

**ЕЭК ООН**

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



**Второе издание,  
декабрь 2016 года**



**ОРГАНИЗАЦИЯ  
ОБЪЕДИНЕННЫХ  
НАЦИЙ**

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

**СЕРИЯ ПУБЛИКАЦИЙ ЕЭК ПО ЭНЕРГЕТИКЕ, № 47**

**Второе издание,  
декабрь 2016 года**



**ОРГАНИЗАЦИЯ  
ОБЪЕДИНЕННЫХ  
НАЦИЙ**

## 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.

ECE/ENERGY/105
----------------

ИЗДАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ
---

e-ISBN: 978-92-1-059947-4
---------------------------

ISSN: 1014-9112
-----------------

# Содержание

<b>Предисловие .....</b>	<b>8</b>
<b>Выражение признательности.....</b>	<b>10</b>
<b>Сокращения и аббревиатуры.....</b>	<b>14</b>
<b>Глоссарий терминов .....</b>	<b>16</b>
<b>Резюме .....</b>	<b>19</b>
<b>Выводы .....</b>	<b>24</b>
<b>Глава 1. Введение.....</b>	<b>27</b>
Основные тезисы .....	27
1.1. Цели настоящего руководящего документа .....	27
1.2. Проблемы.....	28
1.3. Дегазация, каптирование, утилизация и сокращение атмосферных выбросов газов.....	30
<b>Глава 2. Основы управления газовойделением .....</b>	<b>33</b>
Основные тезисы .....	33
2.1. Цели управления газовойделением .....	33
2.2. Возникновение газоопасных ситуаций.....	33
Возгорание взрывоопасных метановых смесей .....	36
2.3. Снижение уровня взрывоопасности .....	36
2.4. Принципы нормативного регулирования и управления .....	37
Эффективная нормативная база для обеспечения безопасности .....	37
Соблюдение норм безопасности.....	37
Концентрации газов, допустимые для безопасных условий труда .....	38
Безопасность при транспортировке и утилизации газа.....	38
Нормативное регулирование, направленное на снижение опасности возгорания.....	40
<b>Глава 3. Присутствие и высвобождение газов и прогнозирование газовойделения     в угольных шахтах .....</b>	<b>43</b>
Основные тезисы .....	43
3.1. Введение.....	43
3.2. Присутствие газа в угольных пластах .....	43
3.3. Процесс газовойделения .....	44
3.4. Относительная газообильность угольных шахт.....	45

3.5. Понимание характеристик газов угольных шахт.....	45
3.6. Измерение природной газоносности угля.....	46
3.7. Практические расчеты газовых потоков в угольных шахтах .....	48
<b>Глава 4. Вентиляция шахты.....</b>	<b>51</b>
Основные тезисы .....	51
4.1. Цели проветривания.....	51
4.2. Основные элементы проекта вентиляционной системы .....	51
4.3. Проветривание газообильных выемочных участков.....	52
4.4. Потребность в электроэнергии для вентиляционной системы .....	55
4.5. Проветривание тупиковых выработок и камер.....	55
4.6. Мониторинг воздухораспределения .....	56
4.7. Управление проветриванием.....	57
<b>Глава 5. Дегазация источников метановыделения .....</b>	<b>59</b>
Основные тезисы .....	59
5.1. Дегазация источников метановыделения и связанные с ней проблемы.....	59
5.2. Основные принципы применяемых в мире практик дегазации источников метановыделения .....	59
5.3. Предварительная дегазация .....	60
5.4. Основные принципы текущей дегазации .....	61
5.5. Требования, предъявляемые к системам дегазации источников метановыделения .....	64
5.6. Подземные газодренажные трубопроводы.....	65
5.7. Мониторинг систем дегазации источников газовой выделения.....	65
<b>Глава 6. Использование метана и борьба с его выбросами .....</b>	<b>69</b>
Основные тезисы .....	69
6.1. Шахтный метан и смягчение последствий изменения климата .....	69
6.2. Шахтный метан как энергоресурс .....	69
6.2.1 Шахтный метан .....	70
6.2.2 Метан угольных разрезов .....	70
6.3. Варианты использования метана.....	72
6.4. Борьба с выбросами метана и использование каптированного метана.....	73
6.4.1 Шахтный метан средней/высокой концентрации.....	73
6.4.2 Дегазационный метан низких концентраций .....	75
6.4.3 Технологии повышения концентрации дегазационного метана .....	75
6.4.4 Сжигание в факеле.....	76

6.5. Снижение выбросов метана вентиляционных струй низкой концентрации или его утилизация.....	77
6.6. Мониторинг метана.....	80
6.7. Использование метана из закрытых и заброшенных шахт.....	81
<b>Глава 7. Издержки и экономические вопросы .....</b>	<b>85</b>
Основные тезисы .....	85
7.1 Обоснование целесообразности каптирования метана.....	85
7.2 Сравнительные издержки дегазации источников метановыделения.....	85
7.3 Экономические аспекты утилизации метана .....	87
7.4 Углеродное финансирование и другие стимулы.....	90
7.5 Вмененные издержки утилизации.....	94
7.6 Природоохранные затраты.....	94
<b>Глава 8. Выводы и резюме для директивных органов .....</b>	<b>97</b>
<b>Глава 9. Примеры из практики .....</b>	<b>101</b>
Пример 1: Достижение плановых показателей добычи угля на газообильной шахте, работающей по системе длинных забоев с выемкой обратным ходом, при высоких напряжениях во вмещающих породах склонного к самовозгоранию угольного пласта – Соединенное Королевство .....	101
Пример 2: Обеспечение высокой производительности газообильного выемочного участка – Германия .....	104
Пример 3: Обеспечение высокой производительности газообильного выемочного участка – Австралия .....	106
Пример 4: Безопасная разработка угольных пластов, склонных к внезапным выбросам – Австралия .....	108
Пример 5: Производство электроэнергии и борьба с выбросами метана по системе когенерации на основе шахтного метана – Китай.....	108
Пример 6: Утилизация ШМ и смягчение последствий выбросов метана на трех крупных угольных шахтах – Китай.....	109
Пример 7: Метан вентиляционных струй – Китай.....	114
Пример 8: Метан вентиляционных струй – Австралия.....	115
Пример 9: Снижение риска взрывов на шахтах с камерно-столбовой системой разработки – Южная Африка .....	117
Пример 10: Взрывы газа на угольной шахте «Пайк-Ривер» – Новая Зеландия.....	119
<b>Приложение 1. Сравнение методов дегазации источников газовыделения.....</b>	<b>125</b>
<b>Справочные материалы .....</b>	<b>130</b>
<b>Дополнительные материалы .....</b>	<b>132</b>

## Перечень диаграмм

Диаграмма ES-1. Утилизация ШМ в рамках глобальных проектов. На диаграмме показано общее количество действующих во всем мире проектов по утилизации ШМ, с разбивкой по видам конечного использования, о которых имеется информация у партнерства «Глобальная инициатива по метану» .....	22
Диаграмма 1.1 Схема подземной системы дегазации угольной шахты и объектов на поверхности, используемых для утилизации энергоресурсов и сокращения выбросов ШМ.....	31
Диаграмма 2.1 Образование взрывоопасных смесей.....	34
Диаграмма 3.1 Модельный разрез, параллельный линии длинного очистного забоя, на котором показано формирование трещин в породном массиве в результате выемки угля с образованием выработанного пространства, и результаты моделирования, отображающие его разгрузку .....	45
Диаграмма 3.2 Оборудование для измерения газоносности (австралийский стандарт).....	47
Диаграмма 4.1 Воздушные потоки, необходимые для разбавления выделений метана в длинном забое до двухпроцентной концентрации, с учетом допущений по пиковым значениям.....	53
Диаграмма 4.2 Традиционная возвратноточная схема проветривания .....	54
Диаграмма 4.3 Схемы проветривания, применяемые на газообильных выемочных участках.....	54
Диаграмма 4.4 Пример потребления электроэнергии для подачи вентиляционного воздуха по отношению к расходу воздуха.....	55
Диаграмма 5.1 Схема предварительной дегазации с помощью пробуренных с поверхности направленных скважин .....	61
Диаграмма 5.2 Варианты бурения скважин для текущей дегазации .....	63
Диаграмма 6.1 Оптимизация рекуперации энергии при горных работах с практически нулевыми выбросами метана .....	70
Диаграмма 6.2 Профиль угольного разреза с указанием возможного размещения наклонно-направленной скважины.....	71
Диаграмма 6.3 Схематичное представление последовательности бурения вертикальных скважин при развитии горных работ на угольном разрезе.....	72
Диаграмма 6.4 Структура проектов использования шахтного метана в мире.....	73
Диаграмма 6.5 Установка переработки МВС «Дюрр» (3 блока регенеративного термического окислителя) на угольной шахте «МакЭлрой» в США .....	80
Диаграмма 6.6 Установка обработки МВС компании «Дюрр системз» на угольной шахте Гаохэ в Китае.....	81
Диаграмма 6.7 Снижение дебита и потенциала резервуара метана на закрытых газообильных шахтах во времени .....	82
Диаграмма 7.1 Производство электроэнергии на основе использования шахтного метана и борьба с его выбросами: мониторинг результативности в режиме реального времени с представлением диаграммы и параметров показателей результативности использования шахтного метана в трех газовых двигателях и его сжигания в одной факельной установке .....	88
Диаграмма 7.2 Изменения дебита и концентрации метана, влияющие на оптимальную производительность и использование двигателей и факельного сжигания .....	89

Диаграмма 7.3 Двойные доходы от производства электроэнергии на основе шахтного метана при эффективности дегазации 40% и использовании 80% каптированного газа.....	93
Диаграмма 9.1 Возвратноточная схема проветривания с проходкой присечного штрека позади очистного забоя.....	103
Диаграмма 9.2 Система «Липфрог».....	103
Диаграмма 9.3 Станок для бурения скважин вкрест простирания.....	104
Диаграмма 9.4 Длинный забой с прогрессивной Y-образной схемой проветривания и дегазационными скважинами в кровле и почве выработки позади длинного забоя.....	105
Диаграмма 9.5 План горных работ с указанием систем вентиляции и дегазации.....	107
Диаграмма 9.6 Первый этап реализации проекта когенерационной установки, работающей на шахтном метане, на шахте D.....	113
Диаграмма 9.7 Факельная система на шахте Т.....	113
Диаграмма 9.8 Борьба с выбросами метана вентиляционных струй и рекуперация энергии – Китай.....	114
Диаграмма 9.9 Борьба с выбросами МВС и рекуперация энергии для производства электроэнергии.....	116
Диаграмма 9.10 Установка переработки МВС и электростанция «УэстВАМП», работающая на извлеченном метане.....	117
Диаграмма 9.11 Наземные установки отражают экологическую чувствительность территории, на которой постройки находятся непосредственно в лесу.....	120
Диаграмма 9.12 Пожар в воздуховыдающем стволе шахты после третьего взрыва.....	120

## Перечень таблиц

Таблица 1.1 Крупные аварии, связанные со взрывами в угольных шахтах, в период после 2010 года.....	28
Таблица 2.1 Примеры предписываемых и рекомендуемых предельных значений воспламеняемых концентраций метана.....	39
Таблица 6.1 Сопоставление видов использования ШМ.....	74
Таблица 7.1 Относительные издержки на тонну добытого угля в 2015 году в долл. США при применении различных методов дегазации.....	86
Таблица 9.1 Перечень примеров.....	101
Таблица 9.2 График реализации проектов.....	111
Таблица 9.3 Сводный обзор эффективности проектов использования шахтного метана (ШМ).....	112
Таблица 9.4 Объемы энергии, которые могут быть получены на установке переработки вентиляционного воздуха с расходом 250 000 нм <sup>3</sup> /ч при различных условиях эксплуатации.....	115
Таблица 9.5 Оценка риска воспламенения в результате образования в шахтах слоевых скоплений метана при камерно-столбовой системе разработки пластов.....	117



## Предисловие

На протяжении двух последних столетий уголь является важным источником первичной энергии в мире, и в течение нескольких следующих десятилетий он будет по-прежнему оставаться существенным компонентом глобального энергетического баланса. Без использования угольных ресурсов Цели развития ООН были бы недостижимы. Это никоим образом не уменьшает важность возобновляемых источников энергии и других низкоуглеродных стратегий, но подчеркивает прагматичное признание того факта, что в обозримом будущем уголь будет иметь первостепенное значение в обеспечении энергетической безопасности многих стран и будет и впредь играть значительную роль в преодолении дефицита энергоресурсов во всем мире.

Признавая, что в течение некоторого времени крупномасштабная добыча угля будет продолжаться, мы также должны признать, что будет продолжаться и негативное воздействие на здоровье, безопасность людей и на окружающую среду метана, выделяемого в процессе выемки угля. Выделение метана создает опасные условия для ведения работ, неприемлемым последствием которых является гибель людей в результате многочисленных аварий, вызываемых метаном. Метан также является парниковым газом (ПГ). Недавние исследования показали, что воздействие метана на атмосферу имеет гораздо более серьезные последствия, чем предполагалось первоначально, а угольные шахты являются четвертым по величине источником выбросов метана, после нефтегазовой отрасли, полигонов для захоронения отходов и животноводства.

В процессе перехода от ископаемых видов топлива к другим энергоносителям исключительно важно свести к минимуму негативное воздействие добычи угля на окружающую среду. Обеспечение безопасного извлечения, транспортировки и утилизации метана в течение всего жизненного цикла угольной шахты имеет определяющее значение для решения этой задачи. Безопасное извлечение метана в конечном итоге сохраняет жизни шахтеров, а эффективные процессы деструкции и утилизации ценного газа обеспечивают доступное и более чистое топливо для населенных пунктов, расположенных в непосредственной близости от горнодобывающих комплексов. Технологические достижения позволили значительно сократить выбросы метана даже на самых газообильных шахтах. Однако внедрение соответствующих технологий и полное исключение случаев гибели людей в результате снижения выбросов метана в атмосферу еще не стали повсеместными явлениями, и продвижению в этом направлении может мешать недостаточная осведомленность о руководящих принципах процессов дегазации источников метановыделения и утилизации метана на угольных шахтах. Настоящий документ призван дополнить существующие технические ресурсы, являясь насыщенным и доступным источником рекомендаций для руководителей высшего звена, ответственных за принятие корпоративных, государственных и финансовых решений, касающихся внедрения передовых практик.

*«Руководство по наилучшей практике эффективной дегазации источников метановыделения и утилизации метана на угольных шахтах»* устраняет серьезный пробел на этот счет. Рекомендуемые в Руководстве 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 осмысленного принятия решений, касающихся как политики развития, так и коммерческих аспектов соответствующей деятельности. Такие знания имеют крайне важное значение для полного предотвращения случаев гибели людей и недопущения взрывов шахтного метана при одновременной минимизации воздействия атмосферных выбросов ШМ на окружающую среду.

Данное Руководство также может быть использовано студентами и техническими специалистами для ознакомления с основными принципами управления метановыделением и с источниками справочной информации по соответствующей тематике.

*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. Несмотря на то, что Руководство по наилучшей практике призвано служить подспорьем нормативно-правовых регуляторных программ, основанных на эффективности и применении определенных принципов, его также можно использовать в дополнение к мерам более директивного регулирования и для поддержки перехода к регламентированию на основе показателей эффективности.

Памятуя о недавних авариях и обо всех жертвах прошлых аварий, авторы Руководства изданий 2010 и 2016 годов выражают надежду на то, что их труд будет способствовать повышению безопасности работ на угольных шахтах.

Декабрь 2016 года

Раймонд К. Пилчер,  
Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных  
Наций Председатель, Специальная группа экспертов по шахтному метану ЕЭК ООН

Фелиция А. Руиз,  
Сопредседатель, Подкомитет по углю Глобальной инициативы по метану

## 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 Западной, Центральной и Восточной Европы, Северной Америки и Центральной Азии объединяют усилия с целью укрепления инструментов взаимного экономического сотрудничества. К основным сферам деятельности ЕЭК ООН относятся: экономическое сотрудничество и интеграция, политика в области окружающей среды, лесоматериалы и леса, жилье и землепользование, народонаселение, статистика, устойчивая энергетика, торговля и транспорт. Работа ЕЭК ООН по достижению поставленных целей проводится путем анализа политики, разработки конвенций, правил и стандартов, а также предоставления технической помощи ([www.unecsc.org/energy/se/cmm.html](http://www.unecsc.org/energy/se/cmm.html)). Темы, связанные с энергетикой, такие как добыча угля и шахтный метан, обсуждаются государствами-членами в Комитете по устойчивой энергетике (КУЭ). Группа экспертов по шахтному метану в качестве вспомогательного органа КУЭ на регулярной основе проводит совещания в целях обсуждения насущных вопросов и продвижения наилучшей практики управления газовой выделением, каптирования и утилизации метана, высвобождающегося в течение всего жизненного цикла угольной шахты.

**Глобальная инициатива по метану (ГИМ)** представляет собой пример международного государственно-частного партнерства, в рамках которого ведется работа с правительственными учреждениями по всему миру в целях содействия разработке проектов в пяти основных секторах-источниках выбросов метана: сельскохозяйственное производство, угольные шахты, муниципальные твердые бытовые отходы, нефтегазовые системы и хозяйственно-бытовые сточные воды. Деятельность ГИМ, созданной в 2004 году, осуществляется с учетом других международных соглашений по сокращению выбросов парниковых газов (ПГ), в частности, Рамочной конвенции ООН об изменении климата. В отличие от прочих парниковых газов метан, который является основным компонентом природного газа, может использоваться в качестве источника полезной энергии. Соответственно, сокращение выбросов метана является экономически эффективным способом борьбы с парниковыми газами, повышает энергетическую безопасность, способствует экономическому росту, очищает воздух и укрепляет безопасность на производстве. Участниками Глобальной инициативы по метану являются 42 страны-партнера и Европейская комиссия; в совокупности на долю этих стран приходится около 70% антропогенных выбросов метана в мире. Что касается шахтного метана, то в Подкомитете по углю ГИМ ведущие эксперты по извлечению и утилизации шахтного метана обмениваются информацией о современных технологиях и применяемых методах практической работы, проводя тематические рабочие совещания, организуя курсы профессиональной подготовки и ознакомительные поездки, а также в процессе реализации инициатив по наращиванию потенциала ([www.globalmethane.org](http://www.globalmethane.org)).

### Структура

Первоначальный документ, опубликованный в феврале 2010 года, был подготовлен по рекомендации Руководящего комитета, который определил его направленность и общую концепцию. Проект документа был подготовлен Группой технических экспертов в составе пяти признанных в мире экспертов по вентиляции и дегазации источников метановыделения угольных шахт. Первое рассмотрение проекта документа до выполнения экспертами официальной технической экспертизы проводилось Консультативной группой представителей заинтересованных сторон для обеспечения того, чтобы содержащиеся в нем идеи были изложены четко и доходчиво для руководителей старшего звена директивных органов. Лица, которые внесли свой вклад в первое издание Руководства по наилучшей практике 2010 года и в нынешнее переработанное издание 2010 года, добровольно и с готовностью посвятили этой работе свое время, желая содействовать повышению безопасности труда в угледобывающей промышленности.

Процесс подготовки обновленного издания документа 2016 года проходил по описанной выше схеме: Группа экспертов сформировала Исполнительный руководящий комитет и на добровольной основе была создана Редакционная группа технических экспертов. Важнейший вклад в работу внесла Консультативная группа представителей заинтересованных сторон, которая изучила содержание документа и проверила его соответствие конкретным практическим принципам.

В этом первом переработанном издании сохранена исходная структура документа, обновлено его содержание и представлены дополнительные примеры, расширяющие охват проиллюстрированных принципов наилучшей практики. В частности, в данное издание включены следующие изменения:

- внесены незначительные редакционные изменения и исправлены немногочисленные типографские ошибки;
- обновлены некоторые ссылки;
- внесены поправки редакционного характера для дополнительных разъяснений некоторых вопросов существа или примеров, позволяющие более четко раскрыть соответствующие темы;
- добавлены материалы по тематике управления метаном на угольных разрезах и закрытых шахтах;
- приведена обновленная информация по затратам на проекты по каптированию и утилизации метана, а также внесены изменения в материалы, касающиеся рынков экологических сырьевых товаров, в свете изменений на рынках компенсаций за выбросы углерода, по сравнению с 2010 годом;
- произведено обновление содержания ряда примеров и добавлено нескольких новых примеров;
- внесены другие обновления в материалы документа, содержащие информацию о значительном прогрессе, достигнутом за период после 2010 года.

По замыслу ЕЭК ООН и ГИМ, данный документ должен иметь формат «живого» документа, который можно было бы периодически обновлять с учетом динамики среды, в которой функционирует энергетическая отрасль, а также глобальных изменений климата.

---

**Лица, внесшие вклад в создание второго издания «Руководства по наилучшей практике эффективной дегазации источников метановыделения и утилизации метана на угольных шахтах» (октябрь 2016 года)**

**Исполнительный руководящий комитет**

- Фелиция А. Руиз, Сопредседатель, Подкомитет по углю Глобальной инициативы по метану
- Кларк Толкингтон, заместитель Председателя, Группа экспертов по шахтному метану
- Яцек Скиба, заместитель Председателя, Группа экспертов по шахтному метану

**Редакционная группа технических экспертов**

- Дэвид Криди, «Синдикатум састейнэбл рисорсиз»
- Раймонд К. Пилчер, «Рэйвен ридж рисорсиз»
- Майкл Котэ, «Руби Каньон Инжиниринг»
- Ричард Маттус, «РМ Бизнес Консалтинг»

**Консультативная группа от заинтересованных сторон**

- Бхарате Белле, горнодобывающая компания «Англо-Америкэн» (Австралия/Южная Африка)
- Юрий Бобров, Ассоциация шахтерских городов Донбасса (Украина)
- Мартин Хан, Международная организация труда
- Озген Каракан, Национальный институт безопасности и гигиены труда США
- Сергей Шумков, Министерство энергетики (Российская Федерация)
- Шехар Саран, Центральный институт планирования и проектирования горнодобывающей промышленности (Индия)
- Ху Юйхун, Государственная служба по вопросам безопасности труда (Китай)

## **Лица, внесшие вклад в создание первого издания «Руководства по наилучшей практике эффективной дегазации источников метановыделения и утилизации метана на угольных шахтах» (февраль 2010 года)**

### Исполнительный руководящий комитет

- Памела Франклин, Сопредседатель, Подкомитет по углю М2М
- Роланд Мадер, заместитель Председателя, Специальная группа экспертов по шахтному метану ЕЭК ООН
- Раймонд К. Пилчер, Председатель, Специальная группа экспертов по шахтному метану ЕЭК ООН
- Шарлотта 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)
- Люк Уоррен, Всемирный институт угля (Соединенное Королевство)

### 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)

## Сокращения и аббревиатуры

<b>МУП</b>	Метан угольных пластов
<b>МЧР</b>	Механизм чистого развития
<b>ССВ</b>	Сертифицированные сокращения выбросов
<b>КПРР</b>	Каталитический поточный реверсивный реактор
<b>СН4</b>	Метан
<b>ШМ</b>	Шахтный метан
<b>КМР</b>	Каталитический монолитный реактор
<b>КПГ</b>	Компримированный природный газ
<b>СО<sub>2</sub></b>	Диоксид углерода
<b>СО<sub>2</sub>э</b>	Эквивалент диоксида углерода
<b>СПСВ</b>	Соглашение о покупке сокращений выбросов
<b>ЕСВ</b>	Единицы сокращения выбросов
<b>ЭСМАП</b>	Программа помощи в области управления сектором энергетики (Всемирный банк)
<b>ПГ</b>	Парниковый газ
<b>ПГП</b>	Потенциал глобального потепления
<b>МБРР</b>	Международный банк реконструкции и развития
<b>ВС</b>	Внутреннее сгорание
<b>ИТО</b>	Инспекции и техническое обслуживание
<b>СО</b>	Совместное осуществление
<b>КВтч</b>	Киловатт-час
<b>СПГ</b>	Сжиженный природный газ
<b>л/сек</b>	Литров в секунду
<b>м</b>	Метр
<b>м/сек</b>	Метров в секунду
<b>м<sup>3</sup>/с</b>	Кубометров в сутки
<b>м<sup>3</sup>/сек</b>	Кубометров в секунду
<b>мД</b>	Миллидарси (общепотребительная единица измерения, составляет около 10 <sup>-3</sup> (мкм) <sup>2</sup> )
<b>БСР</b>	Бурение среднего радиуса
<b>АМС</b>	Адсорбция молекулярным ситом
<b>Млн т</b>	Миллион (10 <sup>6</sup> ) тонн
<b>Млн т/ год</b>	Миллион тонн (10 <sup>6</sup> ) в год
<b>МВт<sub>э</sub></b>	Мощность в мегаваттах электрической энергии

---

<b>нм<sup>3</sup></b>	Кубический метр при нормальных условиях
<b>PSA</b>	Короткоцикловая адсорбция
<b>скф/м</b>	Стандартные кубические футы в минуту
<b>т</b>	Тонн (метрических) – эквивалентно 1,102 коротких тонн
<b>т/с</b>	Тонн в сутки
<b>ТПРР</b>	Термический поточный реверсивный реактор
<b>БМР</b>	Бурение малого радиуса
<b>ЕЭК ООН</b>	Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций
<b>РКИКООН</b>	Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата
<b>МВС</b>	Метан вентиляционных струй
<b>ПСВ</b>	Проверенные сокращения выбросов
<b>ГРБ США</b>	Горнорудное бюро Соединенных Штатов Америки



## Глоссарий терминов

В угольной промышленности и отрасли по утилизации шахтного газа до сих пор 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.unepce.org/energy/se/pdfs/cmm/cmm4/ECE.ENERGY.GE.4.2008.3\\_e.pdf](http://www.unepce.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.

**Проветривание сопряжения** – организация дополнительного проветривания сопряжения очистного забоя и вентиляционного штрека для отведения части воздуха из выработанного пространства по возвратноточной схеме 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 на поверхность отводится воздух, насыщенный газом. Вентиляционные стволы, как правило, не используются для перемещения людей и материалов.

