Важно отметить, что после катастрофы на шахте Моура в 1994 году, где погибло 11 шахтеров, согласно правилам, руководящим принципам, обычаями и практике эксплуатации шахт в Квинсленде запрещается использование в полномасштабном варианте системы вентиляции газосборных штреков американского типа. Вместе с тем регулируемый отвод газа с должным учетом точного места расположения потенциально взрывоопасных смесей и контролем за самовозгоранием вполне возможен.

В любом случае реальные возможности разбавления газа с помощью системы отвода в этих блоках гораздо меньше требующихся при зарегистрированной общей скорости газовыделения в забое, поэтому требуются альтернативные стратегии. К настоящему времени на шахте успешно применены традиционные дренажные скважины с поверхности в выработанное пространство (300 мм в диаметре, расположенные на расстоянии 100 м друг от друга в задней части выработки) с целью сокращения нагрузки газовыделения на систему проветривания. Эта стратегия обеспечила в среднем каптаж газа на уровне 65% (дегазация выработанных пространств и проветривания) при пиковых значениях приблизительно 80% и высокой чистоте газового потока (>90% CH₄).

Инфраструктура сбора газа находится на поверхности шахты, и в ее состав входят трубопроводы диаметром 450 мм, включая вертикальные соединения с подземными направленными скважинами. Все потоки газа предварительной дегазации из подземных выработок на поверхность, предварительной поверхностной дегазации с использованием буровых скважин среднего диаметра и скважин, выводящих газ из выработанных пространств на поверхность, направляются на центральную насосную станцию, откуда газ со скоростью приблизительно 2 200

л/с направляется в газовые двигатели мощностью 16 x 2,0 МВт, при этом излишнее количество сжигается в факеле. Политика шахты заключается в том, чтобы избегать, по возможности, прямых выбросов каптированного газа.

Признавая, что в будущих лавах поступление в вентиляционную сеть 65% каптированного газа из выработанных пространств создает проблемы для системы проветривания, в настоящее время шахта также предпринимает попытки проведения предварительной дегазации более мощных целевых кровельных пластов с использованием скважин протяженностью приблизительно 2,0 км, пробуренных вдоль осей лавы. Эти скважины будут предназначены первоначально для проведения предварительной дегазации, а после подработки – для дегазации выработанных пространств с целью предотвращения выбросов газа из забоя. Также можно рассмотреть вопрос о бурении обычных пластовых скважин в том случае, если потребуется дополнительная предварительная дегазация над будущими более глубоко залегающими выработками.

Пример 4. Снижение риска взрывоопасности в шахтах при камерно-столбовой системе разработки пласта - Южная Африка

Начальные условия. Рост числа взрывов с тяжелыми последствиями в весьма мощных (4-6 м) угольных пластах с низким содержанием газа (1-2 м3/т), которые разрабатываются механизированным камерно-столбовым методом, в данном конкретном горнодобывающем регионе требует изменения нормативных положений и практических действий для снижения степени риска. Около 75% взрывов произошло в местах проведения нарезных работ или вблизи них, причем основным источником возгорания было трение (Landman, 1992). Все еще весьма существенное число взрывов, которые происходят вне забоя, говорит о трудностях контроля метана в шахтах с камерно-столбовой системой разработки с использованием методов проветривания. Воздушный поток при камерно-столбовой системе разработки пластов отличается от воздушного потока при разработке лавы в результате постоянных напряжений, вызываемых резким расширением или сжатием пород в тех зонах, где продольные выработки пересекаются с поперечными квершлагами. Воздушный поток в некоторых из квершлагов, находящихся в протяженных горных выработках, может иметь статичный характер.

Как существенный риск, который должен быть под контролем, рассматривается накопление газов на высокопроизводительных участках с недостаточной вентиляцией и возможность перехода пламени на невыявленные слои метана кровли выработки (таблица 9.1) (Creedy & Phillips, 1997).

Таблица 9.1 Оценка риска воспламенения в результате образования в шахтах слоевых скоплений метана при камерно-столбовой системе разработки пластов

Потенциальная опасность	Возможные причины опасности	Превентивные меры
Непредотвращение возгорания	<ul style="list-style-type: none"> ● Недостаточная или ненадежная вспомогательная вентиляция в выработках. ● Недостатки в работе оборудования систем проветривания. ● Изношенное отбойное оборудование, засоренные распылители, низкое давление воды. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Использование хорошо сконструированного и защищенного оборудования. ● Высокие стандарты технического обслуживания. ● Эффективный мониторинг.
Неизолированные источники воспламенения	<ul style="list-style-type: none"> ● Источники электрического и фрикционного воспламенения, связанные с комбайнами непрерывного действия. ● Курение и другие запрещенные виды деятельности. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Строгость в вопросах профессиональной подготовки и надзор за работой персонала. ● Осмотр рабочих перед спуском в шахту.
Непринятие мер по рассеиванию слоевых скоплений метана	<ul style="list-style-type: none"> ● Недостаточная мощность вентиляции. ● Плохая организация местного проветривания. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Процедуры контроля метана. ● Наличие вентиляторов и другого подходящего оборудования.

Потенциальная опасность	Возможные причины опасности	Превентивные меры
Невыявление слоев метана	<ul style="list-style-type: none"> ● Неправильный выбор мест мониторинга. ● Отсутствие подходящего оборудования для мониторинга. ● Плохая подготовка персонала. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Программа мониторинга для конкретного объекта. ● Отбор необходимых проб для мониторинга, в особенности для участков высоких штреков. ● Профессиональная подготовка.
Непредотвращение образования слоевых скоплений метана	<ul style="list-style-type: none"> ● Слишком низкие объемы проветривания. ● Ненадежная вентиляция. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Планирование работы по проветриванию. ● Локально усиленное проветривание подкровельного пространства выработки.
Непредотвращение метановыделения	<ul style="list-style-type: none"> ● Выбросы метана являются естественным последствием подземной угледобычи. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Дегазация источников метановыделения.