**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, служащие 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 одного выемочного участка, 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 дегазационные скважины или горные выработки 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, каптированный в процессе предварительной дегазации, может иметь высокую степень чистоты и считается ШМ только при условии извлечения через скважину.

**Непластовый газ** – газ, выделяемый не непосредственно из угольного пласта.

**Дегазация источников газовыделения** – 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. Также используется термин «дегазация шахты».

**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 отработываемого пласта. В Соединенных Штатах обычно используется термин «gob», а в других англоязычных странах, как правило, употребляется термин «goaf».

**Дегазация источников метановыделения** – см. «дегазация источников газовыделения».

**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.

**Внезапный выброс** – резкий выброс угля или горной породы, сопровождающийся большими объемами газа (метан, диоксид углерода или смесь), со свежееобнаженной поверхности забоя в процессе горных работ.

**Предварительная дегазация (дегазация до выработки)** – извлечение газа из угля до начала ведения горных работ.

**Текущая дегазация (дегазация во время выработки)** – извлечение газа, выделяемого в результате ведения горных работ.

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

**Шахтный метан поверхностных скважин** – метан, содержащийся в минеральных отложениях и окружающих пластах и выделяющийся в результате разработки открытым способом.

**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 мировая экономика также будет находиться в зависимости от угольных энергетических ресурсов. В настоящее время за счет поставок угля покрывается около 30% 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), будет происходить постепенное снижение глобального спроса на уголь; однако азиатские страны с формирующимися рынками, в частности, Китай и Индия, продолжают оставаться движущей силой глобального спроса, который к 2019 году может достичь 9 млрд тонн, несмотря на попытки Китая снизить масштабы использования угля (МЭА, 2014 год). В 2013 году в мире было добыто 7,8 млрд тонн угля (Всемирная ассоциация угля).

Вследствие сохранения зависимости от производства угля добычу угля во многих частях мира, вероятно, 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 газоносных 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 людей 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 чрезвычайных происшествий в виде взрывов метана, особенно в странах с формирующимися рынками, являются неприемлемо высокими. Необходимо ознакомить все страны с надлежащей практикой ведения горных работ, чтобы обеспечить профессиональный и эффективный подход к управлению рисками. Ни одна шахта, даже в наиболее развитых странах, не ограждена от рисков в области безопасности. Вместе с тем, независимо от места и условий ведения горных работ, имеются возможности для существенного снижения рисков аварий и взрывов, связанных с метаном.

Метан является взрывоопасным газом при концентрации в воздухе в пределах от 5% до 15%. Его транспортировка, сбор или утилизация при таких концентрациях, и даже при концентрациях в диапазоне от нижнего предела, в 2,5 раза меньшего чем указанный нижний предел взрывоопасности (т.е. при концентрации 2,0%), до предела, превышающего указанный верхний предел не менее чем в 2 раза (т.е. 30%), обычно считаются недопустимыми ввиду взрывоопасности, свойственной метану при таких концентрациях.

Эффективное управление связанными с метаном рисками на угольных шахтах может также внести позитивный вклад в сокращение выбросов ПГ. Угольные шахты являются крупным источником выбросов метана – активного ПГ, потенциал глобального потепления (ПГП) которого в 28-34 раза превышает соответствующий потенциал диоксида углерода (МГЭИК, 2014 год). По данным о ПГП метана, приведенным в пятом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, 2014 год), на метан приходится в общей сложности 20% глобальных антропогенных выбросов ПГ, при этом выбросы угольных шахт составляют 8% от глобальных антропогенных выбросов метана (Агентство по охране окружающей среды США, 2012 год). Согласно прогнозам, выбросы ШМ будут увеличиваться и, исходя из приведенной выше оценки МЭА мирового спроса на уголь, глобальные выбросы метана от добычи угля могут к 2019 году составить более 1 млрд тонн в эквиваленте диоксида углерода ( $t\ CO_2э$ ) (ПГП = 25; Плотность =  $0,716\ кг/м^3$ , относительная метанообильность  $9\ м^3/т$ ).

## 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, Южной Африке, Франции и Центральной и Восточной Европе) на угольных шахтах также происходят выделения больших объемов диоксида углерода, что может иметь важное значение при разработке общих стратегий управления дегазацией шахт. Выделения больших объемов метана, диоксида углерода или газовых смесей могут происходить вследствие внезапных выбросов горных пород или угля. В таких ситуациях опасность может быть усугублена вторичными эффектами в виде взрывов и удушающего воздействия веществ, оказавшихся в шахтной атмосфере. Систематически выполняемая предварительная дегазация для снижения природной газоносности может предотвращать такие опасные явления.

Надлежащая практика обеспечения безопасности в угольных шахтах заключается в снижении взрывоопасности путем недопущения возникновения взрывоопасных смесей и, когда это практически возможно, посредством мониторинга и скорейшего разбавления взрывоопасных смесей до безопасных концентраций (с помощью проветривания) при обнаружении аномальных уровней метана. При высокой интенсивности газовой выделении, превышающей возможности шахтной вентиляционной системы по разбавлению метана, его следует собирать до поступления в рудничную атмосферу 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 более 30%).

## Нормативные подходы к управлению метановыделением

Повысить безопасность шахты 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 высоких 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 между условиями конкретных стран могут быть существенные различия. В отсутствие надежных методов прогнозирования газовой выделении в процессе разработки свиты пластов на большой глубине возникают существенные проблемы, обусловленные сложным характером взаимодействия между пластами, водоносными горизонтами и источниками газа в условиях ведения горных работ. Тем не менее, существуют широкодоступные апробированные методы прогнозирования интенсивности газовой выделении 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.

Горные работы могут иногда приводить к нарушению прилегающих резервуаров природного газа, что в свою очередь способно стать причиной выделений метана, интенсивность которых может значительно – до двух раз – превышать расчетную интенсивность метановыделения из одних только угольных пластов. Такие ситуации могут быть выявлены уже на раннем этапе путем сопоставления данных фактических измерений с данными прогнозов.

## **Роль вентиляционных систем**

Максимальные показатели добычи угля, которые могут быть достигнуты при соблюдении норм безопасности на газообильном выемочном участке, 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 системы дегазации шахты одним из наиболее важных учитываемых факторов являются эксплуатационные расходы. Потребление электроэнергии для проветривания подземных горных выработок относится к числу наиболее затратных статей эксплуатационных расходов шахты: они пропорциональны объему воздушного потока в кубе. Соответственно, применение системы дегазации или повышение ее эффективности зачастую являются менее затратными, чем увеличение 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 побудительные мотивы для обеспечения максимально возможных объемов каптируемого газа с целью достижения большей безопасности, большего смягчения последствий для окружающей среды и извлечения энергоресурсов.

Каптаж метана может производиться до, во время и после начала ведения горных работ с применением методов, соответственно, предварительной и текущей дегазации. Предварительная дегазация является единственным способом снижения 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 в основном в отношении средне- или высокопроницаемых пластов, если только не улучшить проницаемость угля в прискважинной зоне и в пласте с помощью методов стимуляции, таких как гидравлический разрыв. Методы текущей дегазации предполагают каптирование метана, выделившегося в процессе ведения горных работ, до поступления в шахтную атмосферу. Все методы текущей дегазации предусматривают обеспечение доступа к зоне обрушенных горных пород выше, а в некоторых случаях ниже, рабочего пласта. Текущая дегазация может проводиться путем бурения с поверхности или из подземной горной выработки.

Низкая эффективность каптажа газа системой дегазации и чрезмерное проникновение воздуха в горные выработки могут быть 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 иногда оказываются небезопасными (например, при содержании метана менее 30%).

Эффективность установленных систем дегазации источников метановыделения может быть существенно повышена за счет сочетания надлежащих мер по их установке и техническому обслуживанию, проведению контроля газовой выделению 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 дегазационных систем позволяют сократить простои, связанные с проблемами газовой выделению, повысить безопасность условий добычи и создать возможности для утилизации больших объемов шахтного метана и сокращения выбросов ПГ.

### Утилизация и снижение атмосферных выбросов метана

Каптивированный ШМ представляет собой экологически чистый энергоресурс, который может использоваться для различных целей. На Диаграмме ES-1 приводится краткая информация о видах применения ШМ в рамках известных реализуемых проектов в мире. Эти данные получены из базы данных, созданной партнерством «Глобальная инициатива по метану». Как видно из приведенной диаграммы, основная часть (по критерию численности) проектов связана с выработкой электроэнергии, закачиванием газа в газопроводы и его сжиганием в котлоагрегатах.

**Диаграмма ES-1. Утилизация ШМ в рамках глобальных проектов.** На диаграмме показано общее количество действующих во всем мире проектов по утилизации ШМ, с разбивкой по видам конечного использования, о которых имеется информация у партнерства «Глобальная инициатива по метану».



(Источник: База данных о проектах по шахтному метану, созданная Глобальной инициативой по метану (ГИМ), август 2015 года)

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 (Агентство по охране окружающей среды США, 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 соблюдении соответствующих процедур неиспользованный газ, полученный в процессе дегазации, можно безопасно сжигать в факелах с целью минимизации выбросов ПГ. Сжигание в факелах позволяет преобразовать метан в диоксид углерода (ПГП метана в 28-34 раза превышает соответствующий показатель диоксида углерода, равный единице) (МГЭИК, 2014 год).

Метан, не каптируемый системой дегазации, разбавляется в вентиляционном воздухе и выводится в атмосферу в виде разбавленного метана вентиляционных струй (МВС); при этом концентрации метана обычно составляют не более 1%. 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 демонстрационных и коммерческих масштабах используются технологии термального окисления (и в двух случаях – для производства электроэнергии с использованием разбавленного метана). В настоящее время появляются и разрабатываются также другие технологии, направленные на снижение выбросов МВС (например, каталитическое окисление, сжигание обедненного топлива, сжигание во вращающихся печах).

## Издержки и экономические вопросы

Эффективная дегазация позволяет снизить риски внезапных выбросов газа, взрывов метана 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, на типичной высокопроизводительной шахте с разработкой угля длинными очистными забоями в случае, если продолжительность остановки добычи или простоя оборудования в результате происшествий и аварий, вызванных газоопасной обстановкой, составит 10% рабочего времени, сумма недополученных доходов может составить 8–16 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 компенсаций, уплаты штрафов и даже закрытия шахты. Известен случай в Соединенных Штатах, когда горнодобывающая компания выплатила штрафы и неустойки в размере 220 млн долл. США.<sup>1</sup>

В то же время организация дегазации создает возможности для извлечения и утилизации газа. Такие проекты по утилизации энергоресурсов могут быть рентабельными сами по себе, благодаря продаже газа или его

<sup>1</sup> Два недавних примера – это взрывы на шахте «Пайк-Ривер» в Новой Зеландии и на шахте «Аппер Биг Бранч» в Западной Виргинии, США, произошедшие в 2010 году. В апреле 2010 года на шахте «Аппер Биг Бранч» произошел сильнейший взрыв, в результате которого погибли 29 человек, и был нанесен значительный ущерб шахте. Последствия аварии были катастрофическими. После аварии шахта была навсегда закрыта, а компания «Мэсси Энерджи», одна из крупнейших угольных компаний в США, была расформирована, а ее активы – проданы компании «Альфа Нэчурал Ресорсиз». Несколько бывших руководителей компании «Мэсси Энерджи» были осуждены и приговорены к тюремному заключению, в том числе Дон Бланкеншип, бывший генеральный директор компании. Общая сумма штрафов и неустоек составила 220 млн долл. США и включала в себя: штраф, наложенный в гражданском порядке Управлением по безопасности и охране труда в добывающей промышленности США, в размере 10,8 млн долл. США; штраф в 209 млн долл. США, наложенный Департаментом юстиции, включающий в себя 46,5 млн долл. США в виде реституционных выплат, 34,8 млн долл. США в виде штрафов за невыполнение предписаний уполномоченных органов по вопросам безопасности, 48 млн долл. США на исследования в области охраны труда и безопасности и на выплаты целевым фондам развития и 80 млн долл. США – на усовершенствования в сфере охраны труда в течение двух лет. Взрыв на шахте «Пайк-Ривер» произошел в ноябре 2010 года и также привел к гибели 29 шахтеров. Королевская комиссия по расследованиям, которая расследовала трагедию, определила, что оператор шахты эксплуатировал шахту, на которой не было обеспечено соблюдение правил техники безопасности, и что надзор и инспекции шахты представителями Министерства труда не смогли предотвратить данный несчастный случай. В настоящее время шахта, в которую было вложено 195 млн долл. США, законсервирована, а ее территория включена в Национальный парк. Через несколько недель после инцидента в компании «Пайк Ривер Коул» было введено внешнее управление; она была оштрафована на 0,5 млн долл. США; также ей было предписано выплатить компенсации семьям жертв аварии, общая сумма которых составила 3,2 млн долл. США. По прошествии пяти лет с момента трагедии никто из ответственных лиц шахты не привлечен ни к административной, ни к уголовной ответственности.



преобразованию в электроэнергию или переработке в топливо для транспортных средств или другое ценное 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 нерентабельно, если нет поступлений по линии углеродного финансирования или других стимулов, например, преференциального ценообразования на электроэнергию или портфельных стандартов.

Складывается впечатление, что 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 собственникам шахт, возможно, придется повысить эффективность дегазации до таких уровней, которые превысят требования, предъявляемые исключительно из потребностей обеспечения безопасности шахты. Связанное с этим 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 горных выработках угольных шахт и последующими выбросами метана в атмосферу будет иметь целый ряд позитивных последствий с точки зрения общей безопасности шахты, производительности шахт и воздействия на окружающую среду, в первую очередь в плане выбросов ПГ.

- Применение в глобальном масштабе накопленных к настоящему времени знаний о присутствии 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.
- Атмосферные выбросы метана – активного ПГ и энергоресурса – из подземных горных выработок могут быть существенно сокращены за счет утилизации дегационного метана, сжигания в факелах газа, который не может быть утилизирован, а также снижения выбросов МВС путем их окисления.
- Использование систем по извлечению энергии из каптированного газа может быть также экономически целесообразным, поскольку такие системы увеличат наличие доступного качественного ШМ.





# Глава 1. Введение

## Основные тезисы

*Несмотря на лимитирующие факторы, безопасность шахтеров имеет первостепенное значение и должна быть обеспечена.*

*Оценка рисков с целью минимизации взрывоопасности должна сочетаться с жестким применением мер по соблюдению строгих правил техники безопасности, касающихся проветривания шахт и утилизации газа.*

*В идеальном варианте, современные угледобывающие компании признают выгоды, связанные с принятием целостной системы управления газовой безопасностью, в рамках которой обеспечивается конструктивная взаимосвязка контроля газовой безопасности в подземных горных выработках, утилизации метана и сокращения атмосферных выбросов парниковых газов (ПГ).*

### 1.1. Цели настоящего руководящего документа

Настоящий документ призван служить руководством для собственников и операторов шахт, государственных регулирующих и директивных органов в работе по проектированию и созданию безопасной и эффективной системы каптирования метана и управления метановыделением в угольных шахтах. Его первоочередная задача – стимулировать безопасные практики 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 оптимального использования энергоресурсов, которые в отсутствие дегазации тратятся впустую. Соответственно, важным побудительным мотивом разработки настоящего руководящего документа является содействие утилизации шахтного метана (ШМ) и сокращение его выбросов в целях снижения выбросов парникового газа.

В конечном счете, включение рекомендуемых настоящим руководящим документом методов в технологический регламент шахт будет способствовать усилению устойчивости и укреплению на длительную перспективу финансового положения угольных шахт всего мира, потому что эти рекомендации:

- направлены на полное предотвращение случаев гибели людей, травматизма и потери имущества;
- демонстрируют приверженность мировой угольной промышленности принципам обеспечения шахтной безопасности, смягчения последствий изменения климата, принципам корпоративной социальной ответственности и подлинной гражданственности;
- способствуют развитию глобального диалога по проблемам каптирования и утилизации ШМ;
- способствуют налаживанию важнейших взаимосвязей между угольной отраслью, правительствами и должностными лицами регуляторных органов;
- способствуют 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, горно-геологические особенности и технологии ведения горных работ. Авторы признают невозможность универсального решения, и поэтому определили широкий комплекс 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.

Настоящий документ не является всеобъемлющим и подробным техническим пособием по дегазации источников метановыделения. В заключительной части этого документа приведены справочные и дополнительные материалы по рассматриваемой тематике; такие материалы указаны также на странице веб-сайта ЕЭК ООН<sup>2</sup> с описанием деятельности Комиссии, касающейся шахтного метана.

<sup>2</sup> <http://www.unece.org/energy/se/cmm.html>

## 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 ряде стран с быстро развивающейся экономикой, заставляет угледобывающие предприятия наращивать свое производство и в некоторых случаях доводить его до уровней, при которых невозможно обеспечить безопасность, что становится причиной чрезмерной интенсификации всех операций по добыче угля и возникновения риска для безопасности. Присутствие метана в угольных шахтах создает серьезную угрозу безопасности, и для устранения этой угрозы необходимы профессиональные и эффективные действия. Хотя во многих угледобывающих странах взрывы метана на подземных выработках угольных шахт являются редким явлением ежегодно в результате

таких аварий погибают и становятся инвалидами тысячи людей.

Одна единственная авария может привести к гибели большого числа людей. В Таблице 1.1 приводятся данные о некоторых наиболее серьезных по фатальным последствиям взрывах на угольных шахтах, которые имели место в нескольких странах в период после 2010 года. При эффективном управлении выделением шахтного метана главную причину таких трагедий можно было бы устранить.

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

**Таблица 1.1 Крупные аварии, связанные со взрывами в угольных шахтах, в период после 2010 года**

Страна	Дата	Угольная шахта	Количество жертв
Китай	29 марта 2013 года	Бабао, Цзилинь	52
Колумбия	16 июня 2010 года	Сан-Фернандо	73
Новая Зеландия	19 ноября 2010 года	Пайк-Ривер	29
Пакистан	20 марта 2011 года	Сорандж, Кветта	52
Россия	25 февраля 2016 года	Северная	36
Россия	8 мая 2010 года	Распадская	90
Турция <sup>3</sup>	13 мая 2014 года	Сома	301
Украина	4 марта 2015 года	Шахта им. А. Ф. Засядько	34
США	5 апреля 2010 года	Аппер Биг Бранч	29

Национальные регуляторные органы устанавливают максимально допустимые пределы концентрации метана в подземных горных выработках. Соответственно, выделение метана в горные выработки может быть фактором, ограничивающим добычу угля.<sup>3</sup>

Внезапные выбросы, при которых уголь резко выбрасывается из свежееобнаженной поверхности забоя с выделением больших объемов газа, вызывают повреждения оборудования, потери в добыче угля, разрушение целых шахт и многочисленные человеческие жертвы. Например, 20 октября 2004 года

148 горняков стали жертвами внезапного выброса угля и последующего взрыва на угольной шахте «Дапин» в городе Синьми, провинции Хэнань в Китае (Сюй и др., 2006 год). К числу крупнейших зарегистрированных случаев внезапных выбросов угля относится инцидент, имевший место на угольной шахте им. Гагарина Донецкого каменноугольного бассейна (Украина), где произошел выброс 14500 т угля, сопровождавшийся выделением примерно 600000 кубических метров метана. Внезапные выбросы угля происходят преимущественно в проходческих забоях, хотя случаи таких внезапных выбросов были зарегистрированы также и в длинных очистных забоях. Первый случай внезапного выброса угля был зарегистрирован во

<sup>3</sup> Расследование причин взрыва и пожара, произошедших на угольной шахте Сома, еще не завершено (по прошествии уже двух лет после аварии).

### **Взрывы газа на угольной шахте «Пайк-Ривер», Новая Зеландия**

**Ситуация:** Газ не рассматривался в качестве потенциального источника опасности. В ходе разведки и разработки недр не были собраны и систематизированы данные, характеризующие газоносность и газовыделение угольных месторождений. Только когда газ стал источником проблем, была сделана спешная попытка взять ситуацию под контроль. Кроме того, часть электрооборудования в подземном руднике не была предназначена для работы во взрывоопасной среде шахт, к тому же это оборудование было установлено с нарушением стандартов взрывозащиты шахт. В течение нескольких дней произошла серия взрывов, сопровождавшихся пожарами. Погибли 29 шахтеров.

**Решение:** Для расследования трагедии была создана Королевская комиссия. По результатам расследования Комиссия составила рекомендации, предусматривавшие внесение существенных изменений в регуляторную политику охраны труда и промышленной безопасности на шахтах Новой Зеландии; улучшение корпоративного управления; включение в технический регламент наилучших практик в области контроля газа со ссылкой на *«Руководство по наилучшей практике эффективной дегазации источников метановыделения и утилизации метана на угольных шахтах»* и более активное участие работников в разработке и реализации программ обеспечения охраны труда и повышения безопасности.

Более подробную информацию см. в Примере 10.

Франции в 1843 году; с тех пор во всем мире произошло около 30 000 подобных инцидентов, при этом более трети из них приходится на Китай.

Налицо насущная потребность в руководящем документе для содействия правительствам в скорейшем внедрении более безопасных технологий ведения горных работ с целью снижения уровня опасности, создаваемой метаном на угольных шахтах. Имеющиеся данные свидетельствуют о том, что в разных странах мира показатели частотности фатальных исходов аварий на подземных разработках угля существенно отличаются друг от друга. Например, показатель фатальных исходов на 1 млн т добытого угля по отдельным странам может различаться более чем в 5 раз.<sup>4</sup> Однако этот показатель сильно

зависит от степени механизации добычи угля, и более предпочтительным мерилем безопасности является соотношение между количеством опасных ситуаций без последствий, травм и смертельных исходов и числом смен или отработанных часов.

Потенциальные риски имеются на каждой угольной шахте. Связанные с газом происшествия могут происходить даже на самых современных угольных 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 культура управления, организационная структура, участие рабочих, подготовка кадров и наличие систем нормативного регулирования и контроля за соблюдением норм. Для проектирования эффективных механизмов и систем контроля за газовыделением основополагающее значение имеют знание и понимание основных принципов контроля газовой обстановки. В конечном итоге все связанные со взрывами аварии являются проявлением неспособности эффективно применять безопасные процедуры и методы.

Угольные шахты являются крупным источником выбросов метана, одного из активных ПГ с потенциалом глобального потепления (ПГП) в 28-34 раза превышающим аналогичный показатель диоксида углерода с временным горизонтом 100 лет (МГЭИК, 2014 год). В общей сложности на метан приходится 20% глобальных антропогенных выбросов ПГ, согласно данным относительно ПГП метана, приведенным в пятом оценочном докладе Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК, 2014 год), или 16% глобальных антропогенных выбросов ПГ при расчете по данным по ПГП метана, представленным в четвертом оценочном докладе МГЭИК в 2007 году. 8% глобальных антропогенных выбросов метана приходится на угольные шахты (Агентство по охране окружающей среды США, 2012 год). Ожидается, что объем выбросов ШМ будет увеличиваться, и согласно прогнозу Международного энергетического агентства (МЭА) к 2019 году, когда

<sup>4</sup> По данным официальной статистики о смертельных случаях на угольных шахтах в Китае (2015 год) и Соединенных Штатах (2014 год). В 2015 году Китай сообщил о 598 смертельных случаях на 3,6 млрд тонн добытого угля (97% от общего объема добытой продукции составлял уголь из подземных горных выработок), следовательно, показатель числа смертельных

случаев на миллион тонн добытого угля составил 0,17 (SAWS, 2016 год). В 2014 году Соединенные Штаты сообщили о 10 смертельных случаях, произошедших на угольных шахтах, совокупный объем добычи угля на которых составил 346,9 млн тонн, что эквивалентно показателю в 0,03 смертельных случая на миллион тонн добытого угля (Национальная ассоциация горной промышленности, февраль 2016 года).

спрос на уголь достигнет 9 млрд тонн (МЭА, 2014 год), глобальные выбросы метана от добычи угля могут составить более 1 млрд тонн эквивалента диоксида углерода (тCO<sub>2</sub>э) (ППП = 25; Плотность = 0,716 кг/м<sup>3</sup>, относительная метанообильность – 9 м<sup>3</sup>/т).

Предположительно, более 90% выбросов ШМ приходится на угольные шахты, и из этого объема около 70-80% метана выбрасывается в атмосферу в сильно разбавленной концентрации (как правило, с содержанием метана менее 1% метана) вместе с вентиляционным воздухом шахт.

Уже имеются технологии, за счет применения которых можно существенно сократить выбросы метана угледобывающих предприятий. Для их успешного внедрения требуются лидерство и поддержка со стороны правительств, соответствующие механизмы финансирования, а также неустанные усилия угольной промышленности всех стран мира.