Проблемы контроля газа. Вентиляция забоев требует подачи дополнительного вентиляционного воздуха из последнего проходного штрека. На рабочих участках насчитывается большое количество расположенных в шахматном порядке целиков и транспортных штреков, не все из которых могут быть эффективно проветрены из-за необходимости подачи огромных объемов воздуха и сложности его равномерного распределения. Для обеспечения того, чтобы основные потоки вентиляционного воздуха попадали в действующие забои, эти выработанные пространства изолируются временными экранами, поэтому газ может накапливаться в замкнутых зонах позади забоя.

В шахтах, где, как выясняется, скопления воды и давление метана могут быть причиной обвала кровли, закрепленные в кровле скважины перемежаются с открытыми, свободно дренируемыми скважинами. Из некоторых медленно выделяется газ, который может образовывать обширные слоевые скопления метана и оставаться необнаруженным до тех пор, пока не будут взяты пробы на уровне кровли, что весьма трудно сделать в высоких выработках.

Решения: Контроль за газовой обстановкой там, где практикуется использование методов добычи с частичной выемкой, может быть облегчен путем предварительной дегазации пласта, при этом текущая дегазация требуется в редких случаях, поскольку углесодержащие слои кровли и подошвы выработки при ведении работ существенным образом не нарушаются. В пластах с низкой газообильностью предварительная дегазация дает мало пользы. Поэтому дегазация источников газовой выработки для данного района не является экономически эффективным вариантом. Одно из практических решений требовало совершенствования практики проветривания.

Практически нецелесообразно проводить проветривание выработанных пространств по тем же стандартам, что и пространств, где ведутся горные работы, ввиду ограниченной подачи

имеющегося воздуха. Поэтому при таких изменившихся обстоятельствах основное внимание направлено на введение эффективного графика мониторинга, предполагающего обнаружение газа в кровле выработки и наблюдение за скоростью воздуха в общем массиве разрабатываемых камерно-столбовым способом выработок, где объем подаваемого для проветривания воздуха до проведения изоляции выработанных пространств был уменьшен.

Областью самого высокого риска считалась область действующих забоев, для которых правительственным регулирующим органом (Департаментом по вопросам минеральных и энергетических ресурсов, 1994 год) был разработан свод норм проветривания механизированных участков. Основным был критерий, согласно которому концентрация воспламеняемого газа должна быть меньше 1,4%, и для обеспечения этого были рекомендованы следующие меры:

- минимальная скорость воздуха в последнем проходном штреке, составляющая по крайней мере 1,0 м/с (многие шахты выбрали вариант с установкой постоянно действующего прибора контроля скорости с дистанционным управлением);
- использование эффективного вспомогательного проветривания в выработках (вторичное проветривание);
- регулярное измерение и регистрация важнейших данных о проветривании;
- проведение инспекций газообильных участков через интервалы времени, не превышающие один час;
- автоматическое отключение подачи электроэнергии в механическое оборудование добычи в том случае, если система вторичного проветривания перестает функционировать;
- особые предосторожности при приближении к зонам риска выбросов, связанным с магматической интрузией и геологическими аномалиями;
- постоянный мониторинг газа в отработываемой выработке.

Пример 5. Разработка схемы производства электроэнергии по системе когенерации на основе шахтного метана/борьбы с выбросами метана – Китай

Начальные условия. Новая поверхностная установка по извлечению газа была смонтирована и введена в действие в мае 2007 года в удаленном горном районе (1 600 м) над угольной шахтой с ежегодной производительностью 5 млн. т угля и удельным газовыделением 17,7 м³/т, при этом дренирование метана производилось со средним чистым дебитом в 22 м³/мин. Общая эффективность каптажа метана в шахте составляла 15%, а остальные 85% метана выходили с вентиляционным воздухом.

Проблемы контроля газа. Чистота газа на установке колебалась и в некоторых случаях составляла менее 30% - минимально допустимого показателя для утилизации и эффективного каптажа газа. Ожидалось, что количество газа дегазации будет колебаться в результате изменений в цикле добычи угля в лаве и вследствие этапного характера разработки различных пластов, поэтому для выполнения инвестиционных требований загрузка мощностей энергоблока, работающего на шахтном метане, должна была быть такой, чтобы обеспечить 85% энергоснабжения. Одна из целей проекта заключалась в оптимизации рекуперации энергии и сведении к минимуму выбросов ПГ. Требовалось объединение в одну систему газового двигателя и установки сжигания газа, что было первым опытом такого рода в Китае, поэтому ожидалось, что потребности в передаче технологии будут значительными.

Решение. В реализации этого проекта приняла участие группа местных и международных специалистов в области дегазации, электроэнергетики и инженерного обеспечения систем, которая работала вместе с персоналом шахты над вопросами подачи газа, определения масштабов проекта, а также над интеграцией установок и обеспечением их эффективной работы.

Чистота метана была повышена путем совершенствования герметизации и регулирования перекрестных скважин. Были увеличены мощности инфраструктуры дегазации, вместо старых установлены новые высоконадежные устройства для мониторинга и составлен план увеличения каптажа газа. Интенсивные работы по бурению скважин для предварительной дегазации на двух будущих панелях лавы обеспечили получение обогащенного газа, а также позволили дополнить поток, в конечном счете дав 23% дренированного газа, а остальные объемы поступали от текущей дегазации перекрестных скважин в кровле. Эти скважины были пробурены перед забоем, поэтому некоторые из них не могли избежать повреждения и плохо работали в выработанном пространстве. Над выработанным пространством за забоем была пробурена демонстрационная скважина, которая показала хорошие результаты, однако эта технология не была принята из-за действия местных норм, и такой метод дегазации в этом районе исторически не практиковался.

На первом применении схемы предполагалось использование установки мощностью 5 МВт_э с рекуперацией отработанного тепла, которое направлялось на обогрев зданий и входящего вентиляционного воздуха в зимнее время. Была также смонтирована установка по сжиганию газа в факеле номинальной мощностью 5 000 м³/час. К работе был привлечен специалист компании по разработке и монтажу системы дистанционного мониторинга показателей для оборудования по утилизации и сжиганию газа.

После того как объем каптажа газа был увеличен на демонстрационной стадии до 50 м³/мин. (чистый газ), в октябре 2009 года были произведены монтажные работы второго этапа с целью увеличения генерирующих мощностей до 12 МВт_э.

Пример 6. Метан вентиляционных струй - Китай

Борьба с выбросами метана вентиляционных струй и получение горячей воды на основе энергии, выделяющейся в результате его окисления

Диаграмма 9.6 Борьба с выбросами метана вентиляционных струй и рекуперация энергии - Китай



(Публикуется с разрешения «Чжэн Чжоу майнинг груп», «МЕГТЕК системз» и «ЭкоКарбон»)

Начальные условия. Крупная угольная шахта, расположенная в провинции Хайнань, Китайская Народная Республика, с объемом добычи угля 1,5 млн. т/год выбрасывает приблизительно 12 млн. м³ метана в год. На метан вентиляционных струй приходится 56% выбросов, а остальные 44% метана удаляются по программе дегазации. В вентиляционных струях содержания метана колеблется в диапазоне 0,3%-0,7%.

Проблемы контроля газа. Демонстрация утилизации или борьбы с выбросами МВС ранее в Китае не проводилась, поскольку отсутствовали стимулы для реализации таких проектов в условиях отсутствия углеродных квот.

Решение. В настоящее время функционирование рынка МЧР обеспечивает финансовый механизм для осуществления проектов по борьбе с выбросами МВС. Государственная горнодобывающая группа работала совместно с разработчиком проекта МЧР и ведущим поставщиком технологий над разработкой, вводом в действие и обеспечением функционирования коммерческого демонстрационного проекта по утилизации метана вентиляционных струй, в котором использовался беспламенный реактор с неподвижным слоем катализатора РТО. При содействии разработчика проекта этот проект стал первым утвержденным и зарегистрированным проектом МЧР по МВС в рамках Киотского протокола.

Первый проект замыслен как коммерческий демонстрационный проект, но специальная технология использования метана вентиляционных струй, которая была применена в шахте, носит модульный характер и позволяет объединить в единую производственную систему многие отдельные элементы оборудования. Это даст шахте возможность увеличить масштабы проекта с целью последующей обработки весьма крупных объемов метана вентиляционного воздуха. Дополнительные блоки обработки метана могут быть также установлены на других шахтах, принадлежащих той же горной компании.

Установка по использованию метана вентиляционных струй на шахте состоит из реактора с неподвижным слоем катализатора РТО с пропускной способностью 62 500 нм³/ч (17 нм³/с),

что представляет собой 17% общего потока метана в стволе шахты с дебитом 375 000 м³/с. Подсоединение к вентилятору шахты организовано непрямым образом, с тем чтобы, когда установка по обработке метана вентиляционных струй прекращает свое функционирование, весь вентиляционный воздух шел в атмосферу. Важным элементом механизма обеспечения безопасности является достаточная протяженность воздуховода, предусмотренная для того, чтобы в чрезвычайных обстоятельствах (например, в случае обнаружения слишком высокой концентрации газа) было время для задействования обводного регулятора тяги, который позволяет направить поток по обводному трубопроводу. РТО может работать в автономном режиме при концентрации метана не ниже 0,2% и, таким образом, способна успешно функционировать в диапазоне концентраций МВС, образующихся на шахте.

Осуществление проекта началось в октябре 2008 года при эффективности уничтожения метана 97%. Получение ССВ зависит от количества уничтоженного метана, и их количество будет находиться в диапазоне 20 000 т (0,3% СН₄) – 40 000 т (0,6% СН₄) эквивалента диоксида углерода в год для одной установки. При беспламенном окислении система не производит выбросов закиси азота. Когда концентрация метана ниже концентрации автономного режима в размере 0,2%, система отключается.

Из РТО можно рекуперировать существенный объем энергии. Эта установка на шахте производит горячую воду для душевых комнат шахтеров и для обогрева соседних зданий. Рекуперация тепла обеспечивается применением теплообменника «воздух-вода», который монтируется между РТО и ее выводной трубой, обеспечивая рекуперацию энергии нагретого выходящего воздуха. Ниже в таблице проводится сопоставление объемов энергии, которые могут быть получены в форме воды, нагреваемой при различных концентрациях МВС до 70 °С и 150 °С, соответственно.

Таблица 9.2 Объемы энергии, которые могут быть получены от одной установки по утилизации МВС при различных концентрациях метана

Продукт вторичного теплообмена	0,3% МВС	0,6% МВС	0,9% МВС
Температура воды 70 °С	1 МВт	8 МВт	15 МВт
Температура воды 150 °С	невозможно	2 МВт	10 МВт