### **1.3. Дегазация, каптирование, утилизация и сокращение атмосферных выбросов газов**

Дегазация, 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 в Соединенном Королевстве в 1730 году. В первой половине XX столетия в Европе были внедрены более современные системы контролируемой дегазации.<sup>5</sup> 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, получаемый в процессе 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

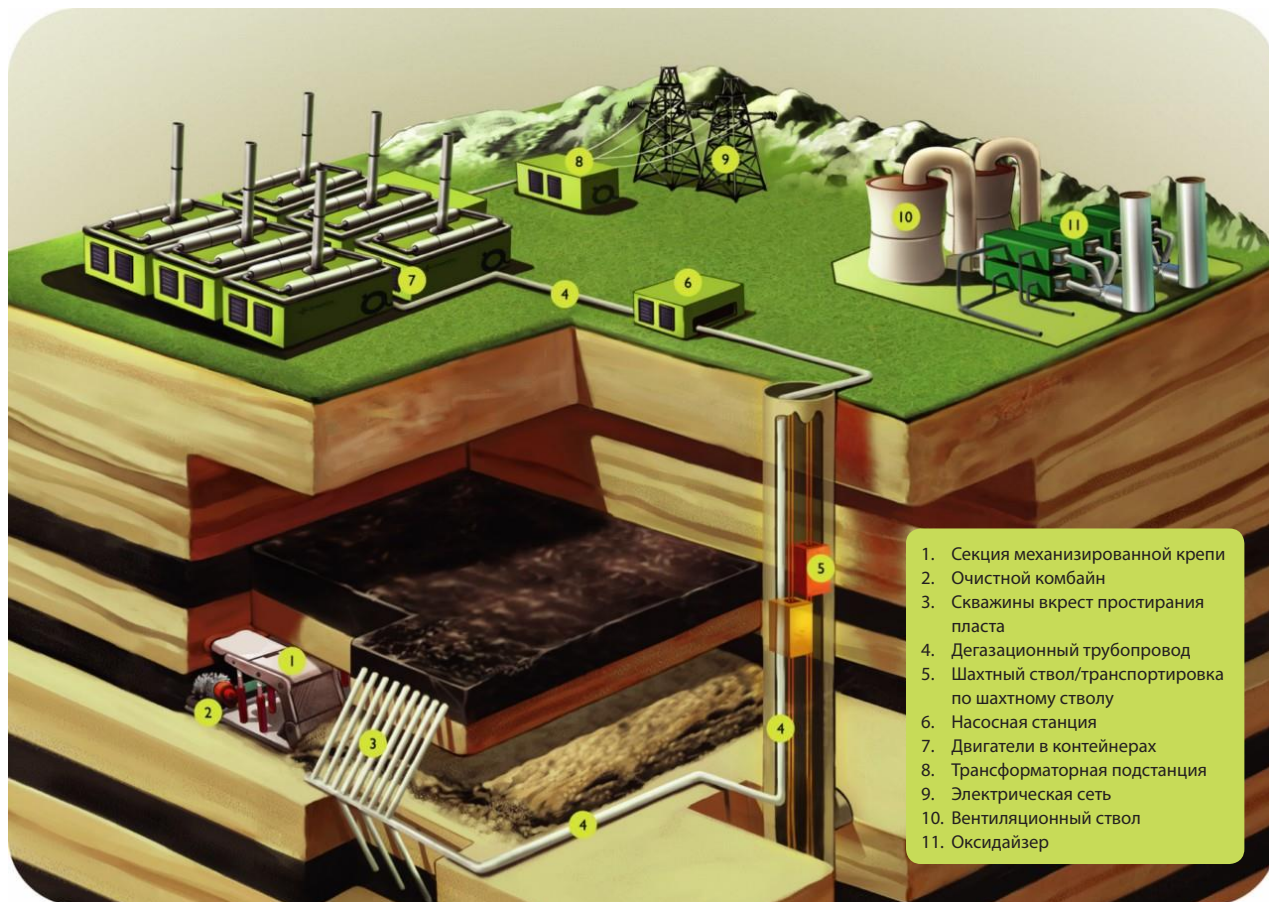
на поверхности. Данная схема иллюстрирует сложность и взаимосвязанность элементов подземных систем дегазации и сбора газа с поверхностными объектами, которые необходимы для преобразования ШМ в электроэнергию. На схеме также показано одновременно осуществляемое уменьшение выбросов метана путем использования вентиляционных струй (МВС), направляемых через вентиляционные стволы шахты.

В настоящее время в мире насчитывается более 200 действующих проектов по извлечению и утилизации ШМ (ГИМ, 2015 год). Наиболее распространенным видом использования ШМ является производство электроэнергии; кроме того, ШМ 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 рентабельное 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 в некоторых странах для получения доходов за счет углеродных квот, зарабатываемых на добровольных углеродных рынках и регламентированных углеродных рынках.

<sup>5</sup> К их числу относятся системы, внедренные в Верхнесилезском бассейне в Польше в 1937 году и в Германии в 1943 году.

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»)





# Глава 2. Основы управления газовой безопасностью

## Основные тезисы

*Принятие и соблюдение 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 в атмосферу.*

*На угледобывающих предприятиях мира накоплены огромные знания и опыт в области снижения рисков, связанных с взрывоопасностью метана.*

*Безопасность условий труда в газообильных шахтах не может быть обеспечена только с помощью законодательства или за счет применения даже самой передовой технологии. Для безопасного ведения работ еще более важное значение имеют рациональные и эффективные системы, организация и практика управления. К числу других крайне важных элементов системы обеспечения шахтной безопасности относятся надлежащие обучение и подготовка, как руководящего персонала, так и рядовых работников, а также побуждение работников к внесению своего вклада в принятие и регулярный контроль за практическим соблюдением норм безопасного проведения работ.*

### 2.1. Цели управления газовой безопасностью

Основными задачами систем управления газовой безопасностью являются предотвращение внезапных выбросов газа, взрывов метана и риска удушья людей в шахтах. На некоторых шахтах метановыделение в действующих длинных забоях можно эффективно поддерживать на уровне ниже максимально допустимых концентраций исключительно с помощью проветривания. Вместе с тем при наличии прогноза усиленного выделения метана из обрабатываемого пласта в забой наряду с проветриванием необходимо в обязательном порядке проводить дегазацию источников метановыделения. Применение наилучшей практики управления метановыделением не только повысит безопасность на шахтах, но и позволит 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 предотвращению, которые находятся в центре внимания настоящего руководства.

### 2.2. Возникновение газоопасных ситуаций

Газы с высоким содержанием метана – а доля метана составляет в них, как правило, от 80% до 95% – естественным образом присутствуют в угольных пластах и выделяются 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. В некоторых странах происходят внезапные выбросы, связанные с диоксидом углерода, и они зачастую более разрушительны, труднее поддаются контролю и более опасны, чем внезапные выбросы метана, из-за большей сорбционной способности угля в отношении диоксида углерода, а также из-за токсичности этого газа. Диоксид углерода тяжелее воздуха и токсичен при его концентрациях в воздухе, превышающих 5%, но его физиологическое воздействие на организм возможно даже при низкой концентрации порядка 1%.

Метан – газ без цвета, запаха и вкуса; поэтому для выявления его присутствия необходимо иметь специальное измерительное устройство. Метан становится взрывоопасным в случае его смешения с кислородом в диапазоне 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 вытеснения кислорода из воздуха. Поскольку пространство угольных шахт замкнуто, воспламенение больших скоплений метана неизбежно приводит к взрыву.

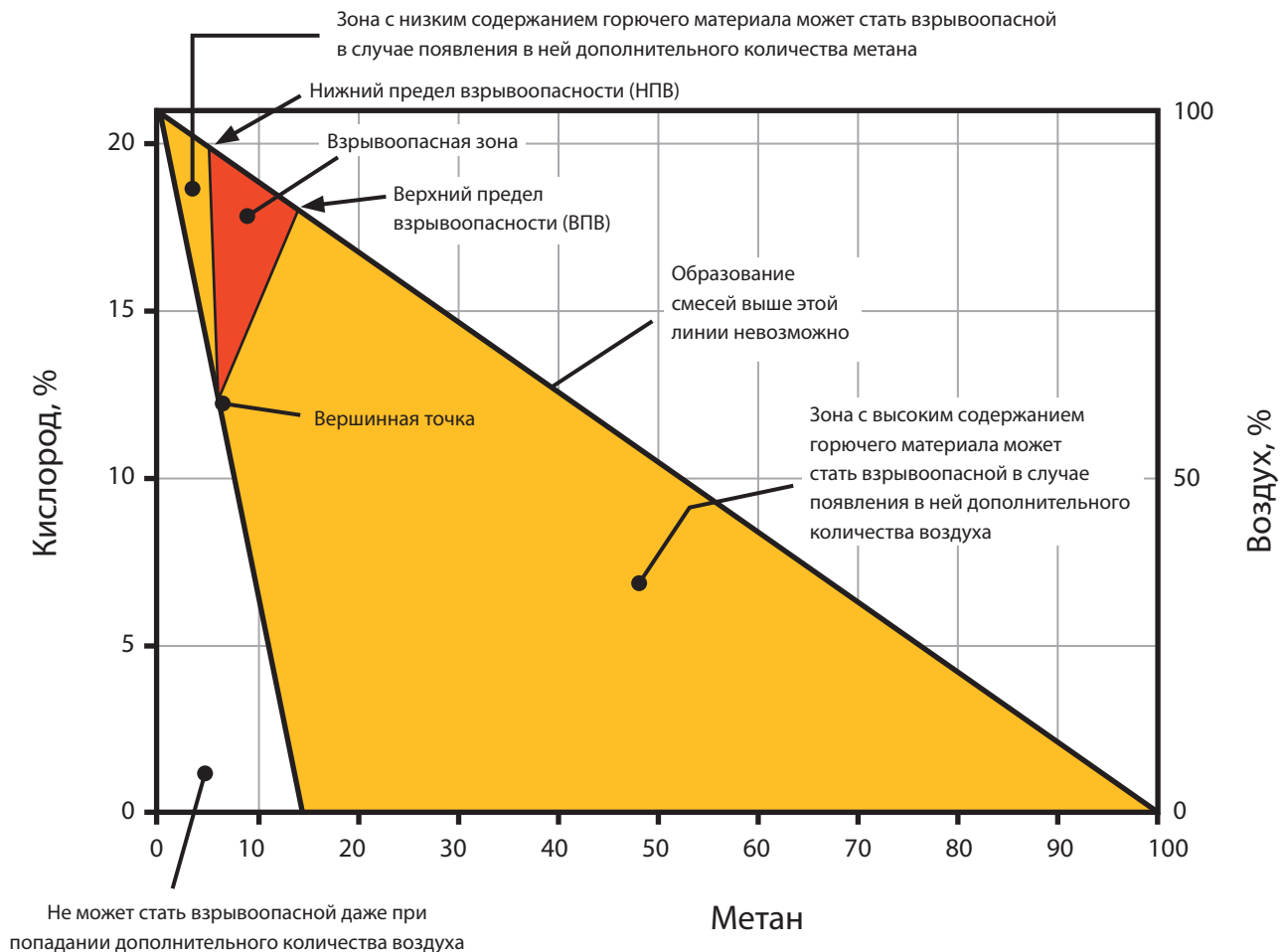
### Безопасная разработка выбросоопасных угольных пластов – Австралия

**Ситуация:** В 1990-х годах в отношении ряда австралийских шахт были введены требования о подготовке планов по управлению внезапными выбросами (ПУВВ). Процедуры, которые хорошо себя зарекомендовали на участках с высоким содержанием метана, не дали положительных результатов на некоторых шахтах на участках с высоким содержанием диоксида углерода. Применение ПУВВ привело к неоднозначным результатам, а авария со смертельным исходом в 1994 году на каменноугольной шахте «Уэстклифф», вызванная внезапным выбросом, подчеркнула необходимость применения более строгих мер по предотвращению внезапных выбросов.

**Решение:** ПУВВ должны включать в себя описание обязанностей, процедуры и протоколы для обеспечения безопасной работы на шахтах. Неотъемлемой частью процесса управления внезапными выбросами является анализ мониторинга газоносности угольного пласта, геологической структуры и результатов бурения пласта. Дегазация является основным механизмом предотвращения внезапных выбросов, позволяющим снижать газоносность разрабатываемого пласта до значений ниже пороговой концентрации, при которой имеются риски возникновения внезапных выбросов. Если становится очевидным, что дальнейшее смягчение отрицательных последствий опасных ситуаций невозможно, либо что в процессе бурения не будут получены дополнительные полезные данные, то реализуется процедура ведения горных работ в условиях внезапных выбросов.

Более подробную информацию см. в Примере 4.

### Диаграмма 2.1 Образование взрывоопасных смесей



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

Метан имеет свойство стратифицироваться и образовывать горизонтальные слоистые скопления в подкровельном пространстве подземных горных выработок, где скорость вентиляционного потока низка. 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 вентиляционной системы должны быть осведомлены о переменных факторах, препятствующих образованию слоистых скоплений метана, например, о ширине слоя, наклоне выработки, скорости газовыделения и скорости воздушного потока (Криди и Филлипс, 1997 год; Киссэлл, 2006 год).

В некоторых обстоятельствах, когда образования смеси не происходит ввиду недостаточной скорости воздуха, слоистые скопления метана могут образовываться и перемещаться либо по направлению, либо против направления потока вентиляционной струи. Такие слоистые 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. В любом случае состав стратифицированных слоистых скоплений метана будет изменяться в пределах взрывоопасного диапазона от участков с высоким процентным содержанием до участков с низким процентным содержанием метана. Поэтому важно предотвращать образование слоистых скоплений метана в особо активных зонах шахт.

Операторы шахт прилагают большие усилия для изолирования тех участков шахт, на которых более не проводятся работы (т.е. выработанных пространств и в некоторых случаях – выработанных пространств действующих длинных очистных забоев), от вентиляционной системы 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 взрывоопасные газовые смеси, которые поступают в воздухопроводящие выработки вследствие нестабильности режима проветривания или падения барометрического давления.

Потенциальными зонами повышенной опасности в угольных шахтах, на которых метан угольных пластов становится взрывоопасным, являются выработанные пространства, остающиеся за длинными очистными забоями, неэффективно проветриваемые зоны и зоны отбойки угля, где она ведется врубовыми машинами, а также участки, на которых отключаются системы проветривания. 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 очистными забоями; так что шахты, применяющие этот способ разработки, как правило, являются менее газообильными, по сравнению с шахтами, на которых выемка ведется длинными очистными забоями. Однако шахты, на которых применяется камерно-столбовой способ разработки, не всегда менее взрывобезопасны, поскольку в них трудно обеспечить надлежащее проветривание очистных забоев. Основным источником метановыделения при использовании камерно-столбового способа служит самотрабатываемый пласт. В результате недостаточного проветривания тупиковых выработок и газовыделения из источников в кровле в ней могут образовываться слоистые скопления легковоспламеняющихся газовых смесей (см. Пример 9).

## Возгорание взрывоопасных метановых смесей

Существует целый ряд причин возгорания метановоздушных смесей: электрические искры, высокие температуры, создаваемые ударами стальных предметов по кварцевой породе, обрушения пород кровли, удары алюминиевыми предметами по железу, разряды молнии, курение, 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, когда горные породы и минералы, способные создавать высокотемпературные искры, подвергаются ударам со стороны режущих коронок. Весьма частые возгорания метана при разрушении угля и вмещающих пород режущими инструментами, по сравнению с другими источниками возгораний, 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 принципиально важно для разработки эффективных программ мер по снижению 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.

Управление рисками взрывоопасности 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 специальных устройств для вентиляции выемочных машин; посредством отведения газов с участков, на которых проводятся работы; и, при необходимости, путем каптирования газа в скважинах или газодренажных выработках 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 метановыделения, 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);
- обеспечить изоляцию газовых смесей, образования которых избежать не удалось, от потенциальных источников возгорания (например, путем применения вентиляционных систем, специально спроектированных для призабойного пространства, в целях недопущения скопления газа вблизи электромоторов или неиспользование электричества в вентиляционных выработках с исходящими струями на выемочных участках с длинным забоем);
- избегать появления источников возгорания (например, присутствия небезопасных электроприборов, открытого огня, курения);
- контролировать газовыделение из отработанных изолированных участков шахты с применением методов дегазации источников газовой выработки, отрегулированных с целью поддержания чистоты газа, и путем отвода газа с целью снижения влияния резких изменений барометрического давления.

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

- Использование взрывобезопасного электрооборудования и кабелей
- Контроль за взрывчатыми веществами и их применением в подземных горных 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 к ее производственным участкам
- Ограничения на пронос запрещенных предметов в подземные выработки
- Проверка состояния подземных выработок
- Обеспечение антистатическими материалами
- Контроль за проведением работ в шахте
- Надлежащее использование и техническое обслуживание механических и электрических установок
- Установление ограничений на использование непригодного оборудования
- Контроль за работой механизмов и электрооборудования
- Установление ограничений на пронос курительных изделий на подземные участки
- Составление плана действий по управлению газом
- Составление плана действий по управлению внезапными выбросами
- Составление планов проветривания шахты
- Проведение контроля за шахтной вентиляцией
- Проведение мониторинга и измерения концентраций газа в шахте
- Использование вспомогательного проветривания
- Дегазация вышележащих угольных пластов посредством соблюдения надлежащей последовательности горных работ
- Применение дегазации при проходке горных выработок
- Принятие мер предосторожности для недопущения возгорания от трения
- Использование пламегасителей
- Применение датчиков обнаружения метана
- Соблюдение требований профессиональной квалификации работников
- Проведение тренингов по технике безопасности
- Устройство взрывоподавляющих заслонов
- Установка предупредительных знаков и указателей

### **2.4. Принципы нормативного регулирования и управления**

#### **Эффективная нормативная база для обеспечения безопасности**

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

Сами по себе 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 выработки и управления ими. Таким образом, профессиональная подготовка и передача знаний, а также широкое распространение материалов с фактической информацией о связанных с газом происшествиях и их причинах являются необходимыми элементами успешных программ поддержания шахтной безопасности. Меры по управлению безопасностью на шахтах и подготовке кадров в этой области должны охватывать как горняков, так и подрядчиков.

#### **Соблюдение норм безопасности**

Компетентные государственные инспекторы проверяют условия безопасности на шахтах; при этом они проводят тщательные инспекции в подземных горных выработках, готовят экспертные рекомендации для руководства шахт, рассматривают вопросы эффективности регулирующих норм и обеспечивают соблюдение этих норм в процессе совместной работы с операторами шахт с целью устранения любых недостатков или вынесения санкций лицам, которые явно игнорируют нормы и подвергают опасности жизнь людей.

Вопросы об эффективности систем обеспечения безопасности и нормативного регулирования также имеют прямое отношение к тем лицам, на которых в наибольшей степени сказываются недостатки в проведении контроля за газовойделением, а именно к самим шахтерам. Все инциденты, в том числе и потенциально опасные происшествия без последствий, следует расследовать и публично сообщать о них с целью повышения уровня безопасности, и это наиболее эффективно достигается в организациях, в которых сотрудников не наказывают за их сообщения о проблемах в сфере охраны труда и безопасности, т.е. там, где не делают акцент на поиске виновных. Чтобы добиться наибольшей эффективности в управлении рисками внутри организации, необходимо делать акцент на работе по предотвращению аварий и происшествий.

Для того, чтобы управление рисками для здоровья и безопасности людей было успешным, в этом процессе в качестве равноправных партнеров должны участвовать не только регуляторные органы и операторы шахт, но и шахтеры. Как подчеркивается в принятой Международной организацией труда Конвенции о безопасности и гигиене труда на шахтах, 1995 г. (№ 176) и Инструкции по безопасности труда и здоровья при работе на угольных шахтах (МОТ, 2006 год), трудящиеся имеют право на безопасные условия труда и на участие в их обеспечении, в том числе право информировать о потенциальных опасностях, не опасаясь преследований в этой связи. Кроме того, в качестве партнеров по созданию безопасных условий труда трудящиеся обязаны содействовать применению безопасных практик работы и поддерживать безопасные условия труда.

### Концентрации газов, допустимые для безопасных условий труда

Следует соблюдать осторожность в применении предписывающих норм, поскольку они могут препятствовать внедрению инноваций, ограничивать профессиональное суждение, создавать ложное чувство безопасности и скрывать непродуманные решения. Предписания 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 горных выработках шахт. В некоторых странах для различных участков угольной шахты, в зависимости от характера работ и риска достижения взрывоопасных уровней, применяются разные допустимые предельные значения концентраций газов, а также установлены минимальные безопасные концентрации для отвода и утилизации газа с целью минимизации взрывоопасности в подземных выработках (Таблица 2.1).

Одного только установления точных триггерных значений концентраций газов для принятия соответствующих мер недостаточно для обеспечения шахтной безопасности. Столь же важно правильно определить места для производства замеров концентрации, процедуры замеров, а также действия, которые должны быть предприняты с учетом результатов замеров. В горном законодательстве промышленно развитых стран основное внимание уделяется усилиям по мониторингу и контролю – пропорционально степени рассматриваемого 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 его 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).<sup>6</sup> Аварии на трубопроводах, предназначенных для транспортировки метана при концентрациях, значительно превышающих верхний

<sup>6</sup> 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 электропитания коэффициент безопасности должен быть выше.

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 значительные предпосылки для взрыва и подвергается опасности вся шахта.

**Таблица 2.1 Примеры предписываемых и рекомендуемых предельных значений воспламеняемых концентраций метана**

Предельные значения пожароопасных концентраций метана [%]	Австралия	Китай	Германия	Индия <sup>b</sup>	Южная Африка	Соединенное Королевство	США	Коэффициенты безопасности <sup>a</sup>
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 <sup>b</sup>	1,5 <sup>g</sup>	1,5	0,75	1,4	2,0 <sup>b</sup>	2,0 <sup>b</sup>	2,5–6,7
Минимально допустимые значения для утилизации	данные отсутствуют <sup>e</sup>	данные отсутствуют <sup>f</sup>	25	данные отсутствуют <sup>f</sup>	данные отсутствуют <sup>f</sup>	40	25 <sup>c</sup>	1,7–2,7
Минимальные значения для подземной транспортировки по трубопроводам	данные отсутствуют <sup>e</sup>	данные отсутствуют	22	данные отсутствуют <sup>f</sup>	данные отсутствуют <sup>f</sup>	данные отсутствуют <sup>e</sup>	данные отсутствуют <sup>d</sup>	1,5

<sup>(a)</sup> 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%.

<sup>(b)</sup> При отсутствии электропитания.

<sup>(c)</sup> В Соединенных Штатах дегазация по метану предусматривается в плане проветривания, а своды норм и правила отсутствуют.

<sup>(d)</sup> Не рассматривается в качестве проблемы, поскольку газы с низкой концентрацией из выработанных пространств, как правило, отводятся с помощью пробуренных с поверхности скважин.

<sup>(e)</sup> Определяются на основе, проводимой на месте оценки риска.

<sup>(f)</sup> Ввиду незначительных масштабов применения или неприменения не установлены.

<sup>(g)</sup> 2,5% для выработок с исходящей струей воздуха.

<sup>(h)</sup> В Индии нормативы по метану указаны в Положении об угольных шахтах Индии 1957 года, которое принято на основе Закона о шахтах 1952 года.

<sup>(i)</sup> Министерство охраны окружающей среды Китайской Народной Республики и Главное государственное управление по контролю качества, инспекции и карантину Китайской Народной Республики: стандарт выбросов метана угольных пластов/угольного шахтного газа (GB 21522-2008) предписывает утилизацию каптированного метана, концентрация которого составляет 30% или более высокий уровень, но при определенных условиях также могут использоваться более низкие концентрации.



## Нормативное регулирование, направленное на снижение опасности возгорания

В большинстве угледобывающих стран действуют нормативные предписания, регулирующие вид и способы применения 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 оборудования необходима электроэнергия. Безопасное использование электрооборудования зависит от принятия стандартов огнестойкости и искробезопасности, применения армированных кабелей и безопасных соединителей, а также от строгости соблюдения 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, хотя и находящаяся в пределах допустимого диапазона, концентрация метана.

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 приводных двигателей и роликов могут также быть конвейеры, но этот риск может быть существенно снижен благодаря проведению регулярных инспекций и технического обслуживания, а также за счет удаления угольной пыли и частиц вокруг нагревающихся узлов и агрегатов. Известно, что ненадлежащее поведение людей, например, курение в подземных выработках, также может приводить к взрывам в шахтах.





# 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 внезапные выбросы с трудом поддаются прогнозированию, но условия, при которых они могут происходить, известны достаточно хорошо. Детально разработаны методы снижения рисков в этих условиях, которые следует применять во всех случаях выявления существенных рисков. В таких обстоятельствах безопасность условий труда зависит от строгого мониторинга и применения методов контроля газа.*

*Наряду с проведением в подземных выработках мониторинга эксплуатационной безопасности шахты исключительно важное значение имеют сбор и анализ данных, необходимых для планирования мер безопасности.*

### 3.1. Введение

По мере роста масштабов добычи угля, увеличения размера панелей и перехода к разработке на все больших глубинах угольных пластов с потенциально высокой газоносностью и в горно-геологических условиях с различными источниками газа, современные высокопроизводительные угольные шахты все чаще сталкиваются с проблемой интенсивных газовыделений. В случае использования выемки угля длинными очистными забоями выделяется значительно больше газа, чем при использовании частичной выемки, как например, камерно-столбовым способом, вследствие нарушения большого объема пластов в процессе обрушения горных пород. Аналогичным образом, при удалении вскрыши при ведении открытых горных работ угольные пласты и вмещающие породы разгружаются, что приводит к повышению проницаемости пластов и выбросу метана в атмосферу. Объем газа на угольных разрезах зависит от газоносности углепородного массива, интенсивности угледобычи и карьерного водоотлива.

Несмотря на то, что газовыделение при добыче угля открытым способом может быть меньше, чем при подземном способе, со временем на угольных разрезах могут высвобождаться значительные объемы газа. Информация о содержании метана, характеристиках его выделения и прогнозных значениях газовых потоков, выходящих из угольной шахты в зависимости от темпов добычи угля, имеют огромное значение для целей обеспечения безопасности, планирования шахтных работ, проветривания, утилизации газа и контроля за выбросами ПГ. К числу факторов, влияющих на газовыделение, относятся также конструктивные характеристики шахты, горно-геологические условия и условия эксплуатации шахты.

### 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 торфа и органических отложений в уголь, если они оказываются на достаточной глубине и остаются под толщей пород в ходе 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 больше газа, чем его находится в пластах в настоящее время. В процессе углефикации имела место утрата газа, поскольку газоносные толщи были обнажены на древней земной

поверхности, газ вымывался в раствор подземной водой, проходившей через залежи угля, мигрировал или накапливался в пористых пространствах и структурных компонентах вмещающих пород. Такой газ мог аккумулироваться в прилегающих пористых слоях, например, в песчаниках, или абсорбироваться 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 вмещающими породами 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 собираться на площади внутренней поверхности угольного вещества, при этом его плотность почти достигает плотности жидкого вещества. В свите угольных пластов метаноносность часто систематически увеличивается по мере увеличения глубины залегания и повышения степени метаморфизма угля. Между месторождениями существуют различия по градиентам газоносности и глубины залегания, связанные с различной геологической историей бассейна, в котором проходил процесс углеобразования. В некоторых угольных бассейнах метаноносность угля возрастает по мере увеличения глубины залегания, в конечном итоге достигает своего максимального значения, а затем снижается по отношению к этому значению.

### **3.3. Процесс газовой выделения**

Газ, образовавшийся в результате природных процессов и содержащийся в угольных пластах и вмещающих 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 объем выделяемого газа находится в пропорциональной зависимости от степени нарушения пластов в результате проведения горных работ. Поэтому в конкретных горно-геологических условиях количество газа, выделяющегося в процессе выемки угля,

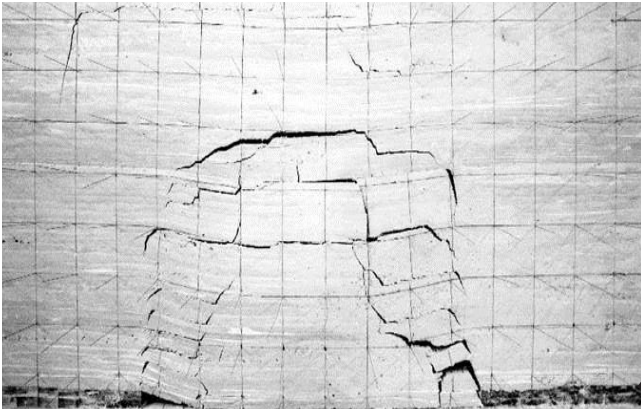
увеличивается пропорционально увеличению темпов добычи угля.

Вместе с тем в некоторых случаях могут также происходить внезапные прорывы или выбросы угля и газа и внезапные суфлярные выделения газа. Некоторые угольные пласты содержат значительное количество диоксида углерода, а также метана. В тех случаях, когда преобладают условия потенциальных внезапных выбросов, присутствие диоксида углерода может снизить общую газоносность угольного пласта, при этом внезапный выброс может произойти при ее значениях, меньших, чем для пласта, содержащего исключительно метан. В связи с этим следует измерять газоносность угольного пласта в отношении обоих газов для определения необходимости предварительной дегазации.

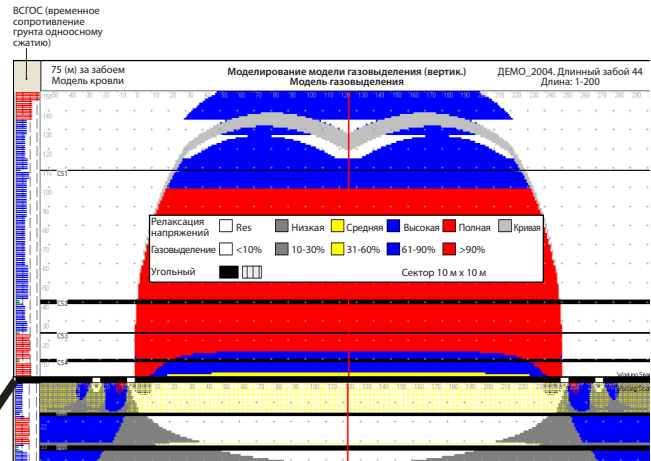
В проведенных в Европе исследованиях (Криди и др., апрель 1997 года) показано, что газ выделяется через зону разгрузки или нарушенную зону, которая образуется над длинным очистным забоем, как правило, простираясь на 160 м–200 м в кровлю, и ниже него на 40–70 м породах почвы. На Диаграмме 3.1 изображена гипсовая модель, наглядно представляющая результаты разгрузки пород кровли после образования пустого пространства. Создание таких моделей полезно для визуализации зоны разгрузки и области над пустым пространством, на которой имеют место заметные границы блоков, 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.

Разработка угольного пласта ведет к оседанию земной поверхности. Хотя нарушаются все пласты, залегающие в породном массиве между рабочим пластом и поверхностью шахты, в подземные горные выработки газ поступает лишь из зоны разгрузки. 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. Этот газ может быть использован. Однако скважины или выработки могут также служить в качестве путей миграции для газа, который не был каптирован, что приводит к возникновению опасности как на поверхности, так и под землей.

**Диаграмма 3.1 Модельный разрез, параллельный линии длинного очистного забоя, на котором показано формирование трещин в породном массиве в результате выемки угля с образованием выработанного пространства, и результаты моделирования, отображающие его разгрузку**



(Смоделировано по Гаскеллу, 1989 год)



(Публикуется с разрешения «Лунагас пти лимитед»)

### 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 значение<sup>7</sup>. Показатель удельной газообильности позволяет оценить общее количество метана, выделенного всеми источниками, по отношению к общему количеству угля, добытого за определенный период времени, например, за неделю или более длительный период. Другими словами, этот показатель означает количество выделившегося метана в кубических метрах ( $\text{м}^3$ ) на одну тонну ( $\text{т}$ ) добытого угля за любой установленный период времени. Выделяющийся и измеряемый газ поступает не только из отработываемого угля, но и из всех других пластов углепородного массива, которые были нарушены и разгружаются от давления по мере обрушения выработанного пространства, возникшего в результате выемки угля. Как правило, угольные шахты с относительной газообильностью  $10 \text{ м}^3/\text{т}$  и выше 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 (Киссэлл и др., 1973 год).

### 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 значения, как правило, на 50% превышают средние значения (Криди и др., апрель 1997 года). В общепринятых методах прогнозирования газовой выделения, разработанных в Европе, эта зависимость обычно используется для расчета объема воздуха, который потребуется для соблюдения обязательных требований по разбавлению газа.

Во время как количество газа, выделяемого угольными пластами и окружающими породами, нарушенными в результате проведения горных работ, со временем снижается, при продолжении горных работ возникают дополнительные источники газовой выделения. Поэтому итоговые значения газообильности определяются путем суммирования газа, выделяемого из всех источников за определенное время. Вследствие

<sup>7</sup> Определение и описание термина «газоносность» приводится в разделе 3.6.

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 продолжаются 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 непрекращающейся добыче.

В большинстве эмпирических расчетов газообильности делаются допущения о непрерывной добыче угля и однородности характеристик газообильности. Хотя этот подход отвечает большинству потребностей планирования, операторы шахт должны также учитывать менее предсказуемые факторы. Важную роль для снижения вероятности серьезных аварий играют методы контроля рисков. Например, внезапные выбросы газа и угля (а в некоторых случаях и породы) происходят в некоторых угольных пластах с высокой газоносностью, с зонами с низкой проницаемостью и геологическими структурными особенностями, такими как нарушения или зоны сдвижения пород, которые локально ослабляют уголь. Основные горно-геологические факторы и факторы, связанные с горными работами, которые создают наибольший риск внезапных выбросов, часто можно установить, но фактическое проявление такой выбросоопасности спрогнозировать с достаточной степенью определенности невозможно. Руководство угольной шахты может решать эту проблему безопасности путем применения строгих методов предотвращения внезапных 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. Иногда этому процессу способствует разработка соседнего пласта, вследствие чего происходит разгрузка и, соответственно, повышение проницаемости выбросоопасного пласта и, как следствие, облегчается эффективная дегазация.

Внезапные выделения газа могут происходить из почвы выработок с длинными забоями либо в направлении самого забоя, либо в направлении штреков вблизи забоя в результате вздутия почвы. Такой тип выбросов считается наиболее вероятным в случае, когда почва сложена из слоя крепкого песчаника, а на расстоянии 40-60 м ниже отрабатываемого пласта залегает другой

угольный пласт. Хотя прогнозирование в данном случае является сложной задачей, предотвращение выбросов может обеспечиваться в основном за счет периодического бурения серии скважин в почву выработки с целью предотвращения увеличения давления газа.

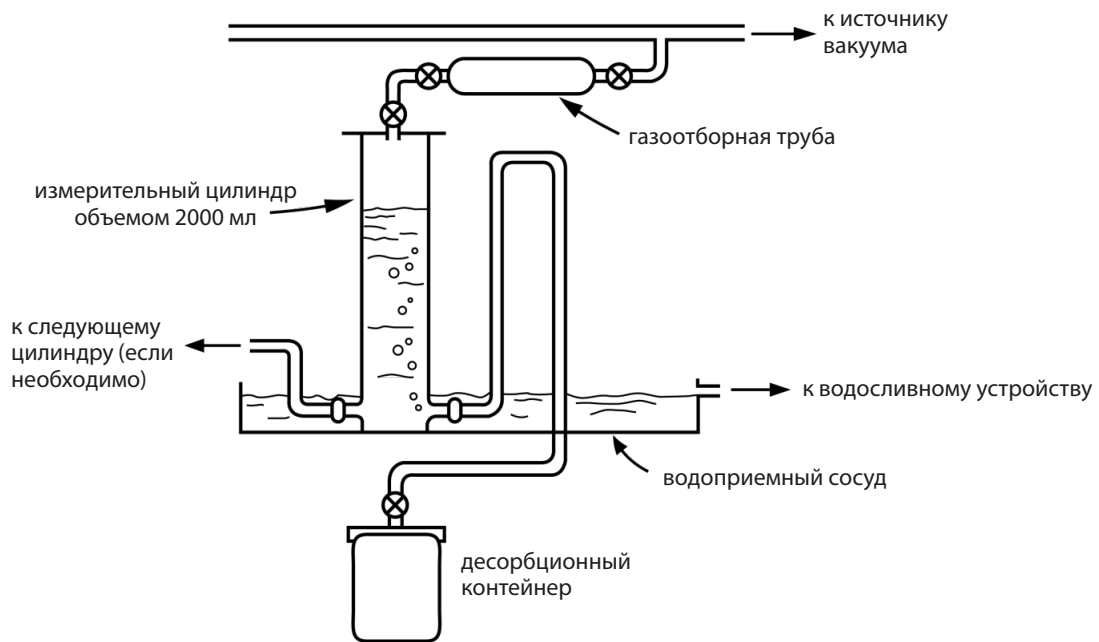
Внезапные суфлярные выделения и выбросы газа могут нанести значительный ущерб и привести к травмам и гибели людей. Если параметры метано-воздушной смеси находятся в пределах диапазона воспламенения, то искры от ударов металлических предметов по породе также могут явиться причиной вспышки рудничного газа.

В некоторых случаях горные работы в угольной шахте могут приводить к нарушению породы-коллектора природного газа и вызывать выделения газа, намного 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 скопившийся в коллекторах газ начинает выделяться. До начала горных работ возможность такого развития событий выявить сложно, но операторам шахт следует проявлять бдительность и учитывать ее, проводя сопоставление данных измерений и прогнозируемых данных. Исключительно важно обеспечить не только мониторинг ситуации в подземных горных выработках с целью обеспечения эксплуатационной безопасности шахты, но и сбор и использование данных с целью подготовки планов обеспечения безопасности. В районе, где наблюдались неожиданно высокие объемы газа, могут быть оправданы дополнительные геологоразведочные работы при подготовке шахты к эксплуатации или ее расширению.

### **3.6. Измерение природной газоносности угля**

Для проектирования систем дегазации источников газовой выработки и проветривания шахт с целью обеспечения безопасности горных работ необходимо располагать данными о количестве газа, адсорбированного в угольном веществе и – в определенной степени – о количестве газа, находящегося под давлением в поровом пространстве.

### Диаграмма 3.2 Оборудование для измерения газоносности (австралийский стандарт)



(На основе документа за авторством Даймонда и Шатцеля, 1998 год)

Газоносность выражается количеством газа, содержащегося в единице массы угольного вещества в месте его залегания ( $\text{м}^3/\text{т}$ ), и ее не следует путать с относительной газообильностью.<sup>8</sup> Общий подход к определению газоносности заключается в отборе угольного керна из геологоразведочной скважины с его последующим размещением в герметичном контейнере. 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 проб. На Диаграмме 3.2 показана аппаратура, предназначенная для сбора и измерения параметров газа при его десорбции из угля, помещенного в герметичный контейнер. Для газа, содержащегося в контейнере, периодически создаются условия для перетекания в измерительный цилиндр, после чего проводится измерение объема выделившегося газа и полученные данные регистрируются. Состав газа может быть проанализирован путем отбора его пробы и проведения 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 (Даймонд и Левин, 1981 год).<sup>9</sup> В Европе и Австралии разработаны методы быстрой десорбции, позволяющие оперативно получать результаты с учетом потребностей, связанных с ведением горных работ (Янас и Опале, 1986 год). Кроме того, для углей с низкой проницаемостью также разработаны методы парциального давления и статистические методы (Криди, 1986 год). Поскольку в угольных пластах наряду с угольным веществом (газ преимущественно адсорбируется органическими

<sup>8</sup> Мера измерения, характеризующая отношение объема газа, выделившегося за время проведения горных работ, к количеству добытого угля.

<sup>9</sup> До 1995 года Горнорудное бюро США (ГРБ США) было основным государственным учреждением Соединенных Штатов, проводящим научные исследования в области добычи угля, металлов и неметаллорудных материалов. Горнорудное бюро США было расформировано в 1995 году, и его функции были переданы другим государственным учреждениям США. На основе Программы исследований в области охраны труда и безопасности было создано и в настоящее время функционирует Управление по исследованиям в области охраны труда и безопасности на шахтах в Национальном институте охраны труда, который является одним из подразделений Центров по контролю и профилактике заболеваний.



веществами) содержатся включения минеральных веществ, газоносность, как правило, корректируется с учетом беззольной части. Иногда газообразные компоненты измеряются по отдельности, и в большинстве случаев основным газом является метан. Обычно природная газоносность угольного пласта в естественных условиях изменяется от следов до примерно 30 м<sup>3</sup>/т.

### **3.7. Практические расчеты газовых потоков в угольных шахтах**

Академическими учреждениями и научно-исследовательскими институтами разработаны обстоятельные теоретические модели потоков газовой выделения, а также имитационные модели. Для практических целей на шахтах обычно используются эмпирические модели газовой выделения, 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 (относительная газообильность в м<sup>3</sup>/т), либо в абсолютных значениях как показатель скорости газовой выделения при стационарных условиях в кубических метрах в минуту (м<sup>3</sup>/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 поддающиеся контролю объемы газовой выделения и соответствующие максимальные объемы добычи угля, которые зависят от следующих параметров:

- нормативные предельные значения взрывоопасной концентрации газа в вентиляционных выработках с исходящими струями выемочных участков с длинным забоем;
- имеющееся количество вентиляционного воздуха и объемы воздушных потоков, которые

могут циркулировать на выемочных участках. Объем потоков воздуха, который может быть подан на действующий длинный очистной забой, зависит от количества выработок, схемы проветривания выемочного участка и максимальной допустимой скорости воздушного потока, приемлемой с учетом работающих в шахте людей;

- если применяется дегазация то объемы каптирования газа, который может поддерживаться на постоянной основе.





# Глава 4. Вентиляция шахты

## Основные тезисы

*Вентиляционные системы являются важнейшими компонентами шахтного оборудования, имеющими крайне важное значение для эффективного отвода метана из горных выработок. При проектировании вентиляции 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 безопасностью достигнуты на газообильных выемочных участках, с одной стороны, зависят от обеспечиваемых вентиляционной системой возможностей разбавления загрязняющих веществ 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 подачи 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 вентиляционной системе пропорционально квадрату объема потока воздуха. Поэтому для незначительного увеличения количества подаваемого воздуха приходится значительно повысить

давление, что приводит к увеличению утечек через выработанное пространство и вентиляционные двери. Кроме того, чрезмерные утечки через выработанное пространство могут приводить к повышению опасности самовоспламенения и к повреждению систем дегазации.

Во многих случаях объем воздуха, необходимый для проветривания подземных горных выработок, и допустимый уровень загрязняющих веществ регулируются учреждениями местных органов власти. Вентиляционная система, 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 вентиляционной системы следует предусматривать возможные уровни содержания загрязняющих веществ, ожидаемые при наихудшем сценарии.

Технические требования к вентиляционной системе задаются с учетом того, что метан является наиболее вредным загрязнителем воздуха и опасным газом. Предполагается, что если выбранный проект вентиляционной системы позволяет удалять наиболее вредное загрязняющее вещество или удовлетворительным образом ограничивать его присутствие, то одновременно он обеспечивает также надлежащий контроль или отвод менее опасных загрязняющих веществ.

### 4.2. Основные элементы проекта вентиляционной системы

Как правило, перемещение воздуха в горных выработках обеспечивается путем его всасывания установленными на поверхности вытяжными вентиляторами. Соответственно, таким образом, в шахте создается давление воздуха ниже атмосферного. В случае отказа вентилятора давление воздуха в шахте возрастает, что предотвращает резкое высвобождение газа на действующих участках шахты.

Чем больше глубина залегания и чем более сложную систему представляет собой конкретная шахта, тем

более сложная вентиляционная сеть требуется для ее функционирования. Однако следует иметь в виду, что с добавлением сложности системы появляется больше 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 при последовательной схеме 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 допустимому пределу.

Требования по проветриванию носят динамичный характер. Потребность в вентиляционном воздухе растет по мере проведения горных работ и увеличения площади проветривания; в этой связи может возникнуть потребность в сооружении дополнительных вентиляционных стволов, модернизации вентилирующих установок или расширении имеющихся воздухопроводящих выработок.

Для моделирования работы вентиляционных сетей существует патентованное программное обеспечение. Для калибровки модели и проверки эффективности системы по мере изменений ситуации следует через регулярные промежутки времени проводить обследования для замера фактических показателей давления и расхода воздуха.

По мере возможности вентиляционную систему 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 проветриваемом участке (на входах).

Устанавливаемый(ые) на поверхности вентилятор(ы) следует проектировать таким образом, чтобы он(и) удовлетворял(и) требованиям вентиляции конкретной шахты. Как правило, поверхностные вентиляторы могут регулироваться в определенных пределах 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 модернизации вентиляционной сети.

#### **4.3. Проветривание газообильных выемочных участков**

Существуют различные схемы проветривания для управления газовой выделением, борьбы с пылью и регулирования теплового режима в очистных 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 каптирован путем дегазации и который, кроме того, продолжает выделяться из угля, оставшегося в выработанном пространстве.

Удаление этих газов проводится одним из двух способов с использованием вентиляционной системы. Во-первых, могут быть созданы условия для их поступления в шахтный воздушный поток, когда имеется достаточно воздуха для разбавления максимального прогнозируемого количества газовой выделений в воздухопроводящих выработках до безопасных концентраций (Диаграмма 4.1). Например, в одном длинном очистном забое с возвратной схемой проветривания, представленной на Диаграмме 4.2, при 50-процентной эффективности дегазации может быть обработан газовый поток 800 л/сек (48 м<sup>3</sup>/мин)

чистого метана.<sup>10</sup> За счет применения наилучшей практики проветривания длинного очистного забоя с многоштрековой системой подготовки, при эффективности дегазации 70% можно контролировать поступление чистого метана, большее в шесть раз, с дебитом 5 333 л/сек (320 м<sup>3</sup>/мин).<sup>11 12</sup>

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 или – через давно выработанные пространства – в основные воздуховыводящие выработки или непосредственно в газоотводящие стволы (т.е. вертикальные стволы, через которые метановоздушная смесь выводится с выемочных участков, как это обычно делается в США). Эффективность этих газоотводящих систем зависит от распределения давления в системе проветривания выработок, которое корректируется 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%.

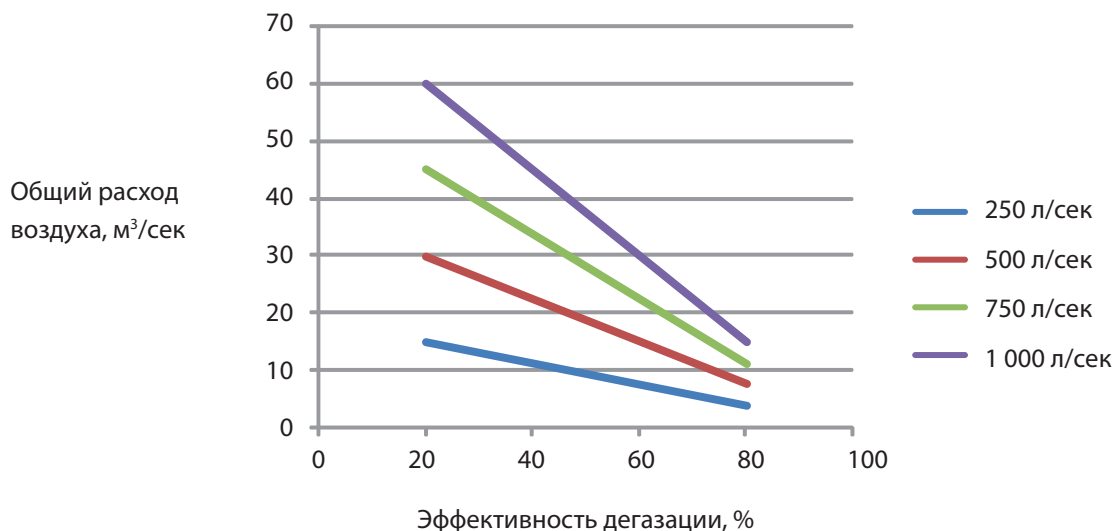
По практическим соображениям устанавливается верхний предел по количеству воздуха, которое может подаваться вдоль забоя без создания неприемлемых условий для проведения работ, в первую очередь из-за частиц пыли в воздухе. Ограничения по расходу воздуха в призабойном пространстве сужают возможности проветривания при традиционной возвратноточной 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

<sup>10</sup> Подача свежей струи воздуха по откаточному штреку, отвод вентиляционной струи по вентиляционному штреку, максимальная концентрация метана не более 2% при расходе воздуха 30 м<sup>3</sup>/сек.

<sup>11</sup> Подача свежей струи по нескольким выработкам, максимальная концентрация метана не более 2% при расходе воздуха 120 м<sup>3</sup>/сек

<sup>12</sup> В обоих случаях учитываются допущения по пиковым значениям, превышающим средние значения на 50%.

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



(Публикуется с разрешения «Синдикатум сустэйнэбл рисорсиз»)

показано направление отработки угля, узкими синими стрелками – направление поступающих вентиляционных струй, а красными стрелками – направление исходящих вентиляционных струй.

Независимо от применяемого способа или схемы вентиляции 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), а также в исходящую вентиляционную систему длинного очистного забоя (участок сопряжения лавы с вентиляционным штреком), с тем чтобы обеспечить соблюдение установленных в нормативных актах локальных предельных значений. Выбранная схема должна обеспечивать надлежащее проветривание в тех местах, где бурение скважин для дегазации источников метановыделения может дать наибольший эффект. Отступление от этого стандарта может привести 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

дегазационных скважинах, пробуренных вкрест простирания 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 "Y" и "H"-образные схемы, а также схемы с проветриванием сопряжения.<sup>13</sup> В схеме проветривания следует предусмотреть определенные способы создания перепада давлений на концевых участках длинного очистного забоя, с тем чтобы пожароопасные газовые смеси не попадали в забой. Для этого может потребоваться использование регуляторов (частичных преград) в выработках, а также специальных вентиляционных устройств на концевых участках забоя, предназначенных для отвода воздушного потока с противоположной от забоя стороны вдоль выработанного пространства.

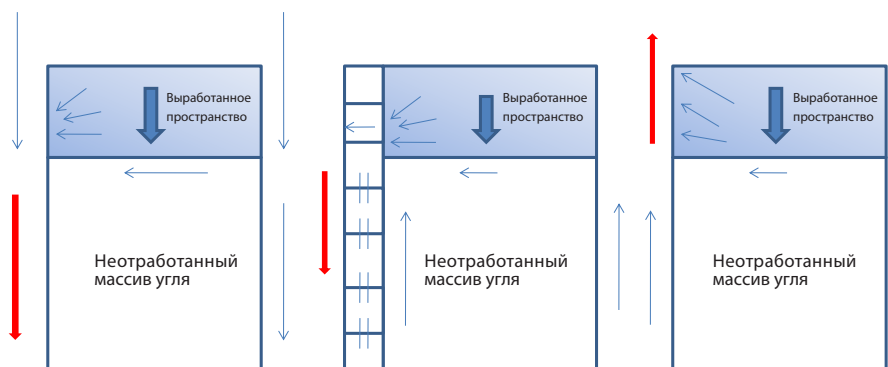
<sup>13</sup> Пример проветривания сопряжения см. на Диаграмме 9.1, приводимой в Примере 1

**Диаграмма 4.2 Традиционная возвратноточная схема проветривания**



Система проветривания по H-образной схеме

**Диаграмма 4.3 Схемы проветривания, применяемые на газообильных выемочных участках**



3-ходовая система проветривания

Усовершенствованная система проветривания по Y-образной схеме

### Высокопроизводительные операции с применением длинных очистных забоев на участках с высоким газовыделением – Германия

**Ситуация:** Максимально допустимый расход воздуха по длинному очистному забою, равный 25 м<sup>3</sup>/сек, был в состоянии разбавлять лишь максимальный приток газа в 0,37 м<sup>3</sup>/сек (22,2 м<sup>3</sup>/мин), что было неприемлемым условием, несмотря на решение надзорного органа о повышении максимально допустимой концентрации газа с 1,0% до 1,5% (снижение коэффициента безопасности с 5,0 до 3,3). Вариант применения текущей дегазации в данном случае был оценен и определен как неэффективный.

**Решение:** Была спроектирована система вентиляции по Y-образной схеме, которая позволяла вводить дополнительный объем воздуха с расходом 50 м<sup>3</sup>/сек к уже имеющемуся потоку в 25 м<sup>3</sup>/сек; объединенный поток, проходя за забоем, разбавлял метан, выделяемый из очистного забоя и выработанного пространства. Такая схема проветривания позволяет пробурить скважины вкрест простирания пласта, подключить их к дегазационной системе отдельно контролировать и регулировать каждую скважину.

Более подробная информация приведена в Примере 2.