Пример 7. МВС – Австралия

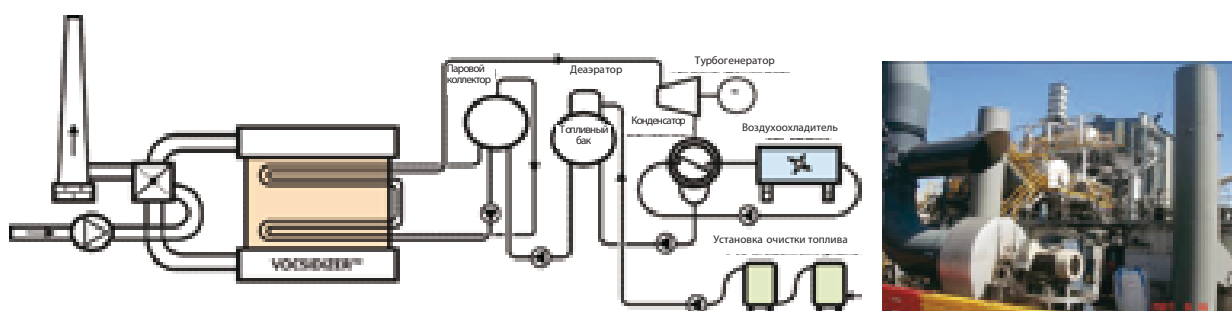
Борьба с выбросами МВС и использование энергии, высвобождаемой в процессе окисления МВС, для производства электроэнергии

Первоначальные условия. МВС крупной шахты в Новом Южном Уэльсе, Австралия, выбрасывался в атмосферу в концентрациях приблизительно 0,9% CH₄. Газ дегазации при концентрациях, превышающих 25%, также выбрасывался в атмосферу вблизи выводного ствола шахты.

Проблемы контроля газа. Крупномасштабная утилизация МВС или борьба с его выбросами ранее не демонстрировались нигде в мире. Вследствие характера его выбросов, которые выходят с весьма крупными потоками воздуха, где метан разбавлен до крайне низких концентраций, маломасштабная утилизация МВС и борьба с его выбросами были продемонстрированы в ходе проекта, который осуществлялся в течение 12 месяцев с 2001 по 2002 год на шахте «Аппин коллинери» компании «ВНР Биллитон», Австралия. На этой шахте малогабаритная установка РТО обрабатывала МВС и использовала высвобождаемую энергию для производства пара, демонстрируя долгосрочные возможности приспособления к естественным изменениям для концентраций МВС и обеспечения эффективной рекуперации энергии в долгосрочном плане.

Решение. Совместно с заводом-изготовителем блоков РТО, которые использовались на шахте «Аппин», шахта объединила четыре блока РТО с паровым циклом турбогенератора и эффективно использовала РТО как специальные печи, способные работать, используя сильно разбавленный МВС в качестве топлива (диаграмма 9.7). Компания, владеющая шахтой, получила для осуществления этого проекта существенное финансирование в виде субсидий от правительственных источников.

Диаграмма 9.7 Борьба с выбросами МВС и рекуперация энергии для производства электроэнергии



(Публикуется с разрешения «МЕГТЕК системз» и угольного отдела компании «ВНР Биллитон» по Иллаваре)

Энергоустановка, работающая на МВС, спроектирована для обработки вентиляционного воздуха при дебите в 250 000 м³/час (150 000 стандартных кубических футов в минуту), что соответствует 20% общего объема, содержащегося в шахте. Конструкция энергоустановки основана на использовании МВС при средней концентрации 0,9%. Конструкция РТО предусматривает ее приспособление к различным концентрациям МВС, но для того, чтобы паровая турбина функционировала непрерывно на оптимальной скорости, энергия, заключенная в вентиляционном воздухе, который проходит обработку, должна поддерживаться на довольно стабильном уровне и соответствовать расчетному показателю. По этой причине газ дегазации с концентрацией 25% и выше направляется в поток вентиляционного воздуха до вентиляционной

установки по переработке, когда концентрация МВС ниже проектного показателя, который в данном случае составляет на этой шахте 0,9%.

К апрелю 2007 года энергоустановка на основе МВС функционировала на полную мощность. Коэффициент ее использования в течение первого финансового года (июль 2007 года - июнь 2008 года) составил 96%, включая две плановые технические остановки. К 2009 году вся установка заработала углеродные квоты в размере около 500 000 единиц (торговля которыми ведется в рамках местной системы торговли выбросами Нового Южного Уэльса) и более 80 000 МВт.ч электроэнергии.

Для успешной работы энергоустановки на основе МВС необходимо, чтобы:

- концентрация МВС составляла 0,7% и выше;
- дебит вентиляционного воздуха составлял как минимум 500 000 нм³/час (300 000 сфут³/мин.);
- обеспечивалось наличие газа дегазации (минимальная концентрация 25%) для вдувания в вентиляционный воздух в целях компенсации недостаточной концентрации МВС;
- обеспечивалось наличие технической воды для охлаждения установки;
- энергоустановка была расположена рядом с электrorаспределительной сетью высокого напряжения для подачи в нее производимой электроэнергии.

Обогащение МВС с использованием дренированного метана рассматривается в разделе 6.3. Использования метана низкой концентрации следует избегать из-за опасности взрывов.

Добавление 1. Сопоставление методов дегазации источников газовыделения

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
<p>Предварительная дегазация с использованием вертикальных скважин с поверхности</p>	<p>Этот метод предполагает разрыв одного или нескольких угольных пластов при использовании находящихся под высоким давлением жидкостей, которые закачиваются в поверхностьную скважину. Эти разрывы сохраняются открытым путем нагнетания наполнителей. Таким образом, газ и жидкости, способные проходить через толщу угольного пласта, могут попасть в скважину беспрепятственно, не испытывая сопротивления окружающих угольных пластов. Также использовались другие методы заканчивания скважин, такие, как простое формирование пустот в угольных пластах высокой проницаемости.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Газ отводится до начала горных работ. ● Как правило, получается газ высокой чистоты, пригодный для коммерческого использования. ● Отвод газа не связан с проведением подземных горных работ. ● При разработке угольного пласта, разрушенного гидронагнетанием, обычно не оказывается негативного воздействия на состояние кровли выработки. ● Наличие потенциальных возможностей преобразования в скважины для выработанных пространных после завершения горных работ. ● Имеется возможность сокращения выбросов метана в атмосферу (сокращение выбросов парниковых газов) из источников, связанных с угольной шахтой. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Высокая стоимость работ. ● Необходимо наличие поверхностных газосборных трубопроводов для облегчения утилизации. ● Сложности при организации работ на поверхности, связанные с проблемами собственности, доступа и негативного визуального эффекта. ● Удаление засоленных вод, иногда появляющихся в результате бурения. ● В глубоко залегающих пластах проницаемость может быть слишком низкой. ● Затраты, связанные с бурением, могут быть слишком большими в случае глубоко залегающих угольных пластов. ● Угольные пласты должны иметь высокую проницаемость естественных трещин. ● Трудности координации с планом горных работ. ● Проектирование заканчивания скважин представляет собой специализированную задачу.