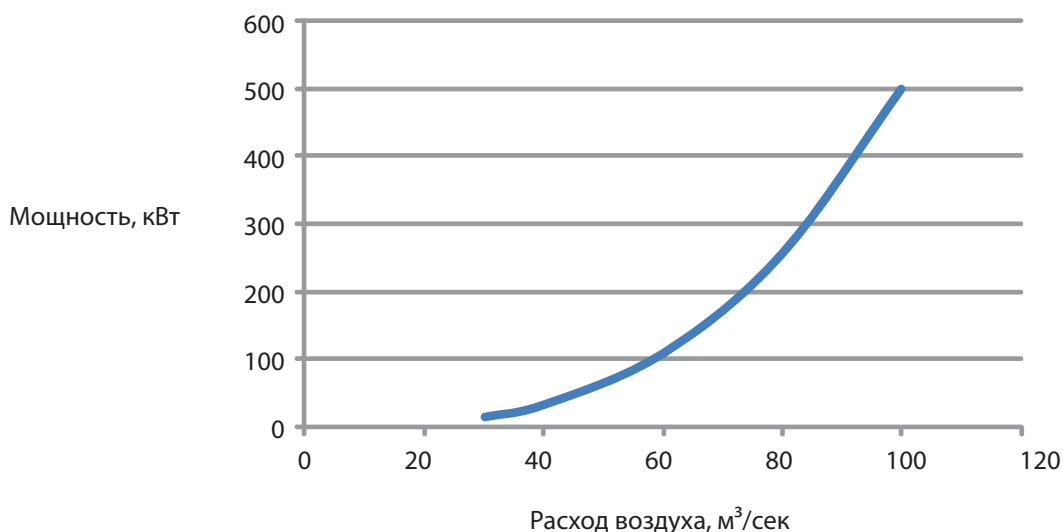
### 4.4. Потребность в электроэнергии для вентиляционной системы

Даже при незначительном увеличении объема воздуха, проходящего через вентиляционную систему шахты, потребление электроэнергии значительно возрастает и, соответственно, возрастают расходы на проветривание. Потребность вентиляционной системы 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 может быть связано с необходимостью проведения на шахте крупных работ инфраструктурного характера.

### 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

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



(Публикуется с разрешения «Синдикатум сустэйнэбл рисорсиз»)



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 людей в выработку требуется проведение специальных процедур, обеспечивающих безопасное удаление газа. Для снижения риска появления скоплений газа в некоторых шахтах при определенных условиях после коротких остановок допускается автоматическое возобновление работы вентиляторов местного проветривания. Если после отказа вентиляционной системы в тупиковых выработках и камерах скапливается метан, необходимо провести тщательно организованную процедуру разгазирования, чтобы предотвратить неконтролируемое попадание метановой пробки с высокой концентрацией газа в главную систему проветривания.

#### **Снижение взрывоопасности на шахтах с камерно-столбовой системой разработки пластов – Южная Африка**

**Ситуация:** Выработанные пространства не могут эффективно проветриваться, так как для этого требуется большое количество воздуха, равномерное распределение которого добиться трудно. Чтобы основные вентиляционные потоки достигали действующих забоев, выработанные пространства закрываются временными экранами; вследствие этого газ накапливается в закрытых зонах за забоем.

**Решение:** Были рекомендованы следующие меры: 1) использование эффективной системы местного проветривания в тупиковых выработках (вторичное проветривание); 2) регулярное измерение и регистрация важных параметров системы проветривания; 3) инспектирование газообильных участков с интервалами не более одного часа; и 4) непрерывный мониторинг газа в находящемся в работе очистном забое.

Более подробная информация приведена в Примере 9.

Выход из строя системы проветривания 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 обеспечивают наличие избыточной мощности главной системы проветривания.

#### **4.6. Мониторинг воздухораспределения**

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

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

Не следует устанавливать точки для замеров в местах, где имеются препятствия в виде локомотивов или других припаркованных транспортных средств, поскольку создаваемые ими помехи вызывают периодические изменения скорости потока воздуха в этих местах.

Переносные крыльчатые анемометры подходят для использования в любом месте шахты, включая динамически активные участки, поскольку геометрические размеры горных выработок могут быть определены при каждом измерении скорости потока воздуха. Чтобы обеспечить точность показаний измерительных приборов, через установленные интервалы времени должна проводиться их повторная калибровка.

#### **4.7. Управление проветриванием**

Управление распределением воздуха включает в себя перенаправление воздушного потока на конкретный 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 такого вентилятора может оказывать лишь незначительное влияние 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.

Горное давление может вызвать осадку кровли, бортов и почвы горных выработок, что, в свою очередь, может привести к увеличению сопротивления воздушному потоку; в этой связи необходимо обеспечивать техническое обслуживание подземных выработок с целью содействия эффективному проветриванию в соответствии с проектом.

Не рекомендуется осуществлять непрерывный контроль и регулирование главного вентилятора. 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 предотвращения прекращения подачи воздуха в шахту на время остановки вентиляторов для текущего технического обслуживания или проверки.



# Глава 5. Дегазация источников метановыделения

## Основные тезисы

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

*Практические проблемы дегазации на угольных шахтах, как правило, могут быть решены за счет применения имеющихся знаний и методов. Вопрос внедрения новых или новейших технологий следует рассматривать лишь после применения надлежащей практики, причем только в том случае, если уже используемые методы работы не позволили найти удовлетворительного решения проблем. Внедрению любой технологии на шахтах должны предшествовать обстоятельные испытания, с тем чтобы были соблюдены требования безопасности и наилучших практик.*

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

*Практика транспортировки на угольных шахтах метано-воздушных смесей при концентрациях, находящихся в пределах диапазона взрывоопасности или близких к нему, является опасной и 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 поступления в рудничную атмосферу. В соответствии с нормативными предписаниями количество газа, поступающего в воздушный поток, не должно превышать возможностей разбавления газообразных загрязняющих веществ вентиляционным воздухом до предписанных уровней безопасности;

однако весьма целесообразно каптировать газ в максимальных объемах, с тем чтобы добиться высокого уровня безопасности, смягчения воздействия на окружающую среду и использования его для выработки энергии.

Существует широкий круг методов каптирования газа. Выбор ненадлежащих методов или их неудовлетворительное применение могут привести к низкой эффективности дегазации и чрезмерному притоку воздуха, вызывающему в каптированном газе потоки метана низкой концентрации. Когда в процессе отвода и утилизации этих газов они находятся в пределах диапазона взрывоопасности или приближаются к нему, они создают факторы риска.

### 5.2. Основные принципы применяемых в мире практик дегазации источников метановыделения

В силу различий в горно-геологических условиях в различных угольных бассейнах мира разработаны и применяются различные методы 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 сдвижения горных пород, их разгрузки от давления и повышения проницаемости в результате ведения горных работ. В Приложении 1 кратко рассмотрены наиболее распространенные методы дегазации источников метановыделения. Методы предварительной дегазации, описанные в данной главе, обычно применяются в ситуациях, имеющих место в угольных шахтах; вопросы, характерные для предварительной дегазации метана на угольных разрезах, рассматриваются в главе 6.

Применение надлежащих практик текущей дегазации на выемочном участке с длинным забоем

в нормальных горно-геологических условиях, как правило, позволяет каптировать от 50% до 80% всего имеющегося на участке 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 метана на уровне 60% и выше.

### 5.3. Предварительная дегазация

Предварительная дегазация может осуществляться как при помощи скважин, пробуренных из подземных горных выработок, так и скважин, пробуренных с поверхности. Предварительная дегазация является единственным способом снижения интенсивности газовыделения непосредственно из обрабатываемого угольного пласта, что может иметь весьма важное значение, если обрабатываемый пласт является основным источником газовыделения. В некоторых случаях предварительную дегазацию необходимо проводить для снижения рисков внезапных выбросов (см. Пример 3). Поскольку предварительная дегазация проводится до начала ведения горных работ, вероятность нарушения систем сбора газа в результате сдвижения горных пород отсутствует; при этом как правило извлекается газ относительно высокой чистоты. При дегазации блоков угля до ведения горных работ, как правило, образуются непрерывные потоки газа высокой чистоты, однако предварительная дегазация обычно эффективна только в том случае, если проницаемость угольного пласта и его газоносность достаточны для того, чтобы могло иметь место интенсивное газовыделение. Наличие интенсивного газовыделения во вновь пройденных выработках указывает на среднюю или высокую степень проницаемости пласта по трещинам и на наличие потенциала как для проведения эффективной предварительной дегазации, так и для 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. Что же касается углей с низкой проницаемостью, то для того, чтобы до начала

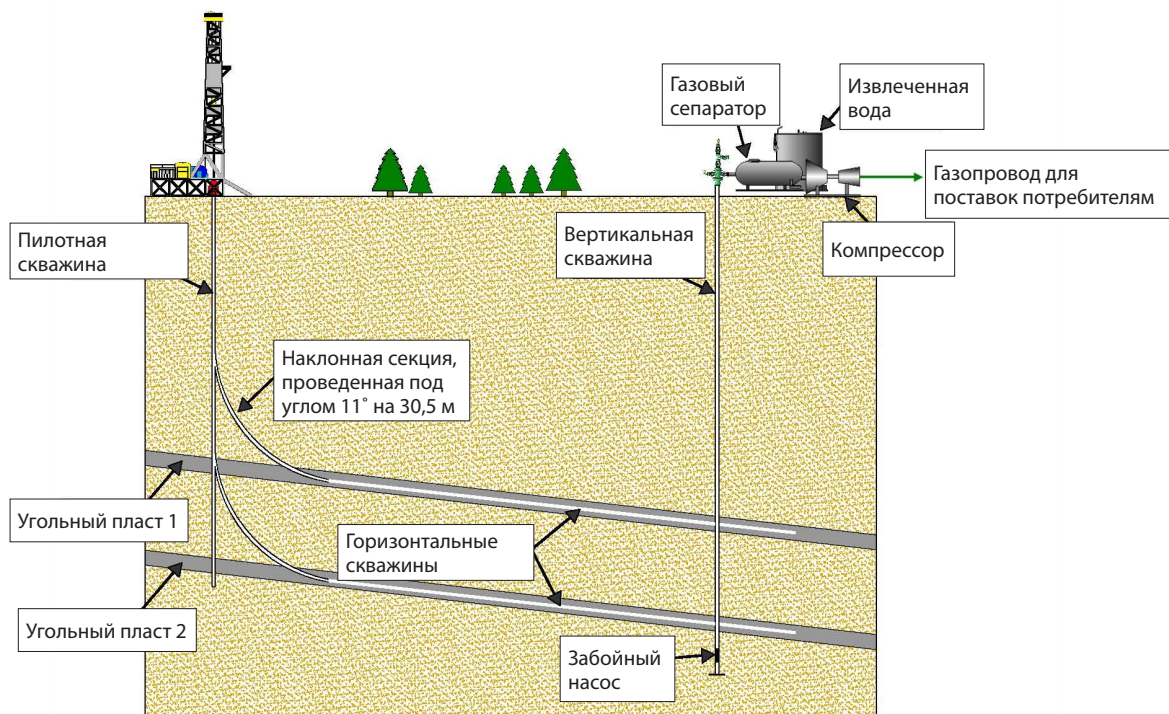
проведения горных работ снизить уровни газоносности по метану до рекомендуемых, потребуется бурение значительно большего числа необходимых скважин. Факторами, которые в конечном итоге определяют целесообразность предварительной дегазации в условиях конкретной шахты, являются имеющееся время для снижения газоносности угля до начала очистных работ и издержки, связанные с буровыми работами.

В мире применяются различные методы предварительной дегазации шахт. Для бурения из подземных горных выработок скважин в пластах на глубину от 100 до 200 метров широко применяется роторное бурение. Что касается скважин глубиной более 1 000 м, позволяющих повысить эффективность дегазационных работ, то их могут прокладывать с применением методов направленного бурения из подземных горных выработок. Кроме того, когда шахты не слишком глубокие, существует возможность для обурирования 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 до 10 миллидарси (мД) (т.е. приблизительно от  $5 \cdot 10^{-4}$  (микрометров)<sup>2</sup> до  $10^{-2}$  (микрометров)<sup>2</sup>) и даже менее этого уровня. В Австралии, где абсолютная газообильность шахты может достигать 9 500 л/сек, а эффективность каптирования газа для длинного очистного забоя требуется на уровне от 80% до 85%, для высокопроизводительных длинных забоев с выемкой обратным ходом практикуется комбинированное применение предварительной и текущей дегазации с использованием передовых методов направленного бурения с поверхности и из подземных выработок (Бэлль, 2016 год). Из-за относительно низкой производительности систем, пробуренных с поверхности, и связанных с ними эксплуатационных расходов, в Австралии отдается предпочтение дегазации с помощью скважин, пробуренных из подземных горных выработок (Бэль, 2016 год). Опыт Австралии и США (фон Шонфельдт, 2008 год) показал, что при наличии возможности бурения пласта с поверхности применение этого метода более эффективно, по сравнению с бурением пласта из подземных горных выработок, поскольку скважина может быть пробурена задолго до начала горных работ, в связи с чем существует меньшая вероятность

сокращения времени на эффективную дегазацию по причинам, связанным с угледобычей (Блэк и Азиз, 2009 год). На Диаграмме 5.1 показана возможная схема бурения, которую можно использовать с целью дегазации угольных пластов до начала горных работ. На схеме показано, что два рабочих пласта сначала дегазировываются путем бурения пилотной скважины, из которой затем бурятся две горизонтальные скважины в каждый из пластов. Затем производится бурение

еще одной вертикальной скважины, пересекающей горизонтальные скважины. Из вертикальной скважины отводится вода и газ, а пилотная скважина тампонируется или ликвидируется. На Диаграмме 5.2 указаны варианты проведения текущей дегазации, но и в этом случае скважины, пробуренные вкрест простирания и направленные скважины (до начала очистных работ) в основном могут буриться по той же схеме.

### Диаграмма 5.1 Схема предварительной дегазации с помощью пробуренных с поверхности направленных скважин



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

На пластах малой и средней глубины залегания с высокой проницаемостью ( $> 10$  мД) для проведения дегазации до начала горных работ, главным образом в Соединенных Штатах, традиционно и с большим успехом применяются пробуренные с поверхности вертикальные скважины с гидравлическим стимулированием, которые известны как «скважины гидроразрыва». Гидроразрыв пласта 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 бурения скважин с поверхности заключаются в том, что дегазация может проводиться независимо от горных работ, однако целесообразность их применения зависит от глубины бурения, характеристик угля, а также от ограничений, обусловленных топографическими факторами.

#### 5.4. Основные принципы текущей дегазации

Во многих угольных бассейнах мира в силу низкой проницаемости угольных пластов ( $< 0,1$  мД) и их геологических характеристик (например, наличие мягких углей, высокая трещиноватость) применение методов предварительной дегазации нецелесообразно. Поскольку во многих странах запасы

неглубокого залегания уже отработаны, а добыча угля ведется из более глубоких пластов, вероятно, что такая ситуация будет все более распространенной. Дегазация источников метановыделения в этих угольных бассейнах основана на использовании процессов трещинообразования и повышения проницаемости пластов в результате сдвижения горных пород по мере постепенной выемки угля.

Методы *текущей* дегазации заключаются в каптировании метана, выделяющегося из зон, нарушенных горными работами, до его поступления в рудничную атмосферу 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 мощности угольных пластов и их газоносности. Поэтому 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, необходимых для эффективной дегазации и безопасной утилизации газа, требуются тщательно спроектированные и эффективно управляемые системы дегазации. Чем больше угля залегает в кровле и в почве отрабатываемого высокогазоносного 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 очистным забоем после извлечения угля. На этой диаграмме показаны три способа бурения.

- Направленные горизонтальные скважины: бурение производится из конвейерного штрека или специально подготовленных для бурения горных выработок. Возможно бурение скважин во вмещающие 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 в породы кровли и почвы пласта.

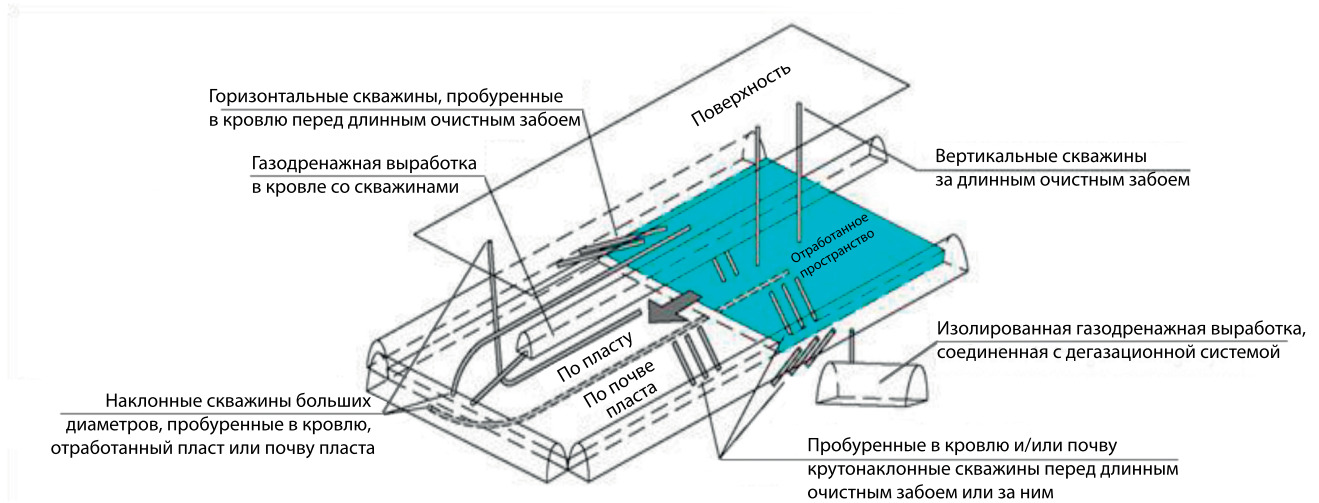
#### **Обеспечение планируемых объемов добычи угля на газообильном выемочном участке с применением длинных очистных забоев с выемкой обратным ходом при высоких напряжениях в угольных пластах, склонных к самовозгоранию – Соединенное Королевство**

**Ситуация:** Шахта производительностью 1 млн т/год с глубиной разработки 980 м и высотой длинного забоя с выемкой обратным ходом 2 м. Отрабатываемый угольный пласт характеризовался сверхнизкой проницаемостью и высокими горизонтальными напряжениями; в оконтуривающих выработках наблюдалось пучение почвы. Кроме того, отрабатываемый пласт имел предрасположенность к самовозгоранию. Относительная газообильность шахты составляла 50 м<sup>3</sup>/т. Предварительная дегазация не была осуществима из-за низкой проницаемости угля, а скважины вкрест простирания пласта над призабойным пространством были разрушены высокими напряжениями; по этим причинам было невозможно обеспечить высокие объемы каптирования и концентрации газа. Высокий риск самовозгорания и требование о существенных размерах целиков для обеспечения устойчивости горных выработок не позволяли использовать многоштрековые системы или системы газотводящих штреков.

**Решение:** Были пробурены скважины вкрест простирания позади забоя в зоне его сопряжения с вентиляционным штреком, усиленной специальной крепью. Также в почву пласта с интервалом 100 метров были пробурены скважины для предотвращения поступления из нее газа в горные выработки. Скорость продвижения очистного забоя была высокой, но времени было достаточно для завершения и подсоединения каждой скважины к дегазационному ставу. Более подробная информация приведена в Примере 1.

- Скважины вкрест простирания пласта: на рисунке показаны различные схемы проведения таких скважин; они служат для дегазации горных пород кровли и почвы по мере их разгрузки от давления в результате выемки угля. Одна серия скважин, опережающая длинный очистной забой при отработке угля обратным ходом, бурится в породы кровли 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, скважины, пробуренные позади

## Диаграмма 5.2 Варианты бурения скважин для текущей дегазации



(Публикуется с разрешения «ДМТ ГмБХ и Ко. КГ»)

длинного очистного забоя, обеспечивают более высокую эффективность дегазации и концентрации газа, по сравнению со скважинами, пробуренными перед очистным забоем. Вместе с тем позади забоя необходимо поддерживать выработку с помощью установки крепи, а кроме того, в некоторых случаях необходимо создавать 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 в него воздуха с целью минимизации опасности самовозгорания.

- Скважины выработанного пространства: бурение проводится с поверхности до верхних границ выработанного пространства – как правило, до очистных работ. Эти скважины пробурены так, что через их нижние перфорированные щелевыми резами секции газ выводится на поверхность из купола обрушения горных пород. 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 ниже 25-30% такие скважины

над выработанным пространством должны закрываться.

Эффективным способом сокращения выделений метана в действующие горные выработки является устройство газодренажных штреков над примыкающими к длинному очистному 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 требуемых издержек. На Диаграмме 5.2 показано несколько вариантов проведения текущей дегазации, но бурение скважин вкрест простирания пласта и направленных или управляемых скважин могут производиться по одной и той же схеме и обеспечивать извлечения газа на оконтуренных выработках панелях также до начала работы длинного очистного забоя. Недостатком метода текущей дегазации является проблема стабильности скважин, которая может в некоторых случаях затруднять добычу газа.

При применении некоторых методов отвода газов, например, при укладке дренажных труб в отработанное пространство через перемычки, 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 капируют только ШМ низкой концентрации, поскольку они крайне неэффективны и способствуют накоплению взрывоопасных газовых смесей в выработанном пространстве длинных очистных 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 (если общий объем вентиляционного воздуха, поступающего в шахту, остается неизменным). В этой связи требуется непрерывно и тщательно контролировать системы дегазации источников газовой выделенной и управлять ими.

##### **5.5. Требования, предъявляемые к системам дегазации источников метановыделения**

Производительность системы дегазации источников метановыделения следует проектировать с учетом максимальных прогнозируемых объемов капируемых 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 законсервированные).

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

Качество газа является проектным параметром системы дегазации источников газовой выделенной, а не изначально присущей 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 системах дегазации зависит от качества герметизации скважин, в том числе от надлежащей установки обсадных труб, систематического регулирования параметров отдельных скважин, а также давления всасывания на наземной установке отвода газа. 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. Очень важно обеспечить, чтобы давление всасывания и дебит газа на станции, установленной на поверхности, корректировались с учетом всех данных об обстановке в подземных горных выработках, получаемых в непрерывном режиме от лиц, ответственных за контроль проветривания длинных очистных забоев.

В процессе планирования и сооружения системы дегазации источников метановыделения, а также управления ею, необходимо учитывать следующие факторы:

- безопасность доступа для буровых работ, мониторинга и регулирования системы;
- устойчивость грунта и наличие необходимых систем крепления для стабилизации скважин;
- выбор схем бурения дегазационных скважин с учетом различий между прогнозируемой эффективностью текущей дегазации углепородного массива;
- предельные дебиты, диаметры труб, характеристики откачивающего насоса и требования в отношении инфраструктуры;
- необходимость определения мест проведения, установки и пуска в эксплуатацию дегазационного трубопровода;
- необходимость установки водоуловителей и влагоотделителей;
- эксплуатационный контроль и техническое обслуживание дегазационной системы и инфраструктуры;
- мониторинг скважин, трубопроводных сетей и наземной установки отвода газа;
- защита газодренажных труб от разрушения в пространстве за забоем при отработке угля обратным ходом.

### **Пример 3: Высокоэффективные операции в длинном забое в зонах с большим газовыделением – Австралия**

**Ситуация:** На шахте в Австралии имеется серия новых блоков в угольном пласте толщиной 2,8 м с содержанием метана от 8 до 17 м<sup>3</sup>/т. Глубина залегания пласта – 250-500 м. Согласно прогнозной оценке, вероятно газовыделение из источников в угольных пластах в пределах от 15 до 30 м<sup>3</sup>/т. Скорость газовыделения может достигать 9,5 м<sup>3</sup>/сек.

**Решение:** К настоящему времени на шахте успешно применены традиционные дренажные скважины с поверхности в выработанное пространство (диаметр скважины 300 мм, скважины расположены на расстоянии 50 м друг от друга в задней части выработки) с целью сокращения нагрузки газовыделения на систему проветривания. Эта стратегия обеспечила каптаж газа в среднем на уровне 75% (дегазация выработанных пространств и проветривание) при пиковых значениях приблизительно 85% и высокой чистоте газового потока (>90% CH<sub>4</sub>).

Более подробная информация приведена в Примере 3.

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 токопроводящей 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 буровзрывные 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 ее целостности.

### **5.6. Подземные газодренажные трубопроводы**

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

Трубы из АСП являются относительно хрупкими и их не следует использовать на выемочных участках; вместе с тем, 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 подвижных сочленений.

В некоторых странах применяются полиэтиленовые трубы, но в подземных выработках следует избегать проведения высокотемпературной сварки соединений или сегментов таких труб. В некоторых странах органы

### **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 наземной установке отвода метана, на которой размещены насосы для откачки газа, отводимого из шахты. К числу параметров, по которым должен проводиться мониторинг, относятся дебит смеси, концентрация газа, манометрическое давление и температура. Для стандартизации данных о дебите газа также следует регистрировать барометрическое давление. В некоторых случаях газ, отводимый или выделяемый в горную выработку, может содержать более тяжелые газообразные углеводороды, например, этан или пропан. Эти виды углеводородов могут исказить реакцию традиционных систем обнаружения газа, работающих на основе инфракрасного излучения, и вызывать неточные замеры по метану. Следует тщательно подходить к выбору контрольного

оборудования, способного вносить коррективы по неметановым углеводородам, с целью обеспечения точности измерений.

С помощью мониторинга следует оценивать соответствие фактической эффективности установленной системы показателям эффективности, предусмотренным концепцией проекта. В некоторых странах, например, в Соединенных Штатах, надзорные органы требуют мониторинга и проверки выбросов парниковых газов из угольных шахт, а также отчетности о таких выбросах.<sup>14</sup>

---

<sup>14</sup> В соответствии с принятым Конгрессом США Законом о консолидированных ассигнованиях на 2008 год, Агентство по охране окружающей среды США (АООС США) издало Закон об обязательной отчетности по парниковым газам. В этом документе содержится предписание относительно представления данных о выбросах парниковых газов (ПГ) и другой соответствующей информации крупными предприятиями-источниками выбросов и поставщиками продукции в Соединенных Штатах, включая данные о выбросах угольных шахт, которые выделяют метан в объеме не менее 701 метрической тонны в год (36,5 млн кубических футов или 1,03 млн кубических метров в год). В 2014 году данные о выбросах в рамках Программы отчетности по парниковым газам представили 128 шахт. Данные, представляемые угольными шахтами в рамках Программы отчетности по парниковым газам, являются открытыми и доступны на веб-сайте АООС США. Вышеупомянутое Правило предполагает исключительно отчетность и не предусматривает контроль за выбросами, а также не включает в себя какую-либо программу торговли квотами на выбросы парниковых газов.