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
<p>Предварительная дегазация с использованием горизонтальных скважин в толще пласта</p>	<p>Бурение протяженных скважин ведется из подземных транспортных штреков либо с основания штролов в будущие области разработки угля, и газ извлекается в течение длительного периода времени, с тем чтобы сократить потоки газа в подготовительные штреки и будущие забои в лаве.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Газ отводится до начала горных работ. ● Получается газ высокой чистоты, подходящий для утилизации. ● Дегазация не зависит от операций по выемке угля. ● Этот метод является менее дорогостоящим, чем бурение вертикальных скважин с поверхности. ● Применим в глубоких шахтах при условии соответствующей проницаемости угольного пласта. ● Может снизить риск внезапных выбросов в пластах, которые подвержены такому явлению. ● Этот метод допускает высокие темпы разработки в газообильных выработках. ● Он позволяет отводить газ, который не может быть каптирован при текущей дегазации. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Скважины необходимо бурить до начала горных работ. ● Угольный пласт должен иметь умеренную-высокую природную проницаемость для облегчения естественного сокращения газоносности пластов в течение разумного периода времени. ● Обеспечивается сокращение выбросов газа только из обрабатываемого пласта, а не из прилегающих пластов, нарушенных в результате горных работ в лаве. ● В некоторых местах расположения пластов могут возникнуть проблемы, связанные с выбросами воды, стабильностью скважин и обеспечением направленности бурения. ● Требуется профессионально подготовленная группа специалистов по бурению в условиях присутствия рудничного газа.

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
<p>Предварительная дегазация с использованием направленного бурения "поверхность-пласт"</p>	<p>Проводится бурение вертикальной или наклонной скважины, из которой начинается производиться бурение направленных скважин до соответствующего пласта или пластов, которые имеют протяженность до 1 000 метров и более. Используются различные сложные схемы внутрипластового бурения, с тем чтобы достичь максимальных показателей, и самыми затратоэффективными являются такие из них, в которых учитывается направление напряжения в пластах.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Газ отводится до начала горных работ. ● Получается газ высокой чистоты, подходящий для утилизации. ● Дегазация не зависит от операций по выемке угля. ● Более эффективная рекулперация газа, чем при использовании вертикальных скважин в разрывах пласта. ● Потенциальные возможности повторного использования скважин в пластах, находящихся над выработками, для проведения текущей дегазации. ● Гибкое определение мест проведения бурения, не ограничиваемое поверхностными особенностями. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Высокие издержки. ● Не все угольные пласты можно пробурить. ● Требуется системы отвода воды для сохранения эффективности. ● Необходимо наличие угля умеренной проницаемости. ● Сложности исправления повреждений в скважинах. ● Требуется специальное бурильное оборудование и профессионалы-бурильщики.

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
<p>Проводимая из предосторожности предварительная дегазация с использованием коротких скважин в кровле выработок</p>	<p>Проводится бурение непротяженных вертикальных скважин в породах кровли в разработках для обеспечения контроля за выбросами рудничного газа из малоаметных трещин в песчаных породах кровли. Газ может выделяться из угольного пласта, находящегося над растресковавшимися породами и сопряженного с ними, либо он может естественным образом находиться в песчанике. В некоторых случаях проводится бурение скважин под низким углом в кровле перед забоем для высвобождения газа до начала горных работ с целью снижения риска фрикционного воспламенения в механизированных выработках.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Дешевый метод снижения риска фрикционного воспламенения и ограничения выбросов рудничного газа. 	<ul style="list-style-type: none"> • Слабые потоки газа. • При необходимости приходится обеспечивать подключение системы дегазации источников рудничного газа.

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
Текущая дегазация с использованием перекрестных скважин	Бурение скважин под углом выше или ниже выработанного пространства от исходящей вентиляционной выработки призабойной зоны лавы и их подсоединение к системе отвода рудничного газа. В некоторых шахтах, где применяется сплошная система разработки с выемкой обратным ходом в случае скважин, пробуренных за забоем, обеспечиваются более высокие показатели дегазации в сравнении со скважинами, предварительно пробуренными перед угольным забоем. Вместе с тем в некоторых случаях трудно постоянно обеспечивать доступ из пространства за пределами забоев с выемкой обратным ходом.	<ul style="list-style-type: none"> ● Вполне возможно обеспечить высокие показатели каптажа газа при продвижении забоя лавы. ● Этот метод весьма практичен для выработок с глубоко залегающими угольными пластами. ● Короткие дистанции бурения, до первичного газоисточника. ● Газ может извлекаться и отводиться по трубам в общем фиксированное место на поверхности для коммерческого использования или утилизации в месте расположения шахты. ● Метод эффективен в угольных пластах с низкой проницаемостью. ● Скважины в подошве могут снизить риск неожиданных выбросов газа в подверженных этому явлению выработках. ● Гибкая и легко изменяемая схема бурения. ● Самый дешевый из всех методов дегазации. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Трудно поддерживать высокую эффективность каптажа газа при разработке обратным ходом. ● Для достижения максимальной эффективности необходимо проводить бурение за забоем с разработкой обратным ходом. ● Продуктивная жизнь скважин в целом весьма непродолжительна. ● В результате того, что вентиляционный воздух проникает в систему извлечения газа через разрывы пород, образовавшиеся вследствие горных работ, получается газ средней и низкой чистоты. ● Требуется весьма подготовленный персонал для проведения подземного бурения. ● Необходимость в наличии подземной трубопроводной инфраструктуры с выходом на поверхность или в безопасное место сброса в вентиляционной выработке с исходящей струей.