# Глава 6. Использование метана и борьба с его выбросами

## Основные тезисы

*Угольные шахты являются одним из крупнейших источников антропогенных выбросов метана; объем этих выбросов может быть существенно снижен с помощью внедрения передовой практики. ППП метана более чем в 28-34 раза превышает ППП диоксида углерода – самого важного парникового газа.*

*Большая часть метана, образующегося в шахтах, может быть использована или уничтожена предприятиями угледобывающей 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 риска в подземных горных выработках.*

### **6.1. Шахтный метан и смягчение последствий изменения климата**

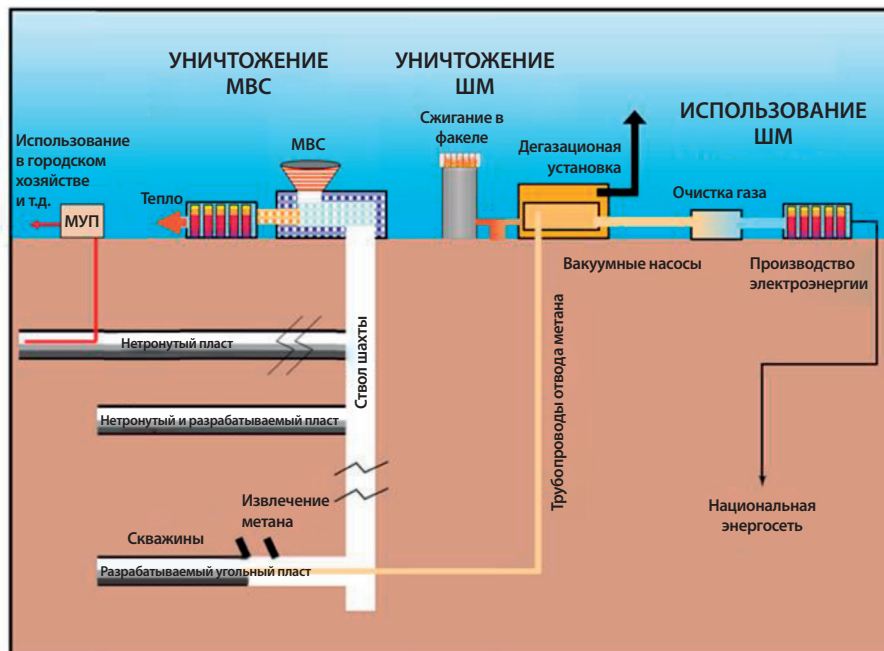
Сокращение выбросов метана представляет собой международный приоритет, в реализации которого угольные шахты могут играть важную роль. На метан приходится 20% глобальных антропогенных выбросов ПГ, а на угольные шахты – 8% выбросов метана, или приблизительно 400 млн т CO<sub>2</sub>э в год (АООС, 2012 год; МГЭИК, 2014 год). Объемы глобальных выбросов шахтного метана могут быть относительно небольшими, по сравнению с другими источниками выбросов ПГ, связанными с углем (например, выбросами диоксида углерода при сжигании угля), и тем не менее они значительны. Пообъектно выбросы шахтного метана могут быть очень большими и в общей сложности составлять более 1 млн тонн CO<sub>2</sub> в год. Важно

отметить, что технологии извлечения и использования шахтного метана коммерчески доступны и доказали свою эффективность, что делает для угольной промышленности утилизацию шахтного метана весьма привлекательным решением проблемы борьбы с выбросами ПГ в краткосрочном и среднесрочном плане.

### **6.2. Шахтный метан как энергоресурс**

Процессы улавливания и использования метана могут существенно повысить добавленную стоимость угледобычи. Каптивированный 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. Идея каптивирования и утилизации шахтного метана может стать основным компонентом стратегии Корпоративной социальной ответственности, которая имеет огромное значение в контексте растущей глобальной озабоченности относительно последствий изменения климата и устойчивости добывающих отраслей.

## Диаграмма 6.1 Оптимизация рекуперации энергии при горных работах с практически нулевыми выбросами метана



(Публикуется с разрешения «Синдикатум сусэйнэбл рисорсиз»)

### 6.2.1 Шахтный метан

Существующие технологии позволяют оптимизировать процесс рекуперации энергии и практически исключить существенную долю выбросов метана из подземных горных выработок (Диаграмма 6.1). Надлежащие стандарты и практика дегазации обеспечат получение кондиционного газа стабильного качества и будут содействовать реализации возможностей его утилизации с наименьшими затратами. В результате изменений условий ведения горных работ поставки газа могут изменяться, и оборудование для утилизации газа может в некоторых случаях приходиться 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 утилизирован, разбавляется в вентиляционном воздухе и выбрасывается в атмосферу в виде МВС. Технологии снижения выбросов метана вентиляционных струй (МВС) 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 по этой тематике.

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 риска в подземных выработках.

### 6.2.2 Метан угольных разрезов

При помощи технологий, разработанных и используемых для отвода метана угольных пластов, можно каптировать метан через скважины, пробуренные с поверхности; вместе с тем для эффективной дегазации и каптирования метана, который в противном случае высвобождался бы во время добычи угля, требуется, чтобы скважины для дегазации были пробурены до начала горных работ. По соображениям экономической целесообразности программу бурения следует координировать с планами и графиками добычи угля. Координация программы бурения с горными работами обеспечивает широкие возможности для отвода газа после бурения скважин в целях выгодной рекуперации газового ресурса,

при которой инвестиции в эту программу будут рентабельны.

На угольных разрезах применяют как продольные, так и кольцевые системы разработки угольных пластов. При продольной системе фронт вскрышных и добычных работ перемещается по простиранию отрабатываемого угольного пласта, слои которого извлекаются по мере удаления вскрышных пород. Эти породы, извлекаемые с последующих слоев по мере продвижения фронта работ, перемещаются во внутренние отвалы. Вертикальные скважины, которые могут использоваться для дегазации угольного пласта до начала вскрышных работ, следует располагать таким образом, чтобы они не были повреждены в процессе горных работ и были пробурены до их начала, чтобы обеспечить эффективную дегазацию. Наклонно-направленные скважины, пробуренные с поверхности, также могут использоваться для эффективной дегазации угольного пласта (Диаграмма 6.2). Эти скважины могут быть особенно эффективными, если расположены таким образом, что ствол скважины залегает ниже нарушенной зоны и находится в пределах разрабатываемого угольного пласта. По мере удаления вскрыши нижележащий массив горных пород разгружаются, что в некоторой степени увеличивает проницаемость угольных пластов и эффективность дегазации.

При кольцевой системе разработки вскрышные породы удаляются последовательно концентрическими слоями или уступами по направлению от поверхности ко дну разреза. Борты разреза проектируются таким образом,

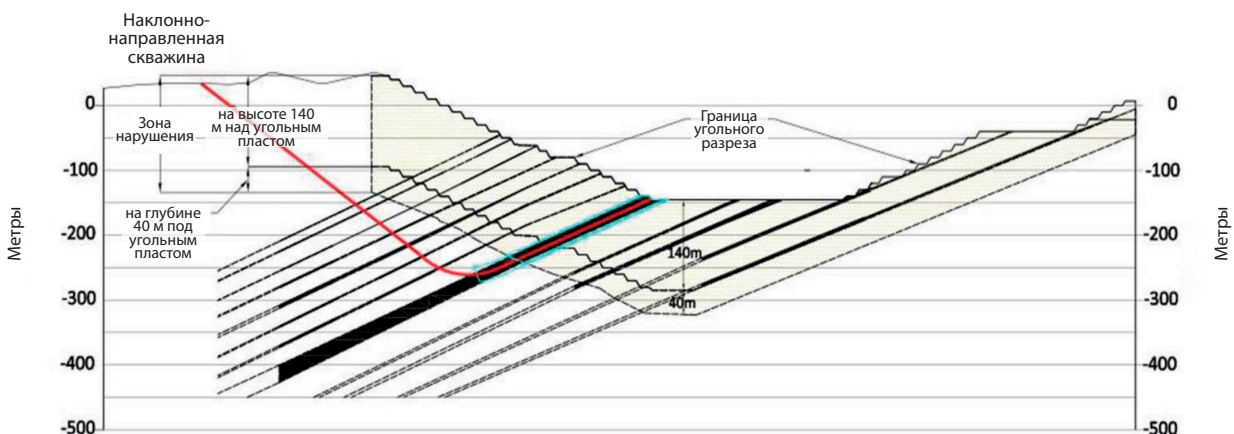
чтобы обеспечить их устойчивость и предотвратить обвал горных пород или разрушение уступов.

Транспортные пути располагаются вдоль уступов для доставки угля и/или вскрышных пород на поверхность и складирования вдоль бортов разреза.

Как и в предыдущем случае, при кольцевой системе разработки размещение скважин и сроки следует согласовывать с планом ведения горных работ. На Диаграмме 6.3 показано, как можно скоординировать размещение скважин с планируемым расширением разреза.

В Соединенных Штатах в угольном бассейне Паудер-Ривер для дегазации угольных пластов перед горными работами эффективно применяются вертикальные скважины, пробуренные с поверхности. Ключевым фактором успеха данного проекта была тесная координация действий между оператором угольного разреза и владельцем прав на сопутствующий метан угольных пластов. Правительству США принадлежали права на добычу полезных ископаемых, что сделало возможным сокращение выплат роялти и арендной платы решением Бюро по управлению земельными ресурсами США с целью создания стимулов для производителя газа, так как осознавался тот факт, что для обеспечения того, чтобы ценный газовый ресурс не тратился впустую по мере разработки, нужны стимулы. Результатом этого скоординированного совместного производства газа стало то, что газ производился и реализовывался для закачки в газопроводные сети, а не терялся в виде атмосферных выбросов по мере проведения горнодобывающих работ (АООС, 2014 год).

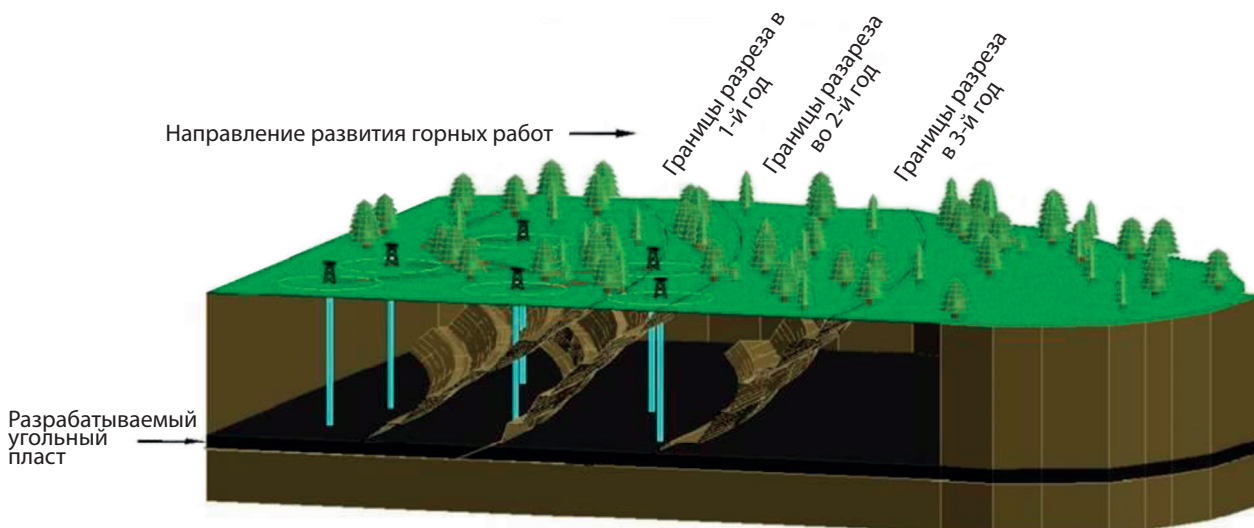
### Диаграмма 6.2 Профиль угольного разреза с указанием возможного размещения наклонно-направленной скважины



Маршалл и др., 2011 год



### Диаграмма 6.3 Схематичное представление последовательности бурения вертикальных скважин при развитии горных работ на угольном разрезе



Маршалл и др., 2011 год

#### 6.3. Варианты использования метана

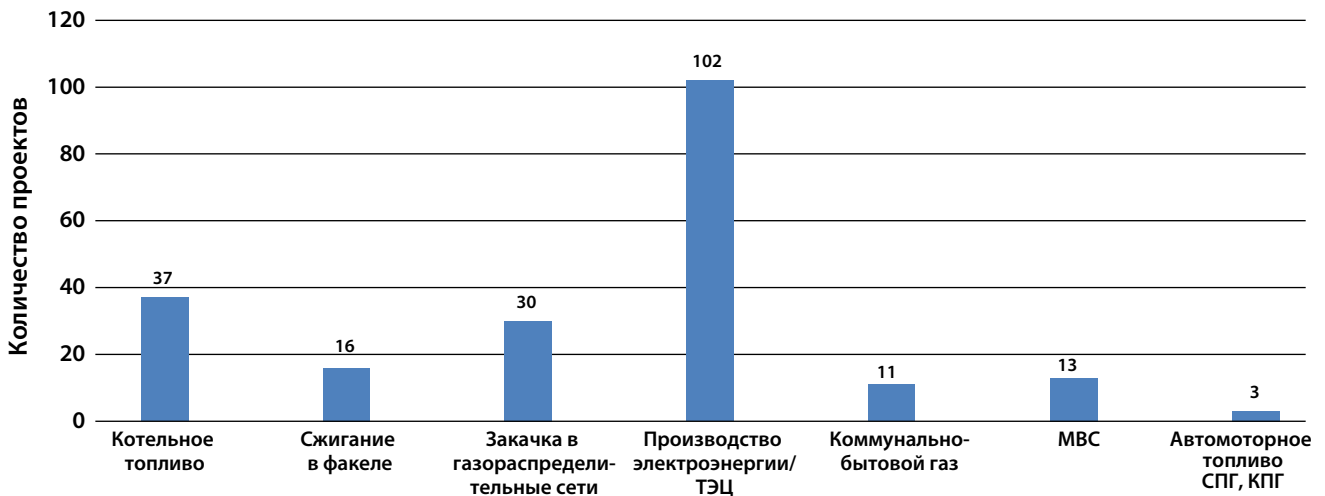
Потенциальные варианты использования шахтного метана в диапазоне концентраций 30%-100% существуют в различных прикладных областях, включая следующие:

1) использование в качестве топлива в сталеплавильных печах, в промышленных печах, промышленных горелках 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) использование в качестве моторного топлива (СПГ или КПГ). Для использования газа вне объекта его получения, в особенности для гражданских потребителей, иногда создаются емкости для хранения газа, обеспечивающие возможности удовлетворения пикового спроса и создание буферных запасов на случай перерывов в каптировании газа. Но в целом операторы, многие из которых успешно обеспечивают прямое энергоснабжение действующей шахты, пытаются избегать высоких затрат, регулирования проблем землепользования, негативного визуального эффекта этих сооружений, а также рисков, связанных с хранением больших объемов смесей горючего газа на шахтных энергоблоках.

По данным Партнерства «Глобальная инициатива по метану» ([www.globalmethane.org](http://www.globalmethane.org)), в мире насчитывается свыше 200 осуществляемых проектов по ШМ/МВС на действующих или закрытых шахтах. На Диаграмме 6.4 приводится структура упомянутых проектов по видам утилизации ШМ/МВС; доля проектов по производству электроэнергии составляет почти 50%. В совокупности проекты, сфокусированные на производстве электроэнергии, обеспечивают около 709 мегаватт (МВт) электрогенерирующих мощностей, а проекты, не связанные с производством электроэнергии, обеспечивают продажи газа в объеме 2 716 млн м<sup>3</sup> в год. Годовое сокращение выбросов в 2013 году было эквивалентно 29,4 млн т CO<sub>2</sub>. (Глобальная инициатива по метану, 2015 год).

До настоящего времени большинство проектов использования каптированного метана осуществлялось в Австралии, Китае, Чешской Республике, Германии, Польше, Российской Федерации, в Украине, в Соединенном Королевстве и Соединенных Штатах, а также в Мексике, Казахстане, Турции, Румынии и Южной Африке. С появлением углеродных рынков в некоторых странах большее значение придается сокращению выбросов углерода, формированию за счет этого углеродных квот и созданию других экологических благ в дополнение к энергетическим продуктам, получаемым в результате осуществления

Диаграмма 6.4 Структура проектов использования шахтного метана в мире



(Источник: База данных о проектах по шахтному метану, созданная Глобальной инициативой по метану, август 2015 года)

таких проектов (см. главу 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 факелах 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 настоящее время руководством 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 средней/высокой концентрации

Технологии, применяемые в использовании метана данной категории, как правило, требуют достаточно стабильных поступлений метана из систем дегазации и стабильного качества метана при его минимальной концентрации 30% (для обеспечения безопасной

транспортировки). Некоторые виды применения могут быть рентабельными и реализованы в промышленных масштабах лишь при наличии высококачественного каптированного метана, извлеченного до начала горных работ. 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 электроэнергии 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 распространенных конечных видов использования газа дегазации с кратким указанием их преимуществ и недостатков. Для получения дополнительной информации по этим вопросам пользователи могут обратиться к основным источникам информации, включая веб-сайт Программы пропаганды возможностей использования метана угольного пласта <https://www3.epa.gov/cmop/> и веб-сайт Партнерства «Глобальная инициатива по метану» ([www.globalmethane.org](http://www.globalmethane.org)).

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

**Ситуация:** Концентрация извлекаемого газа изменялась и в некоторых случаях составляла менее 30% – минимально допустимого показателя для утилизации и эффективного каптажа газа. Предполагалось, 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 составлять порядка 85%. Цели проекта – оптимизация рекуперации энергии и сведение к минимуму выбросов ПГ.

**Решение:** Концентрация метана была повышена путем улучшения герметизации и регулирования перекрестных скважин. Были увеличены мощности инфраструктуры дегазации, вместо устаревших приборов для мониторинга газовых потоков были установлены более эффективные новые устройства, и составлен план действий для увеличения каптажа газа. В результате интенсивных работ по бурению скважин для предварительной дегазации на двух будущих панелях лавы был получен дополнительный объем газа высокой концентрации, составивший, в конечном счете, 23% всего дренированного газа; остальная часть газа для данного проекта поступала от текущей дегазации, через скважины, пробуренные вкрест простирания пласта.

Более подробная информация приведена в Примере 5.

Таблица 6.1 Сопоставление видов использования ШМ

Вид использования	Применение	Преимущества	Недостатки
<b>Производство электроэнергии</b>	Генераторы с газовыми двигателями, обеспечивающие энергоснабжение шахты либо подачу электроэнергии в энергосеть.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Апробированная технология.</li> <li>• Рекуперация отработанного тепла для отопления сооружений шахты, душевых комнат шахтеров, а также для подогрева и охлаждения воздуха шахтных стволов.</li> </ul>	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.
<b>Высококачественный трубопроводный газ</b>	Очищенный шахтный метан высокого качества.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Эквивалент природного газа.</li> <li>• Прибыльно при высоких ценах на газ.</li> <li>• Хороший вариант там, где существует мощная трубопроводная инфраструктура.</li> </ul>	Стандарты на чистоту трубопроводного газа являются высокими, а сам процесс очистки – дорогостоящим. Реализация возможна только при высоком качестве предварительно дренированного или очищенного шахтного метана. Условия доступа к трубопроводу должны быть адекватными.
<b>«Городской» или промышленный газ среднего качества</b>	ШМ с концентрацией метана более 30% для местных систем централизованного теплоснабжения жилых зон и для промышленного использования, например в промышленных печах.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Источник топлива по низким ценам.</li> <li>• Локализованные выгоды.</li> <li>• Может требовать лишь минимальной или не требовать вообще очистки газа.</li> </ul>	Высокая стоимость системы распределения и технического обслуживания. Непостоянство качества и поставок. Высокая стоимость содержания газохранилищ, необходимых для регулирования пикового спроса.

Вид использования	Применение	Преимущества	Недостатки
<b>Сырье для химической промышленности</b>	Высококачественный газ для производства сажи, формальдегида, синтетических топлив и диметилового эфира (ДМЭ).	<ul style="list-style-type: none"> <li>Вариант использования высококачественного шахтного метана при сложной конъюнктуре.</li> </ul>	Высокие издержки переработки. Отсутствие возможностей использования МЧР при возможном высвобождении углерода.
<b>Район расположения шахты</b>	Обогрев помещений, приготовление пищи, использование для сжигания в котлоагрегатах, для сушки угольной пыли, использование в жилых домах шахтеров.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Заменяет уголь.</li> <li>Экологически чистый, дешевый энергоисточник</li> </ul>	Вариант использования на месте расположения шахты может быть экономически менее выгодным, чем за ее пределами.
<b>Транспортные средства</b>	Высококачественный очищенный газ, извлекаемый при предварительной дегазации, и метан угольных пластов могут заменять КПП и СПГ	<ul style="list-style-type: none"> <li>Свободный доступ на рынок для поставок газа при сложной конъюнктуре.</li> <li>Конкурирует с дорогостоящим дизельным моторным топливом.</li> </ul>	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 установленным критериям.*

#### 6.4.2 Дегазационный метан низких концентраций

Неудовлетворительные методы дегазации и несоблюдение стандартов 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 целях избежания взрывов с катастрофическими последствиями, которые могут поставить под угрозу жизнь шахтеров и структурную целостность шахтных сооружений и привести к существенному увеличению расходов на горнодобывающие работы, авторы данного руководства настоятельно рекомендуют не предпринимать попыток транспортировки или использования газа при концентрациях в диапазоне взрывоопасности.

#### 6.4.3 Технологии повышения концентрации дегазационного метана

В некоторых случаях целесообразно повысить качество шахтного метана, в особенности метана из выработанных пространств. Во-первых, необходимо уделить внимание улучшению стандартов подземной дегазации метана, с тем чтобы избежать высоких издержек, связанных с очисткой газа дегазации. Такой подход ведет к повышению качества газа и безопасности работ в шахте.

Во-вторых, можно повысить качество дренируемого газа. Системы, обеспечивающие повышение качества газа, могут быть дорогостоящими. Прежде чем приступить к монтажу такой системы необходимо весьма внимательно подойти к оценке различных вариантов, а также провести анализ «затраты-выгоды» с учетом целей проекта использования шахтного метана. Если повышение качества газа признается целесообразным, то самым простым решением является смешение низкокачественного газа из выработанных пространств с высококачественным метаном предварительной дегазации, в целях получения смеси оптимального состава. Другим практичным вариантом является удаление из газа загрязнителей (кислород, азот, диоксид углерода и монооксид углерода и сероводород) с использованием одной из следующих базовых технологий: 1) короткоцикловая адсорбция со сдвигом давления (PSA); 2) адсорбция с применением молекулярного сита (один из вариантов PSA); и 3) сепарация на основе криогенного процесса.

- Короткоцикловая адсорбция (PSA): в большинстве систем PSA для отвода азота молекулярные углеродные сита с крупными ячейками преимущественно адсорбируют метан в ходе каждого цикла изменения давления. В ходе этого процесса происходит рециклизация насыщенного метаном газа, т.е. при каждом

цикле изменения давления доля метана увеличивается. Технология PSA позволяет рекуперировать до 95% имеющегося метана и может функционировать на объекте постоянно при минимальном контроле.

- Адсорбция с помощью молекулярного сита (MSA): 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%.
- Криогенный процесс: 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 показатель 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 способах повышения качества дренированного шахтного метана можно ознакомиться в публикации АООС США «Повышение качества шахтного метана до уровня, пригодного для трубопроводных сетей: отчет о коммерческом статусе поставщиков системы» (Upgrading Drained Coal Mine Methane to Pipeline Quality: A Report on the Commercial Status of System Suppliers) (USEPA-430-R-08-004) на веб-сайте <http://USEPA.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 целесообразной. В идеальном случае каждая установка по утилизации метана должна быть оборудована факельным устройством 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 достаточных уровней.

Такой подход позволяет свести к минимуму выбросы метана в атмосферу и тем самым обеспечивает охрану окружающей среды в ситуациях, когда утилизация метана невозможна.

В некоторых странах представители угольных предприятий и регулирующие органы угледобывающей промышленности выступают против факельного сжигания в районах нахождения шахт на том основании, что через систему дегазации пламя может перекинуться в шахту и привести к взрыву. Минимальные требования по безопасному сжиганию в факеле заключаются в том, чтобы конструкция была тщательно продумана и предусматривала наличие пламегасителей и гасителей детонации, изолирующих устройств, датчиков и других устройств, обеспечивающих безопасность. Факельное сжигание шахтного метана успешно применяется в целом ряде стран, в том числе в Австралии, Китае, Соединенном Королевстве и Соединенных Штатах.

Факелы могут гореть либо в форме открытого огня («свечи»), либо в замкнутом пространстве (в приземной части). Затраты на сжигание газа в замкнутом пространстве могут быть существенно выше, чем при открытом факельном сжигании, однако в этом случае эффективность уничтожения метана значительно выше. В «идеальных условиях» эффективность обоих вариантов сжигания практически одинакова и может приближаться к 98–99%, однако эффективность сжигания в открытом факеле стремительно падает под действием ветра и ряда других факторов (Университет Альберты, 2004 год). Кроме того, во многих ситуациях использование открытых факелов запрещено. Исполнительный совет Механизма чистого развития (МЧР), к примеру, установил значения эффективности уничтожения метана «по умолчанию» в размере 90% для факелов в замкнутом пространстве и 50% для открытого факельного сжигания (Исполнительный совет МЧР, 2009 год). Показатели фактической эффективности сжигания в закрытых пространствах поддаются точному измерению. С другой стороны, Калифорнийский совет по ресурсам атмосферы использует коэффициенты эффективности сжигания метана «по умолчанию», равные 99,5% для закрытого и 96% – для открытого факельного сжигания (КСРА, 2014 год). Наконец, сжигание в закрытых пространствах более эстетично, поскольку в этом случае пламя невидимо, а образующиеся при сжигании загрязняющие вещества могут устраняться более эффективно.