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
Текущая дегазация с использованием скважин с поверхности в выработанных пространствах	<p>Производятся бурение и обсадка вентиляционной скважины, которая располагается на небольшом расстоянии от подлежащего разработке пласта. При обсадке нижней части по продуктивной длине скважины, как правило, делаются щелевидные отверстия.</p> <p>В некоторых случаях проводятся бурение и обсадка скважины до точки, располагающейся на расстоянии 30 м выше пласта, а затем бурится открытая скважина меньшего диаметра через горизонт разрабатываемого пласта до либо после проходки угольного забоя. Безопасный и надежный метод размещения скважины предусматривает бурение через толщу разрабатываемого пласта, а затем – цементирование подошвы пласта (30 м). Скважины, как правило, располагаются в направлении исходящей части вентиляционного штрека лавы.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Операции по дегазации проводятся независимо от подземных работ. ● Этот метод позволяет удалять с помощью вентиляции существенные потоки рудничного газа из выработанных пространств лавы. ● Хорошо проверенный, эффективный с точки зрения затрат метод, используемый при небольших- умеренных глубинах залегания. ● Часто можно получить газ умеренно-высокой чистоты. Продуктивное функционирование на определенное расстояние скважин может обеспечиваться в течение нескольких месяцев. ● Позволяет гибко реагировать на изменения в планах ведения горных разработок. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Этот метод является дорогостоящим для глубоко залегающих угольных пластов. ● Существует риск затопления в тех случаях, когда над разрабатываемым угольным пластом находятся водные горизонты. ● Непрямая дегазация пластов, находящихся в подошве выработок. ● Скважины в выработанных пространствах не могут использоваться до тех пор, пока забой не продвинется на определенное расстояние от скважины, таким образом предполагается предотвратить утечку вентиляционного воздуха на поверхность. ● Сбор газа для его последующего использования требует наличия дорогостоящей трубопроводной инфраструктуры на поверхности. ● Этот метод может применяться только в тех случаях, когда отсутствуют ограничения доступа с поверхности. ● С его помощью можно каптировать и пропустить через систему проветривания большой объем газа, чем тот объем, который может высвободиться в подземной выработке.

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
Текущая дегазация с использованием горизонтальных протяженных скважин, пробуренных в определенном направлении выше или ниже разрабатываемого пласта	Проводится бурение ряда скважин с использованием технологий направленного бурения в соответствующем горизонте, например на расстоянии 20-30 м выше или ниже разрабатываемого пласта, на всю длину прогнозируемой панели лавы. Если на соответствующем горизонте нет участка для бурения, скважина направляется на требуемый уровень с разрабатываемого горизонта.	<ul style="list-style-type: none"> ● Может быть использован в режиме предварительной дегазации до начала ведения горных работ. ● Потенциально более высокая эффективность каптажа, чем при бурении перекрестных скважин из разрабатываемого пласта. ● Работы по дегазации проводятся независимо от работ по добыче угля. ● Может быть получен газ высокой чистоты. ● Каптаж газа из зоны, близкой к местам первоначального выделения около границы угольного забоя. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Направленное бурение является относительно дорогостоящим. ● Могут возникнуть проблемы во вступленных породах и в случае мягких углей. ● Восстановление разрушенных или поврежденных скважин сопряжено с трудностями. ● Отсутствие гибкости в случае изменений в горных работах. ● Этот метод зависит от точности и скорости бурильных работ для обеспечения создания удолветворительной системы до начала добычи угля. ● Необходимо иметь специалистов по подземному бурению и специальное оборудование.

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
Текущая дегазация из верхнерасположенных или нижерасположенных галерей	Выше или ниже разрабатываемого пласта до начала горных работ проводится транспортный штрек. Затем работы в подготовительном штреке прекращаются и обеспечивается его подсоединение к системе дегазации рудничного воздуха с помощью трубопровода, проходящего через противопожарную шахтную перемышку. Зона влияния дренажной выработки может быть расширена путем бурения из нее вентиляционных скважин до изоляции участка.	<ul style="list-style-type: none"> ● Может дополняться бурением перекрестных скважин из галереи. ● Потенциально более высокая эффективность каптажа газа в сравнении с перекрестными скважинами, пробуренными от разрабатываемого горизонта. ● Работы по дегазации ведутся отдельно от работ по добыче угля. ● В целях сокращения затрат в некоторых случаях можно использовать существующие штреки или старые выработки, находящиеся выше или ниже предлагаемого участка добычи угля. ● Как правило, можно получать газ достаточно высокой чистоты. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Обеспечение доступа из разрабатываемого пласта на уровень галереи сопряжено с большими расходами. ● Присутствует риск возникновения пожара в угольных пластах, склонных к самовозгоранию, в результате утечек вентиляционного воздуха. ● Этот метод является дорогостоящим, если не применяется в достаточном угольном пласте. ● Этот метод не является гибким в случае изменений в горных работах. ● Может быть неэффективным в тех случаях, когда между дренажной галереей и длинным очистным забоем присутствует мощное отложение пластов.

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
Текущая дегазация с использованием направленного бурения "поверхность-пласт"	Относительно новый вид применения отлаженной технологии направленного бурения скважин от поверхности в пласты над разрабатываемым пластом с достижением при этом конфигурации, схожей с конфигурацией при направленном бурении из подземных выработок, для целей проведения текущей дегазации.	<ul style="list-style-type: none"> ● Не требуется подземного доступа. ● Может быть обеспечено за счет повторного использования скважин «поверхность-пласт», пробуренных для целей предварительной дегазации. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Высокие издержки. ● Повторно используемые скважины для предварительной дегазации могут быть повреждены в ходе горных работ. ● Не устраняет необходимости наличия подземных перекрестных скважин вблизи забоя для обеспечения эффективного контроля за газовой обстановкой.
Текущая дегазация из камер или трубопроводов в выработанных пространствах лавы	В выработанном пространстве за забоем сооружается камера, которая соединяется через изоляционные перемычки с системой дегазации. При альтернативном варианте дренажная труба с открытым концом в зоне начала забоя продлевается по мере продвижения разработки обратным ходом.	<ul style="list-style-type: none"> ● Снижает концентрации метана в исходящем вентиляционном просеке забоя, разрабатываемого обратным ходом. ● Сокращение объема газа, поступающего в выемочное поле. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Может привести к каптажу и передаче воспламеняющихся газовых смесей, создав неприемлемую опасность для шахтеров. ● Необходимо наличие значительных мощностей для дегазации источников метановыделения ввиду низкой чистоты каптируемого газа, что приводит к неэффективности. ● Низкая эффективность каптажа газа. ● Малый объем каптажа газа.

Метод	Описание	Преимущества	Недостатки
Текущая дегазация из квершлагов в выработанное пространство лавы (вариант вышеприведенного метода)	Квершлаг прокладываются от параллельного штрека вдоль выемочного поля для изоляции выработанного пространства. Система дегазации подсоединяется к трубопроводу через изоляционную переемычку, сооруженную в квершлаг.	<ul style="list-style-type: none"> ● В некоторых случаях может снизить необходимость в бурении перекрестных скважин для дренажа рудничного газа. ● Работы по дегазации не зависят от работ по добыче угля. ● Сокращает концентрацию метана в исходящей вентиляционной системе длинного очистного забоя. 	<ul style="list-style-type: none"> ● Может привести к каптажу и передаче воспламеняющихся газовых смесей, что создает неприемлемую опасность для шахтеров. ● Необходимо наличие больших мощностей для дегазации источников метановыделения ввиду низкой чистоты каптируемого газа. ● Эффективность каптажа газа, как правило, низкая. ● Может применяться только в тех случаях, когда есть возможность проведения подходящего штрека из квершлагов к выработанному пространству.

Справочные материалы

Black, D. & Aziz, N. (2009). *Reducing Coal Mine GHG Emissions Through Effective Gas Drainage and Utilisation*. 2009 Coal Operators Conference, Australian Institute of Mining and Metallurgy, Illawarra Branch, pp. 217-224.

CDM Executive Board. (2006). *Tool to determine project emissions from flaring gases containing methane*. Meeting 28. Bonn, Germany: Clean Development Mechanism (CDM) Executive Board.

Coward, H.F. (1928). *Explosibility of atmospheres behind stoppings*. *Trans Inst Min Engs*, 77, pp. 94 – 115.

Creedy, D.P. (1986). *Methods for the Evaluation of Seam Gas Content From Measurements on Coal Samples*. *Mining Science and Technology*, Vol. 3, pp. 141 – 160. Amsterdam: Elsevier.

Creedy, D.P. (2001). *Effective Design and Management of Firedamp Drainage*. *UK Health and Safety Executive, Contract Research Report 326/2001*, pp. 48, 1 annex, HSE Books.

Creedy, D.P. & Phillips, H.R. (1997, July). *Methane Layering in Bord-and-Pillar Workings*. *Safety in Mines Research Advisory Committee (SIMRAC) Final Report. Project COL 409*. Johannesburg, South Africa: Safety in Mines Research Advisory Committee.

Creedy, D.P., Saghafi, A., & Lama, R. (1997, April). *Gas Control in Underground Coal Mines: IEA Coal Research*. International Energy Agency (IEA) CR/91, pp. 120. London: The Clean Coal Centre.

Department of Mineral and Energy Affairs. (1994, October). *Guidelines for a Code of Practice for the Ventilating of Mechanical Miner Sections in Coal Mines in terms of Section 34(1) of the Minerals Act 1991*, Second Edition, Ref. *GME 16/2/1/20*.

Diamond, W.P. & Levine, J.R. (1981). *Direct Method of Determination of the Gas Content of Coal: Procedures and Results. Report of Investigation 8515*. Pittsburgh, PA (U.S.): United States Department of the Interior, Bureau of Mines.

Diamond, W.P. & Schatzel, S.J. (1998). *Measuring the Gas Content of Coal: A Review*. *Int. Journ. of Coal Geology* 35, pp. 311 – 331. Amsterdam: Elsevier.

ESMAP (2007, July). *A Strategy for Coal Bed Methane (CBM) and Coal Mine Methane (CMM) Development and Utilization in China: Formal Report 326/07*, pp. 109. Washington, D.C.: Международный банк реконструкции и развития (МБРР)/Всемирный банк, Программа помощи в области управления сектором энергетики (ЭСМАП).

Gaskell, P. (1989). *A Study of Sub-Surface Strata Movement Associated with Longwall Mining*. PhD. Thesis. University of Nottingham.

МЭА (2009 год). *Прогноз мировой энергетики*. Париж, Франция: Международное энергетическое агентство (МЭА).

МБТ (2006 год). *Свод практических правил по охране труда в подземных угольных разработках*. Международное бюро труда (МБТ).

IPCC (2007). *Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. Geneva, Switzerland: International Panel on Climate Change (IPCC).

Janas, H. F. & Opahle, M. (1986). Improvement of Gas Content Determination. *Glückauf-Forschh* 47, pp. 83 – 89. Essen, Germany.

Kissell, F. N. (2006). *Handbook for Methane Control in Mining*. Pittsburgh, PA (U.S.): Pittsburgh Research Laboratory, National Institute for Occupational Safety and Health.