### **6.5. Снижение выбросов метана вентиляционных струй низкой концентрации или его утилизация**

Угольные шахты являются самым крупным источником выбросов метана в угледобывающей промышленности, и не менее 70% всех глобальных выбросов метана угледобывающей промышленности приходится на метан в составе вентиляционного воздуха, поступающего из подземных горных выработок. Концентрация метана в выбрасываемых в атмосферу вентиляционных струях обычно не превышает 1%. В настоящее время промышленная применимость технологий, использующих МВС в качестве первичного источника топлива, зависит от доходов, обеспечиваемых углеродными квотами или какими-либо другими стимулами и субсидиями. Согласно имеющейся информации, проекты, связанные с использованием МВС, могут быть рентабельными уже при ценах на выбросы углерода в размере 10–15 долл. США за тонну эквивалента диоксида углерода.

В последние годы были разработаны технологии, которые позволяют уничтожать метан с очень низкой концентрацией в вентиляционном воздухе шахт путем термического окисления. Изначально основной целью этих технологий было снижение выбросов парниковых газов. Однако некоторые из этих технологий могут использоваться в сочетании с системами рекуперации тепла, предназначенными для использования на соответствующих шахтах или в системах теплоснабжения жилых районов, либо в сочетании с паровыми турбинами, генерирующими электроэнергию, и наблюдается рост интереса к использованию этих технологий для извлечения энергии.

В настоящее время на рынках имеется две технологии окисления – регенеративные термальные окислители (РТО), известные также как термические поточные реверсивные реакторы (TFRR), и регенеративные каталитические окислители (РКО), известные также под названием каталитические поточные реверсивные реакторы (CFRR). В обеих технологиях используется процесс реверсии потока для поддержания температуры активной зоны реактора, и они различаются лишь методом использования катализатора в процессе окисления в РКО. До применения этих технологий в работе с метаном вентиляционных струй они находили широкое

распространение в сфере контроля загрязнений в коммерческой и производственной деятельности, в частности, для окисления летучих органических соединений, ароматических и других загрязнителей воздуха. В промышленных масштабах установки типа РТО для утилизации МВС были смонтированы и продемонстрированы в качестве средств по сокращению выбросов метана на шахтах в Австралии, Китае и Соединенных Штатах. Эффективность рекуперации энергии МВС также была успешно продемонстрирована в Австралии с использованием МВС в качестве воздуха в двигателях внутреннего сгорания, а также с использованием технологий РТО для преобразования энергии МВС в электроэнергию на энергоустановках, расположенных на устьях шахтных стволов. Эффективность применения технологии РКО для работы с МВС была продемонстрирована в полном масштабе на экспериментальной установке.

Применяемые в настоящее время технологии использования МВС в целом не могут работать при концентрации метана ниже 0,2% без использования дополнительного топлива для увеличения содержания метана; однако в настоящее время проводятся исследования, направленные на поиск способов снижения порога минимальной рабочей концентрации МВС, поскольку на многих шахтах мира концентрация МВС составляет менее 0,2%. Вероятно, что для использования МВС для производства электроэнергии потребуется оптимизировать входные концентрации газового потока и повысить концентрацию МВС на входе в устройство для окисления. Одним из применяемых 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 метаном использование дренированного газа низкого качества (<30%) не допускается из-за его взрывоопасности. Использование газа более высоких концентраций (>30%) может привести к отвлечению части газа, используемого для выработки относительно дешевой электроэнергии на основе шахтного метана, и это обстоятельство необходимо учитывать при оценке экономической целесообразности проекта.

Наряду с проблемой эффективного сокращения в МВС загрязняющих веществ проблема обеспечения безопасности признается одной из основных проблем, которая в значительной степени решается на установках

и объектах, не связанных с добычей угля. Проблемы безопасности возникают, когда РТО подвергается воздействию загрязняющих веществ, концентрация которых в воздухе превышает нижний предел взрываемости (НПВ), который для концентрации метана в воздухе составляет примерно 5%. Общеизвестным фактом является то, что на угольных шахтах концентрация МВС может повышаться спонтанно и неожиданно вследствие множества причин, связанных с нормальным и безопасным функционированием шахт. Тем не менее, во всех производствах, где применяются РТО, это вызывает серьезную озабоченность. В любом случае, оборудование для сокращения выбросов МВС не предназначено для работы со взрывоопасными смесями, и для предотвращения возможности взрывов необходимо использовать соответствующие механизмы.

#### МВС – Китай

**Ситуация:** В прежние годы в Китае не использовались процедуры утилизации или сокращения выбросов МВС, так как в отсутствие углеродных квот не было стимулов для осуществления таких проектов.

**Решение:** Финансовым драйвером для реализации проектов по сокращению выбросов МВС стал формирующийся рынок МЧР. 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 одиночный блок РТО. Установка на шахте в округе Чжэнчжоу обеспечивала нагрев воды для душевых шахтеров и для отопления близлежащих зданий. Рекуперация тепла достигалась за счет применения воздушно-водяного теплообменника, установленного между РТО и его вытяжной трубой, извлечение энергии осуществлялось из нагретого отработанного воздуха.

Более подробная информация содержится в Примере 7.

С 1970-х годов проблемы безопасного использования РТО, эксплуатируемых в других отраслях, были решены сочетанием профилактических мер и мер по смягчению последствий. В качестве стандартной процедуры опытные поставщики РТО оценивают риски безопасности любой установки и управляют ими в соответствии со стандартами IEC 61511 и IEC 61508 (AS 61511 и AS61508) и их различными международными эквивалентами, которые устанавливают технические нормы для проектирования систем, обеспечивающих безопасность промышленных процессов с помощью контрольно-измерительных приборов.

- Общие меры безопасности при применении МВС, разработанные признанными поставщиками, включают в себя:
- Обнаружение возможных небезопасных условий и, в случае обнаружения, отключение РТО и перенаправление воздуха для проветривания/газа непосредственно в атмосферу;
- Немедленное отключение РТО от технологической системы шахты при обнаружении каких-либо небезопасных условий на шахте;
- Перед повторным подключением к РТО обеспечение того, чтобы система воздухопроводов, через которую МВС отводится из диффузора вентилятора в установку для сокращения выбросов, не содержала взрывоопасных смесей метана;
- Конструкция воздухопроводов должна быть такой, чтобы скорость воздуха в частях системы воздухопроводов была выше, чем скорость распространения потенциального фронта горения метана, при этом данная скорость должна в достаточной степени снижаться в некоторых частях системы воздухопроводов, для оседания большей части уловленной угольной пыли;
- Предотвращение опасных условий с помощью регулировки в смеси даже незначительно повышенных концентраций метана путем их разбавления до значений, не превышающих 25% от НПВ, до попадания смеси в РТО.

Кроме того, необходимо обеспечить, чтобы системы РТО/РКО, 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 паразитное потребление электроэнергии, а также включали в себя анализаторы метана и другое оборудование для обеспечения безопасности (например, пламегасители, обводные системы).

Необходимо проектировать системы по сокращению выбросов МВС, в которых будет внедрен передовой опыт угольных шахт, предусматривающий контроль концентрации метана в вентиляционных стволах и в диффузорах несколькими автономными измерительными приборами. При концентрациях, незначительно превышающих 25% от НПВ, поток воздуха из системы проветривания следует разбавлять свежим воздухом; в то же время при существенно более высокой концентрации поток воздуха из системы проветривания после выхода из диффузора должен перенаправляться в атмосферу. Отключающее устройство, которое предотвращает попадание потока в РТО, должно располагаться на достаточном расстоянии от диффузора, чтобы измерительное устройство успело произвести замеры, а у исполнительного механизма было время для срабатывания защиты. Отключающие механизмы, которые предотвращают попадание воздушного потока в РТО, должны приводиться в действие несколькими независимыми устройствами, чтобы гарантировать, что смеси с повышенными концентрациями метана не попадут в РТО.

К другим разрабатываемым в настоящее время технологиям использования МВС относятся каталитические монолитные реакторы (CMR), турбины для сжигания обедненной 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 (Су, 2006 год). Также ведутся исследования, касающиеся использования катализаторов для поддержки коммерческого развертывания технологий РКО для утилизации МВС. Один производитель сообщил о разработке однопроходного каталитического процесса, который осуществляется при значительно более низких температурах, и при этом данная разработка является более доступной, чем традиционные термические РТО. Как и в случае использования РТО, тепло технологического процесса может использоваться для выработки электроэнергии.

Примеры коммерческих установок по сокращению выбросов МВС включают в себя одиночный блок РТО от компании «Биотермика» на шахте компании «Джим Уолтер Рисорсиз» в Алабаме, установку от компании «МЕГТЕК», состоящую из шести блоков РТО, вырабатывающих горячую воду на шахте Датун в провинции Чунцин, Китай, и установку компании «ДЮОР», состоящую из трех блоков РТО, на шахте МакЭлрой компании «КОНСОЛ Энерджи» в Западной Виргинии, США (Диаграмма 6.5).

#### **МВС – Австралия**

**Ситуация:** 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.

**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. Энергоустановка, работающая на МВС (диаграмма 9.10), спроектирована для переработки вентиляционного воздуха с расходом 250 000 м<sup>3</sup>/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%.

Более подробную информацию см. в Примере 8.



### Диаграмма 6.5 Установка переработки МВС «Дюрр» (3 блока регенеративного термического окислителя) на угольной шахте «МакЭлрой» в США



(Публикуется с разрешения «Дюрр Системз»)

Ввиду условий, сложившихся на угольном рынке и рынке углеродных квот, в 2015 году продолжает функционировать только последний из вышеперечисленных проектов по сокращению выбросов МВС (Диаграмма 6.5). Однако компании «Дюрр Системз» и «Фортман Клин Энерджи Текнолоджи» сообщили о разработке нескольких новых проектов по окислению и утилизации МВС/шахтного метана в Китае. Первый из этих проектов был официально введен в строй в мае 2015 года на угольной шахте Гаохэ группы компаний «Люань Майнинг Груп» в провинции Шаньси. Установка, состоящая из 12 блоков, располагает мощностями для смешивания более 1 млн  $\text{nm}^3$  вентиляционного воздуха, содержащего метан, с извлечением шахтного метана до 60 000  $\text{nm}^3/\text{ч}$ , и использует отработанное тепло от окислителей для производства до 30 МВт электроэнергии (Диаграмма 6.6).

#### 6.6. Мониторинг метана

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

Более безопасная транспортировка дренированного газа к установкам для его преобразования в электроэнергию или для сжигания в факеле может

обеспечиваться лишь при наличии точных данных о действительной концентрации в нем метана. Вместе с тем выгоды наличия данных точных измерений не ограничиваются безопасностью: к ним также относятся расширение возможностей сбыта метана или продуктов, производимых благодаря утилизации метана, и результаты борьбы с его выбросами. Например, для газовых двигателей существует узкий диапазон допустимых концентраций метана, а гарантированный стабильный поток газа позволяет повысить эффективность двигателей и снизить издержки по их эксплуатации.

Метан, поставляемый в газопроводы, должен удовлетворять весьма жестким требованиям, и в случае несоответствия оператор трубопровода может отказаться от приема газа и даже оштрафовать поставщика.

В проектах 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. При реализации проекта 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, а вентиляционные потоки измеряются для обеспечения оптимального проветривания. Например, многие протоколы контроля по парниковым газам предусматривают постоянный мониторинг выбросов метана в потоках вентиляционного воздуха и постоянного или регулярного отбора проб с помощью анализаторов метана.

### **6.7. Использование метана из закрытых и заброшенных шахт**

Когда на угольной шахте прекращается добыча угля, метан продолжает поступать в подземные горные выработки посредством десорбции из остаточного угля в пластах, нарушенных при ведении горных работ. Такой процесс десорбции на газообильных шахтах может продолжаться в течение многих лет после их закрытия, но с быстро снижающейся скоростью. В случае, если шахта затоплена, процесс десорбции может возобновиться при осушении затопленных горных выработок. В этой связи владелец угольной шахты потенциально может столкнуться

с долгосрочными обязательствами, включая риски взрывов на поверхности и возможные другие риски для населения, а также риски, связанные с продолжающимися выбросами парниковых газов. Утилизация метана из закрытых подземных угольных шахт или смягчение последствий его выбросов могут помочь свести к минимуму потенциальные опасности, сократить выбросы и даже стать источником дохода.

В принципе, существует мало различий между газом на обширных законсервированных участках действующей шахты и газом закрытых шахт, хотя методы и приоритеты управления газом в этих ситуациях различны.

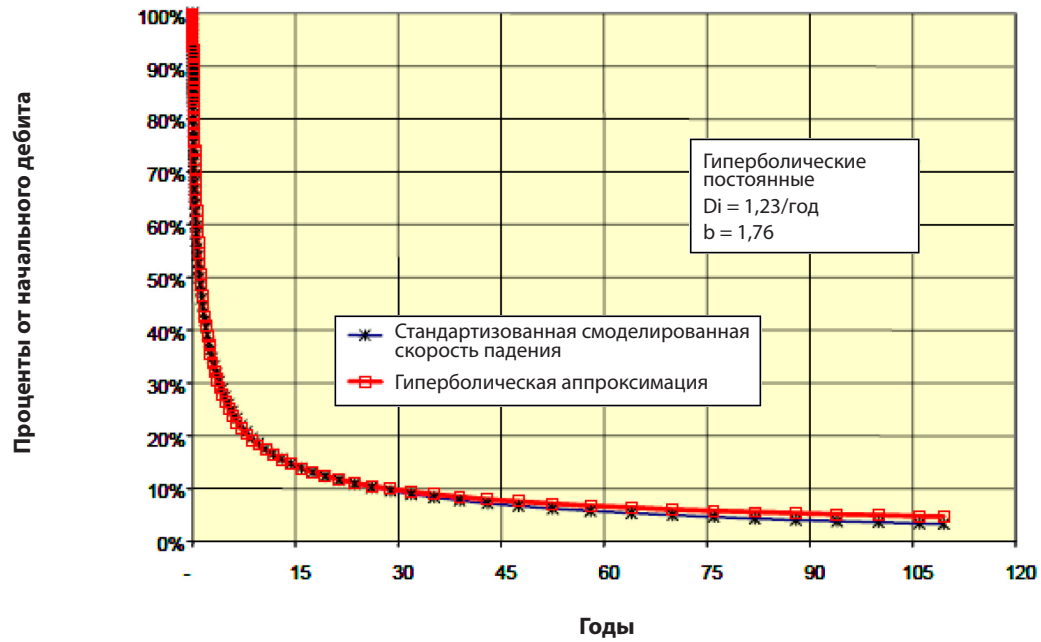
При намерении добывать газ из закрытой шахты, весьма целесообразно составить прогноз добычи газа, в котором в числе прочего будут учтены возможные затопления и, следовательно, преждевременное прекращение доступности газа. Для оценки снижения выбросов метана, расчета емкости газового резервуара и оценки потенциала производства метана на заброшенных угольных шахтах разработаны различные научно обоснованные методы прогнозирования (например, АООС 2004 год, Лунарзевски и Криди 2006 год, Лунарзевски, 2009 год). На Диаграмме 6.7 представлена типичная кривая снижения выбросов метана для проветриваемой, не затопленной шахты.

### **Диаграмма 6.6 Установка обработки МВС компании «Дюрр системз» на угольной шахте Гаохэ в Китае**



(Публикуется с разрешения «Дюрр системз»)

Диаграмма 6.7 Снижение дебита и потенциала резервуара метана на закрытых газообильных шахтах во времени



(Источник: АООС, 2004 год)





# Глава 7. Издержки и экономические вопросы

## Основные тезисы

*Имеются веские экономические основания для установки и эксплуатации на угольных шахтах высокоэффективных систем дегазации и утилизации каптированного газа. Существует также широкий круг потенциальных видов конечного использования шахтного метана, которые коммерчески эффективно 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 извлечения метана.*

### 7.1 Обоснование целесообразности каптирования метана

На современных угольных шахтах высокий уровень добычи угля необходим для обеспечения приемлемой финансовой доходности инвестиций. Растущие темпы добычи угля зачастую приводят к повышению объемов выбросов метана. Планируемые объемы добычи угля не должны ограничиваться из-за неспособности предотвратить в шахтах появление концентраций газа, превышающих безопасные предельные нормы; в то же время они не должны 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 необходимо избегать всеми средствами. Помимо прямых последствий для родственников шахтеров, любой смертельный случай наносит компании и ее персоналу ущерб, далеко выходящий за рамки материальных потерь и связанный с уголовной ответственностью, выплатой компенсаций, остановкой производства и уплатой возможных штрафов по контрактам. Материальные потери вследствие одного единственного несчастного случая со смертельным исходом для крупного горнодобывающего предприятия могут составить от 2 до более 8 млн долл. США вследствие упущенной выгоды в связи с недополучением угля, юридических издержек, выплаты компенсаций и штрафных санкций.

Материальные потери вследствие крупной аварии только за счет уплаты штрафов и неустоек могут составить до 220 миллионов долларов США (см. сноску 1). В некоторых странах серьезный несчастный случай на шахте может привести к приостановке угледобычи на длительный период до завершения инспекций, проводимых уполномоченными органами, и принятия мер реагирования для предотвращения повторения несчастных случаев. После крупной аварии также возможны закрытие шахты и отказ от ее дальнейшей эксплуатации.

Расходы на дегазацию источников метановыделения являются неотъемлемой частью общих издержек угледобычи и эксплуатации предприятия. Поэтому существуют веские основания для вложения инвестиций в эффективное извлечение газа с тем, чтобы плановая добыча угля на выемочных участках выполнялась с соблюдением существующих норм и правил и в условиях безопасности. Экономический эффект дегазации можно проиллюстрировать на следующем примере. В высокопроизводительном забое с современным оборудованием в благоприятных геологических условиях можно производить от 2 до 5 млн тонн угля в год. Если цена на уголь составляет 60 долл. США/т, то любые связанные с выбросами газов ограничения, которые отнимают у предприятия 10% времени из-за замедления или остановок добычи, приведут к потере доходов угольной компании в размере от 12 до 30 млн долл. США в год.

После ввода в эксплуатацию дегазационной системы инвестиции в дополнительное каптирование газа обеспечивает экономию 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 (таких как применяемое оборудование, обслуживание, рабочая сила, наличие доступа к поверхности, издержки на приобретение земельных участков) и в разных странах существенно отличаются

друг от друга. 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 тонну добытого угля (в ценах 2015 года). Основой для сопоставления является дегазация условной газоносной панели, обрабатываемой длинным очистным забоем протяженностью 2 км, шириной 250 м и глубиной залегания 600 м при мощности пласта 3 м с базовыми темпами добычи в диапазоне от 2,0 млн т/год до 0,5 млн т/год; при сопоставлении использовались данные шахт Китая и Австралии.

Выбранные методы дегазации должны соответствовать конкретным горно-геологическим условиям. Например, скважины, пробуренные из горных выработок вкост простирания пласта выше в углепородный массив

содержащий небольшое количество угольных пропластков, не обеспечат эффективный контроль газа. 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 газообильных шахтах может потребоваться применение комбинации методов, прежде чем можно будет безопасным образом выйти на высокие темпы угледобычи. Расходы на системы дегазации растут с повышением сложности геологического строения. Система должна иметь достаточный запас производительности, чтобы отказ в работе одной из скважин или закрытие одной газодренажной выработки не ставили под угрозу безопасность ведения подземных горных работ. Типичные эксплуатационные расходы на извлечение шахтного метана на поверхность, в пересчете на чистый метан, составляют от 0,07 долл. США/м<sup>3</sup> до 0,28 долл. США/м<sup>3</sup>.

**Таблица 7.1 Относительные издержки на тонну добытого угля в 2015 году в долл. США при применении различных методов дегазации**

Метод	Базовая технология	Основные статьи расходов	Основные переменные расходов	Оценка издержек долл. США/т <sup>15</sup>
Предварительная подземная дегазация	Бурение наклонно-направленных протяженных скважин в пласте вдоль панели	Специалисты-бурильщики и оборудование	Диаметр и протяженность скважины	0,5–3,7
	Роторное бурение скважин сквозь панель	Роторная буровая установка и оборудование	Диаметр и протяженность скважины	0,7–4,6
Предварительная дегазация с поверхности	Бурение вертикальной скважины с применением обычных методов интенсификации с гидроразрывом пласта	Подрядное бурение, услуги по обсадке и гидроразрыву пласта; консервация при ликвидации скважин	Глубина скважины и количество пластов для бурения	1,4–11,1
	Бурение с поверхности через пласт скважины с несколькими ответвлениями	Подрядное бурение, услуги по обсадке и бурению специализированных наклонно-направленных скважин; консервация при ликвидации скважин	Глубина скважины и общая протяженность пробуренных в пласте боковых ответвлений; при возникновении трудностей при бурении издержки могут резко возрасти	1,2–9,3

<sup>15</sup> Затраты рассчитаны на основе цен 2009 года с поправкой на инфляцию в размере 2,5% в год.

Текущая подземная дегазация	Перекрестные скважины (из существующих штреков)	Роторная буровая установка и оборудование	Диаметр и протяженность скважины	0,1–1,9
	Газодренажные выработки	Дополнительная проходка подготовительных выработок	Расстояние до разработанного пласта сверху/ снизу и размер подготовительных выработок	0,4–13,0
	Сверху (снизу) прилегающие скважины или направленные горизонтальные скважины	Специалисты-бурильщики и оборудование для направленного пневмоударного бурения	Трудности с бурением по радиусному изгибу	0,6–4,6
Текущая дегазация с поверхности	Скважины выработанного пространства	Подрядное бурение и обсадка; консервация при ликвидации скважин	Глубина	1,6–17,6

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

### 7.3 Экономические аспекты утилизации метана

Утилизация дегазационного метана для производства электроэнергии требует дополнительных инвестиций, однако благодаря ей формируется поток доходов или снижаются затраты на электроэнергию, подаваемую в шахту. При инвестировании средств в проекты по производству электроэнергии необходимо учитывать финансовые аспекты непостоянства объема поставок и качества газа, вмененные издержки и источники финансирования.

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

Финансовые показатели энергоустановки, использующей шахтный метан, зависят от объема имеющегося газа, эффективности его переработки, надежности оборудования (и, следовательно, времени его эксплуатации), согласия пользователей или операторов национальной сети на потребление такой энергии, рекуперации энергии и от получаемых шахтой доходов от производства электроэнергии и тепла 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 увеличением 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 стандартного обеспечения мониторинга работ.

При определении параметров энергоблока, работающего на шахтном метане, необходимо принимать во внимание изменчивость газового потока и концентрации газа, характерные для обычного процесса угледобычи, и при необходимости нормы дегазации должны повышаться, с тем чтобы газ был безопасным и его качество – соответствующим нормам утилизации. С помощью ретроспективных данных можно определить потенциальный объем генерирующей мощности с учетом определенного объема поставок газа (например, 85%) и возможности сжигания газа в факеле в случае его неиспользования (Диаграмма 7.2). Как показывают примеры многих слишком крупных, а следовательно, неэффективно используемых энергоустановок, работающих на шахтном метане, такая оценка весьма важна, поскольку экономические аспекты эксплуатации энергоустановок на шахтном метане требуют их



высокой эксплуатационной загрузки, в течение времени, превышающего минимальный срок, равный 7 500 часов в год. Поэтому следует производить расчет мощности газового двигателя, исходя не из пикового объема подачи газа, а из базового непрерывного дебита с учетом объема имеющегося газа. Пиковые потоки газа в идеальном случае должны ликвидироваться сжиганием в факеле с целью достижения наибольшего экологического эффекта.

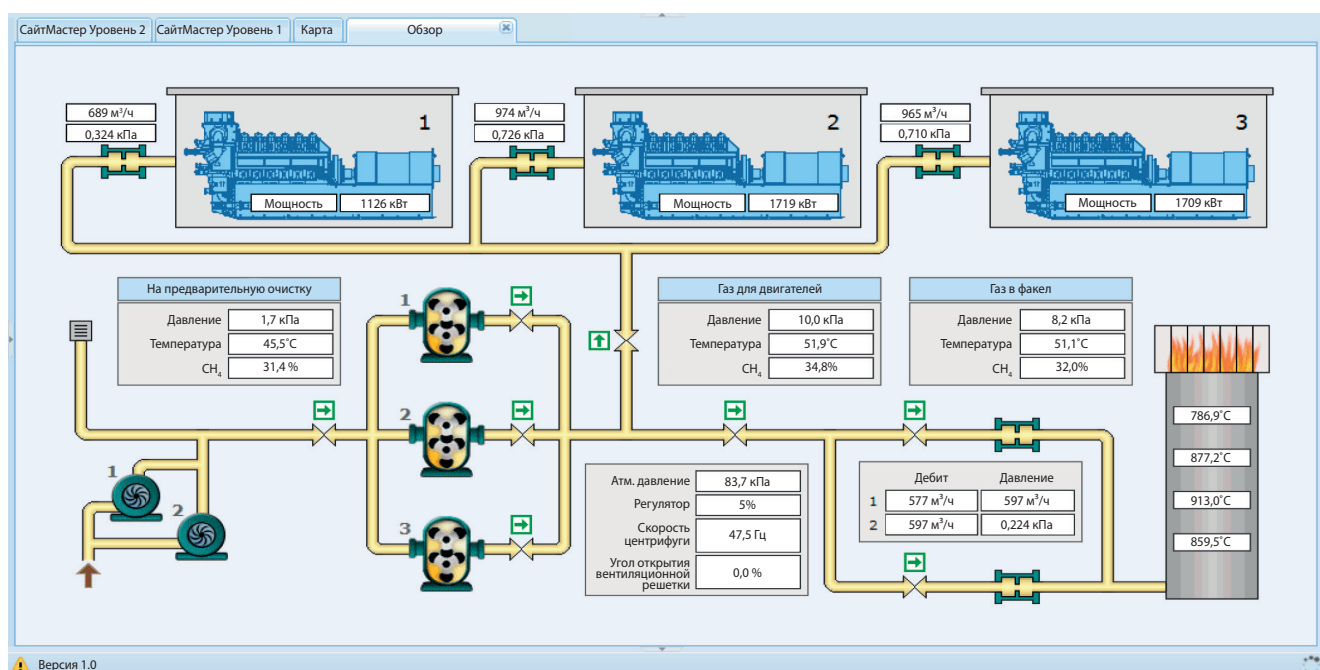
По мере повышения эффективности улавливания газа можно предусмотреть установку дополнительных двигателей; при этом дебит чистого метана в размере 4 м<sup>3</sup>/мин обеспечит выработку приблизительно 1 МВтэ.