Kissell, F. N., et al. (1973). *Direct Method of Determining Methane Content of Coalbeds for Ventilation Design*. Report of Investigation RI7767. U.S. Bureau of Mines.

Landman, G v R. (1992). *Ignition and initiation of coal mine explosions*. PhD. Thesis, University of the Witwatersrand, pp. 252.

Партнерство «Метан – на рынки» (2008 год). *Глобальные выбросы метана и возможности их снижения*. Вашингтон (О.К.): Группа административной поддержки «Метан – на рынки».

Партнерство «Метан – на рынки» (2009 год, сентябрь). International Coal Mine Methane Projects Database. www.methanetomarkets.org.

MSHA (2009). *Injury experience in coal mining*, MSHA IR1341. Washington, D.C.: U.S. Department of Labor, Mine Safety & Health Administration (MSHA).

Moreby, R. (2009). Private communications.

SAWS (2009). China State Administration of Worker Safety.

Shi Su, et al. (2006, January). *Development of Two Case Studies on Mine Methane Capture and Utilization in China*. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation (CSIRO).

University of Alberta. (2004). *Flare Research Project: Final Report 1996-2004*. Kostiuk, L., Johnson, M., and Thomas, G. Edmonton, Alberta, Canada: University of Alberta.

US EPA. (2006a). *Global Anthropogenic Emissions of Non-CO₂ Greenhouse Gases: 1990-2020*. EPA-430-R-06-003. Washington, D.C. (U.S.): U.S. Environmental Protection Agency.

US EPA. (2006b). *Global Mitigation of Non-CO₂ Greenhouse Gases*. EPA-430-R-06-005. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.

von Schoenfeldt, H. (2008, January). «Advanced CMM and CBM Extraction Technologies.» CBM Conference. Singapore.

Дополнительные материалы

Boxho, J., Stassen, P., Mücke, G., Noack, K., Jeger, C., Lescher, L., Browning, E., Dunmore, R., & Morris, I. (1980). *Firedamp Drainage Handbook for the Coalmining Industry in the European Community*, p. 415. Coal Directorate of the Commission of the European Communities. Essen: Verlag Glückauf GmbH.

Brandt, J. & Kunz, E. (2008). *Gas Drainage in High Efficiency Workings in German Coal Mines*. Presentation at the 21st World Mining Congress, session "Methane Treatment," pp. 41 – 50. Krakau.

Creedy, D.P. (1996). *Methane Prediction in Collieries. Safety in Mines Research Advisory Committee (SIMRAC) Final Report, Project COL 303*. Johannesburg, South Africa: Safety in Mines Research Advisory Committee.

ESMAP. (2008, December). *Economically, socially and environmentally sustainable coal mining sector in China: World Bank Report No. 47131*, pp. 258. Washington, D.C.: The International Bank for Reconstruction and Development (IBRD)/WORLD BANK Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP).

Hinderfeld, G. (1985). State and Perspectives of Gas Drainage. *Bergbau 2*, pp. 7. Essen, Germany.

Kravits, S. J & Li, J, (1995, March). Innovative in-mine gas recovery techniques implemented by Resource Enterprises. In: *International Symposium-Cum-Workshop on Management Control of High Gas Emission and Outbursts*, pp. 523 – 532. Wollongong, NSW, Australia.

Lama, R.D. & Bodziony, J. (1998). Management of outburst in underground coal mines. *Int. Journ. of Coal Geology 35*, pp. 83 – 115, Amsterdam: Elsevier.

Lunazewski, L. W. (1998). Gas Emission Prediction and Recovery in Underground Coal Mines. *Int. Journ. of Coal Geology 35*, pp. 117 – 145, Amsterdam: Elsevier.

Mine ventilation handbook, Mine Ventilation Society of South Africa.

Moore, S., Freund, P., Riemer, P., & Smith, A. (1998, June). *Abatement of Methane Emissions*. Paris, France: International Energy Agency (IEA) Greenhouse Gas R&D Programme.

Mutmansky, J. M. & Thakur, P.C. (1999). *Guidebook on Coalbed Methane Drainage for Underground Coal Mines*, pp. 46.

Noack, K. (1998). Control of gas emissions in underground coal mines. *Int. Journ. Of Coal Geology 35*, pp. 57 – 82. Amsterdam: Elsevier.

Schlotte, W. & Brandt, J. (2003). *50 Years of Coal Research – Gas Emissions, Ventilation and Climate*. *Glückauf 139*, pp. 402 – 408. Essen, Germany.

Sdunowski, R. & Brandt, J. (2007). Optimizing the Gas Drainage in High Performance Longwalls. *Glückauf 143*, pp. 528 – 534. Essen, Germany.

Skiba, J. (2009, November). Central Mining Institute of Katowice. Personal communication.

Somers, M.J. & Schultz, H.L. (2008). *Thermal Oxidation of Coal Mine Ventilation Air Methane*. 12th U.S./ North American Mine Ventilation Symposium 2008, Reno, NV (U.S.): Wallace.

Thakur, P.C. (1997). Methane Drainage from Gassy Mines – A Global Review. *Proc. Of the 6th Int. Mine Vent. Congr.* pp. 415 – 422. Pittsburgh, PA (U.S.).

US EPA. (2003, July). *Assessment of the Worldwide Market Potential for Oxidizing Coal Mine Ventilation Air Methane*. EPA-430-R-03-002. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. www.epa.gov/cmop/resources/index.html

US EPA. (2009, July). *Coal Mine Methane Finance Guide*. EPA-400-D-09-001. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.

US EPA. (2009, July). *Coal Mine Methane Recovery: A Primer*. EPA-430-R-09-013. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.

US EPA. (2008, January). *Upgrading Drained Coal Mine Methane to Pipeline Quality: A Report on the Commercial Status of System Suppliers*. EPA-430-R-08-004. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.