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, о чем уже говорилось в главе 6. В этих случаях экономические аспекты его использования во многом зависят от конкретных

обстоятельств, и формулирование обобщенных суждений на этот счет, как и в случае с производством электроэнергии, затруднительно.

Поскольку большая часть выбросов метана из угольных шахт происходит в виде метана вентиляционных 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 (нм<sup>3</sup>/сек) вентиляционного воздуха, содержащего 0,5% метана, могут произвести приблизительно 1,3 МВтэ электроэнергии. Чтобы добиться постоянной выходной мощности, необходим источник 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 «вмененные экологические

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



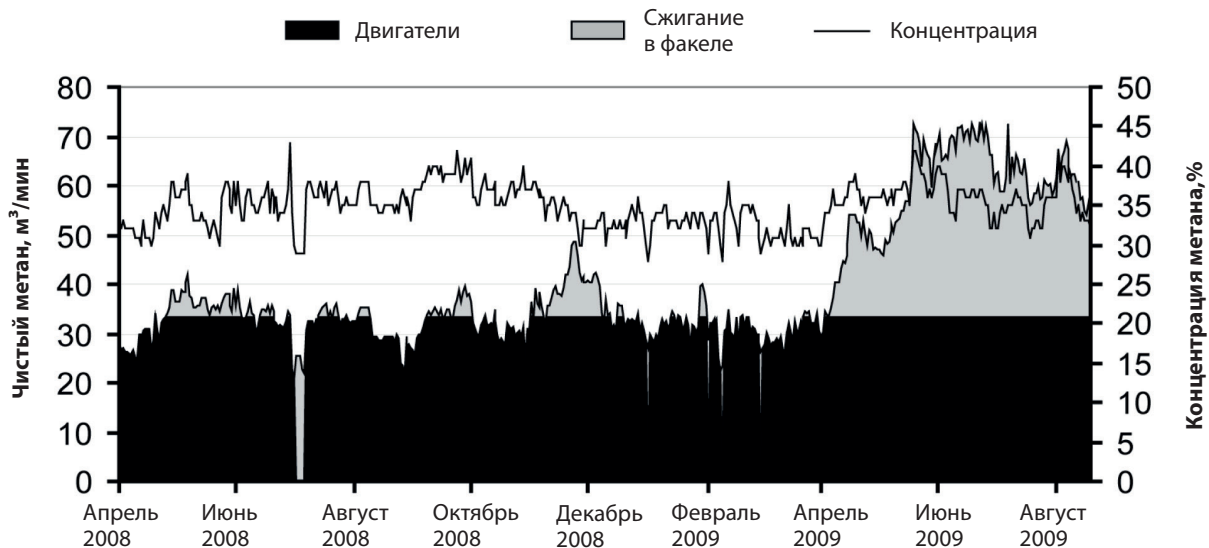
(Публикуется с разрешения «Формак электроник энд синдикатум састейнэбл рисорсиз»)

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 электроэнергию 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 выделености 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, получаемую при реализации конкретного проекта, и стоимости квот за сокращение выбросов или других стимулов, например, налоговых льгот.

### Диаграмма 7.2 Изменения дебита и концентрации метана, влияющие на оптимальную производительность и использование двигателей и факельного сжигания



(Публикуется с разрешения «Синдикатум састейнэбл рисорсиз»)

#### Утилизация ШМ и смягчение последствий выбросов метана на трех крупных угольных шахтах – Китай

**Ситуация:** Три крупных угольных шахты с общей производительностью 14 млн тонн в год совокупно каптировали около 140 м³/мин метана, который выпускался в атмосферу. У собственников шахт было желание внедрить современную технологию газовых двигателей, чтобы обеспечить максимальную выработку электроэнергии, но у них не было опыта утилизации шахтного метана. Имелись также проблемы, связанные с непостоянством концентрации и потоков метана на шахтах.

**Решение:** Угледобывающая компания установила партнерские отношения с международным разработчиком проектов, имеющим опыт в реализации проектов по шахтному метану, для создания и эксплуатации проектов по производству электроэнергии по системе когенерации на трех газообильных угольных шахтах. Международный партнер финансировал поставку и установку всего оборудования, в то время как китайский партнер в лице угледобывающей компании предоставлял земельные ресурсы и финансировал проектные и строительные работы. Все три проекта были успешно зарегистрированы в качестве проектов МЧР в рамках РКИК ООН, и они обеспечивают снижение выбросов в атмосферу в объеме, в общей сложности превышающем 1 млн тонн эквивалента диоксида углерода.

Более подробная информация приведена в Примере 6.

#### 7.4 Углеродное финансирование и другие стимулы

В ряде стран, регионов и провинций получение квот за сокращение выбросов может быть одним из источников дополнительного финансирования, дополняющего обычное проектное финансирование через механизмы банковских ссуд или частных инвестиций в акционерный капитал. Существует целый ряд уже действующих и планируемых программ по ограничению выбросов парниковых газов и торговле квотами на выбросы, а также аналогичные другие программы в таких угледобывающих странах и регионах, как Австралия, Канада, Китай, Европейский союз, Казахстан, Мексика и Соединенные Штаты. Кроме того, многие добровольные программы по сокращению выбросов парниковых газов позволяют использовать шахтный метан в рамках проектов для получения углеродных зачетов. В Соединенных Штатах Калифорнийский совет по ресурсам атмосферы (КСРА) 25 апреля 2014 года утвердил протокол использования ШМ для углеродных зачетов, в котором оговорены сокращения выбросов до 2020 года на действующих и закрытых угольных шахтах, а также на угольных разрезах. В Китае 4 июня 2014 года Государственный комитет по развитию и реформе (ГКРР) одобрил в качестве новых проектов по добровольному сокращению выбросов проекты утилизации ШМ в провинции Гуйчжоу. Китайские сертифицированные сокращения выбросов, произведенные этими проектами, могут использоваться для углеродных зачетов в некоторых из семи пилотных систем торговли квотами на выбросы (ETS), действующих в Китае.<sup>16</sup>

Цикл реализации проектов по углеродным зачетам начинается с листинга и регистрации проектов в определенной программе или реестре сокращения выбросов ПГ. Все зарегистрированные проекты по углеродным зачетам должны наглядно продемонстрировать, что они являются реальными, поддающимися измерению и проверяемыми. Для некоторых проектов, таких как Проекты добровольного сокращения выбросов в Китае, для получения квот за сокращение выбросов с использованием «основанных

на проекте» методологий, таких как методологии МЧР, требуется обоснованное доказательство «дополнительности». Для демонстрации «дополнительности» принимаемых мер по сокращению выбросов в рамках конкретных проектов требуется доказать, что проект нуждается в квотах за сокращение выбросов для преодоления определенных препятствий (например, технологического или финансового характера, либо барьеров в виде установившихся практик), и что в отсутствие квот реализовать его будет невозможно. Как правило, соответствие принятым критериям получения квот и «дополнительность» проекта устанавливаются на этапе валидации проектного цикла, и соответствующие процедуры связаны для разработчиков проекта с временными и финансовыми затратами на проект.

С другой стороны, в программах по сокращению выбросов парниковых газов для углеродных зачетов могут использоваться стандартизованный метод «по результатам» или «на основе деятельности». При таком подходе отпадает необходимость в обосновании для каждого проекта «дополнительности» принимаемых мер по сокращению выбросов и в затратах средств на валидацию. Принятие стандартизированных методов предполагает относительно высокие прямые расходы на исследования и анализ, выполняемые программами по сокращению выбросов ПГ и заинтересованными сторонами, вследствие чего этот подход трудно реализовать во многих географических регионах с различными условиями и практиками добычи угля. В рамках программ Резерва климатических действий и Калифорнийского совета по ресурсам атмосферы для угольных шахт в США используются стандартизированные подходы «на основе деятельности».

Другими стимулами, содействующими финансированию проектов утилизации метана, являются гранты, налоговые льготы, программы «зеленых инвестиций» (GIS) и льготные тарифы на подачу электроэнергии в сеть (например, в Германии и Чешской Республике). В отсутствие этих дополнительных стимулов углеродное финансирование зарекомендовало себя эффективным рыночным инструментом, стимулирующим реализацию проектов использования ШМ, в особенности тех, что связаны исключительно с уничтожением метана, например, метана вентиляционных струй. Принцип «оплаты по результатам» также все чаще используется в качестве инструмента политики, например, Всемирного

<sup>16</sup> На момент публикации данного издания Руководства по наилучшей практике действовали только пилотные проекты. В сентябре 2015 года Китай объявил о том, что в 2017 году в этой стране будет запущена общенациональная программа торговли выбросами, которая будет полностью реализована к 2020 году.

банка и Австралии, направленной на стимулирование сокращения выбросов.<sup>17 18</sup>

В основе возможного мобилизационного эффекта углеродного финансирования лежит то, что одна единица сокращения выбросов эквивалентна одной тонне диоксида углерода. Одна тонна диоксида углерода эквивалентна примерно 70 м<sup>3</sup> метана (при величине потенциала глобального потепления, равной 21<sup>19</sup>). При расчетах необходимо принимать во внимание эффект в результате уничтожения метана, а также учитывать, что при сжигании одной тонны метана высвобождается 2,75 т CO<sub>2</sub>. По грубым подсчетам, объект с установленной электрогенерирующей мощностью 1 МВт, на котором сжигается 250 м<sup>3</sup>/час чистого ШМ, может обеспечить ежегодное сокращение 30 000 тонн CO<sub>2</sub>. При определенной продолжительности работы и надлежащей эффективности системы этот показатель может более чем в семь раз превышать сокращение выбросов, которое может быть обеспечено эксплуатацией ветряной турбины мощностью 1 МВт.

Прежде чем принять решение в пользу углеродного финансирования с его мобилизационным эффектом и/или других стимулов, необходимо рассмотреть такие вопросы, как механизм начисления квот, производственные и транзакционные издержки, временные затраты, сложность процедур, местные правила и неопределенность цены квот за сокращение выбросов. Регистрация углеродных зачетов в соответствии с требованиями реестров ПГП может быть сложной задачей, для выполнения которой может потребоваться помощь экспертов, особенно на этапе формирования проекта, его первоначальной валидации и проверки.

<sup>17</sup> Белая книга Австралийского фонда сокращения выбросов. [http://www.environment.gov.au/system/files/resources/1f98a924-5946-404c-9510-d440304280f1/files/emissions-reduction-fund-white-paper\\_0.pdf](http://www.environment.gov.au/system/files/resources/1f98a924-5946-404c-9510-d440304280f1/files/emissions-reduction-fund-white-paper_0.pdf)

<sup>18</sup> Пилотный аукцион для сокращения выбросов метана и смягчения последствий изменения климата Всемирного банка <http://www.worldbank.org/en/topic/climatechange/brief/pilot-auction-facility-methane-climate-mitigation>.

<sup>19</sup> В Четвертом оценочном отчете МГЭИК изменила эту цифру на 25 (МГЭИК, 2007 год), которая в настоящее время используется в проектах МЧР; Калифорния использует прежнее значение 21, хотя в будущем это может быть пересмотрено. В последующих оценочных отчетах МГЭИК значение ПГП метана постоянно изменялось в сторону повышения, так как увеличивается количество информации о механизмах изменения климата. В пятом оценочном отчете представлены значения ПГП, равные 28-34 (МГЭИК, 2014 год), на часто используемый временной горизонт в 100 лет. Протоколы о сокращении выбросов обычно отстают от обновлений МГЭИК, поэтому в тематической литературе встречается широкий диапазон значений.

МЧР, который осуществлялся в рамках Киотского протокола в период 2008-2012 годов, позволяя промышленно развитым странам применять практику сертифицированных сокращений выбросов (ССВ) и получать соответствующие кредиты на основе применения методологий, утвержденных для применения в развивающихся странах (в странах, не входящие в перечень, приведенный в Приложении 1). Применение этого механизма в период с 2005 по 2012 годы простимулировало разработку 128 проектов по шахтному метану, одобренных Государственным комитетом по развитию и реформе (ГКРР) Китая. Не все проекты отвечали критериям соответствия для регистрации в качестве сертифицированных сокращений выбросов (ССВ), а с 2012 года цена на ССВ значительно снизилась из-за отсутствия спроса со стороны систем торговли квотами на выбросы (СТКВ), которые формируют единственный значительный рынок углеродных кредитов. Тем не менее, стимулы МЧР внесли большой вклад в развитие индустрии утилизации ШМ по всему Китаю, способствовали привлечению международных инвестиций в эту сферу, улучшению дегазации и совершенствованию технологий утилизации метана. В Китае с 2012 года МЧР больше не применяется на новых проектах по утилизации шахтного метана. Однако в Китае запущены семь независимых пилотных схем по ограничению выбросов парниковых газов и торговли квотами на выбросы на муниципальном и провинциальном уровнях. Для управления правилами зачета китайских сертифицированных сокращений выбросов (КССВ) используется процесс, аналогичный МЧР, при этом ГКРР выступает в качестве конечного арбитра. Правительство Китая планирует внедрить национальную систему торговли квотами на выбросы в 2016 году и полностью ввести ее в действие к 2020 году. Этот крупнейший углеродный рынок в мире мог бы предоставить значительные возможности для развития проектов по ШМ по всему Китаю; однако существующий экологический стандарт, который требует, чтобы концентрация ШМ превышала 30%, представляет собой дополнительный барьер для применения наилучших практик, так как согласно этому стандарту воспользоваться выгодами КССВ могут только проекты, работающие с метаном низкой концентрации. Несмотря на то, что правительство Китая планирует снизить зависимость от угля, сдерживая рост данного сектора, в обозримом будущем угольные

шахты по-прежнему будут оставаться основным источником выбросов ПГ. В 2014 году цены на квоты на выбросы углерода в различных пилотных проектах варьировались в широком диапазоне – от 3,2 до 10,5 долл. США за тонну CO<sub>2</sub>э. Согласно прогнозам, средняя цена на КССВ будет в основном варьироваться в пределах 3,2-6,5 долл. США.

В рамках Калифорнийской программы по ограничению выбросов парниковых газов и торговли квотами на выбросы, контролируемой КСРА, регламентируемым объектам (например, электростанциям) предоставляются квоты на выбросы парниковых газов. КСРА признал сокращения выбросов ШМ подпадающими под углеродные зачеты, если проект соответствует требованиям Протокола обязательных углеродных зачетов для проектов по каптированию метана на шахтах.<sup>20</sup> Этот протокол охватывает угольные шахты, разрезы и закрытые шахты в США; вместе с тем продажи газа для закачки в трубопроводные сети с действующих шахт не попадают под действие Протокола, так как они считаются не «дополнительным», а «обычным видом деятельности». Первый отчетный период истекает в 2020 году. По сообщениям, цены на углеродные зачеты в 2014 году варьировались от 8 до 10 долл. США за тонну CO<sub>2</sub>э. В 2014 году КСРА официально сотрудничал с Квебекской программой сокращения выбросов ПГ и проводил переговоры с представителями программ сокращения выбросов ПГ в Мексике, Казахстане и Китае.

На сегодняшний день в мире имеется целый ряд различных международных добровольных программ сокращения выбросов ПГ, которые занимаются регистрацией проектов по сокращению выбросов. Рынок проверенных сокращений выбросов (ПСВ) – меньше, чем обязательные углеродные рынки, а цены на нем – существенно ниже (1-3 доллара США/т CO<sub>2</sub>э), однако в 2014 году в двусторонних соглашениях устанавливались цены до 5 долл. США/т CO<sub>2</sub>э.

Некоторые североамериканские программы сокращения выбросов ПГ работают с проектами, занимающимися шахтным метаном. КСРА использует протокол углеродных зачетов для сокращения выбросов шахтного метана в США, а Верифицированный углеродный стандарт использует протоколы углеродных зачетов для шахт, угольных

разрезов и закрытых шахт по всему миру. Американский углеродный реестр (AUP) работает с международными проектами, использующими протоколы МЧР, такие как АСМ0008.

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 CO<sub>2</sub>. Генерирование квот за сокращение выбросов сопряжено с расходами по подготовке проектной документации, утверждению, проверке и обслуживанию проектов, а также с расходами на техническое оборудование для утилизации/уничтожения метана и на его обслуживание.

Например, шахта со средней газообильностью (относительная газообильность 10 м<sup>3</sup>/т) получает сокращения CO<sub>2</sub>, генерируемые в процессе сжигания, примерно 0,040 CO<sub>2</sub>э на тонну добытого угля, в то время как очень газообильная шахта (относительная газообильность 40 м<sup>3</sup>/т добытого угля) – 0,158 CO<sub>2</sub>э на тонну добытого угля. Этот расчет предполагает, что извлекается 40% от всего газа, из которых утилизируется 80%. Такой уровень эффективности можно считать минимальным для проектов, в которых применяются самые передовые методы и стандарты, и где отсутствуют значительные горно-геологические и горнотехнические ограничения на ведение горных работ. В этом примере, если бы шахта со средней газообильностью добывала 4 млн тонн угля в год, то ежегодное сокращение составляло бы около 158 000 тонн CO<sub>2</sub>э. На очень газообильной шахте, с добычей 4 млн тонн угля в год, снижение выбросов в год составило бы около 633 000 тонн CO<sub>2</sub>э.

Фактические цены на снижение выбросов CO<sub>2</sub>э зависят от конъюнктуры рынка и времени продажи. Текущие рыночные цены в США (2015 год) в целом варьируются в диапазоне 6-10 долл. США за тонну CO<sub>2</sub>э. Инвестиции в утилизацию метана на шахте со средней газообильностью (т.е. 10 м<sup>3</sup>/т), вырабатывающей 4 млн тонн угля в год, при цене за единицу сокращений 8 долл. США/тCO<sub>2</sub>э (40% – каптированный газ, 80% – утилизация каптированного газа) согласно Соглашению о покупке сокращений выбросов (СПСВ), дают выручку около 1,3 млн долл. США в год от квот за сокращение выбросов, плюс выручка или снижение издержек за счет производства

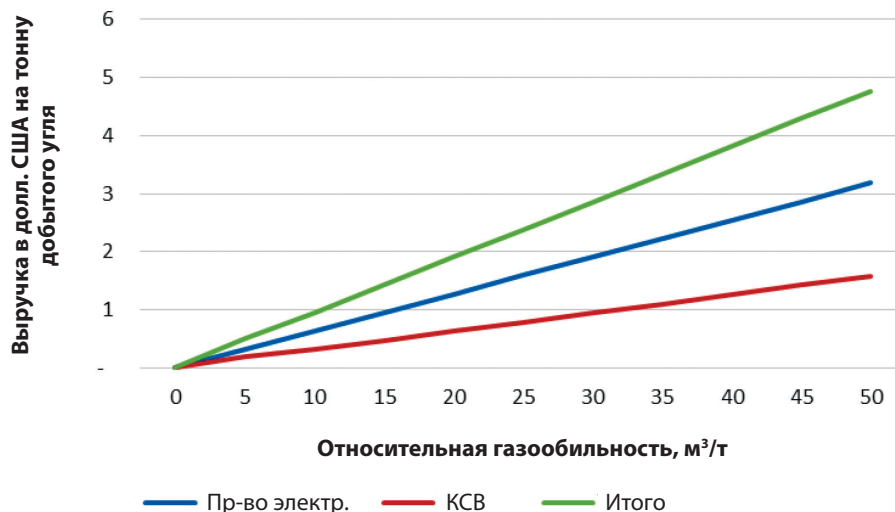
<sup>20</sup> <http://www.arb.ca.gov/cc/capandtrade/protocols/mmcprotocol.htm>

электроэнергии или продажи газа. Объемы каптированного метана, при стабильной подаче газа, будет достаточно для производства электроэнергии на уровне 5 МВтэ (использование 2,2 млн м<sup>3</sup>/год чистого метана обеспечивает генерирование 1 МВтэ электроэнергии), а выручка от сбыта электроэнергии, при приблизительной цене в 0,05 долл. США за 1 кВт-ч и нагрузке 7 000 рабочих часов в год, составит 1,75 млн долл. США. Таким образом, совокупная выручка от сокращения выбросов и производства электроэнергии равна 3,01 млн долл. США. На Диаграмме 7.3 показаны смоделированные доходы в долларах США на тонну добытого угля, полученные от сбыта электроэнергии и квот за сокращение выбросов, в зависимости от относительной газообильности шахты в м<sup>3</sup>/т. Если взять за основу среднюю цену квот за сокращение выбросов, равную 8 долл. США/ т CO<sub>2</sub>э, то получается, что квоты за сокращение выбросов обеспечивают около 33% от общей выручки. При использовании низких и высоких цен квот за сокращение выбросов, которые равны 6 долл. США/т CO<sub>2</sub>э и 10 долл. США/т CO<sub>2</sub>э, квоты за сокращение выбросов обеспечивают, соответственно, около 27% и 38% от общей выручки. Экономическая привлекательность проекта по утилизации ШМ для производства электроэнергии будет зависеть от капитальных затрат и операционных издержек проекта.

Существенно более высокие прибыли могут быть потенциально получены на шахтах с более высокой газообильностью. Весьма газообильная шахта (относительная газообильность – 40 м<sup>3</sup>/т), добывающая 4 млн т угля в год, может обеспечить выручку от сокращения выбросов в размере 8 млн долл. США, а также произвести 20 МВтэ электроэнергии, что может принести доход в размере 7 млн долл. США. Таким образом, общий доход может составить 15 млн долл. США. При допущении, что типичные капитальные затраты на установленную электростанцию, работающую на ШМ, составляют 1,2 млн долл. США/ МВтэ, срок окупаемости проекта может составить 2 года.

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 концентрации метана. Проекты дегазации источников метановыделения и утилизации метана внимательно изучаются, и скорее всего будут изучаться еще внимательнее, в связи с требованиями относительно представления надежных подтверждений сокращения выбросов. Сложность мониторинга и измерений часто недооценивается, и это может привести к появлению рисков в плане безопасности и к потере доходов.

**Диаграмма 7.3 Двойные доходы от производства электроэнергии на основе шахтного метана при эффективности дегазации 40% и использовании 80% каптированного газа**



### **7.5 Вмененные издержки утилизации**

Угледобывающая компания может предпочесть инвестиции в повышение добычи угля инвестициям в производство электроэнергии на шахтном метане по причине роста цен на уголь. И наоборот, в случае если цены на уголь снижаются, производство электроэнергии на шахтном метане становится более привлекательной опцией. 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 не использовавшийся ранее метан создает добавленную стоимость.

### **7.6 Природоохранные затраты**

В настоящее время большинство угледобывающих компаний относят дегазацию на затраты угледобычи, 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 цепочки создания стоимости, операторам шахт, наверное, необходимо принять более целостный подход к этим факторам. Возможно, в будущем собственники шахт будут обязаны повысить эффективность дегазации сверх потребностей обеспечения безопасности на шахтах, в целях охраны окружающей среды.

При сценарии «обычного ведения дел» оценки по Китаю говорят о том, что издержки на погашение ущерба от воздействия выбросов метана при горных работах составят приблизительно 12 долл. США на тонну добытого угля (ESMAP, 2007 год). Ни одна страна еще не предпринимала попыток навязать операторам издержки такого масштаба. Но приведенная сумма указывает на масштабы потенциальных издержек 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 указанной суммы.







## Глава 8. Выводы и резюме для директивных органов

Со времен промышленной революции мир удовлетворяет значительную часть своих потребностей в первичных энергоресурсах за счет угля. В обозримом будущем основные страны с формирующимися рынками, промышленно развитые страны и страны с переходной экономикой, а следовательно и вся мировая экономика, будут продолжать использовать энергетические ресурсы угля и зависеть от них. В 2013 году доля угля в мировом объеме первичных энергоресурсов составляла 29%; на долю угля приходилось 41% мирового производства электроэнергии и более 70% мирового производства стали и алюминия. Согласно прогнозам Международного энергетического агентства (МЭА), до 2020 года глобальная добыча угля будет продолжать расти, что обусловлено главным образом ростом спроса в Китае и Индии, несмотря на усилия Китая по сдерживанию потребления этого ресурса (МЭА, 2015a; МЭА, 2015b; Всемирная угольная ассоциация, 2014 год).

По мере исчерпания запасов угля неглубокого залегания и расширения масштабов разработки более глубоко залегающих и более газоносных угольных пластов добыча угля и эффективное управление метановыделением будут становиться все более сложными задачами. В то же время люди все активнее 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 горных 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 соблюдение правил безопасного извлечения, отвода и утилизации газа способствует внедрению более эффективных норм дегазации источников газовыделения, 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 создают возможности для утилизации бóльшего объема газа и уменьшения выбросов 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 тезисы этого документа являются следующими:

- 1. В мире накоплены огромные профессиональные знания и опыт в области снижения взрывоопасности метана.** Применение в глобальном масштабе накопленных к настоящему времени знаний и практики относительно проявлений наличия метана, прогнозирования метановыделения, его контроля и управления им могло бы существенно снизить взрывоопасность метана в угольных шахтах. Пока еще существует пробел в знаниях об управлении потенциальными рисками возникновения внезапных выбросов газа. Как повысить эффективность дегазации в угольных пластах с очень низкой проницаемостью?
- 2. Несмотря на существующие 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 самой передовой технологии. Для безопасного ведения горных работ важное значение имеют также рациональные и эффективные

системы, организация и практика управления. К числу других крайне важных элементов системы обеспечения шахтной безопасности относятся надлежащие обучение и подготовка как руководящего персонала, так и рядовых работников, а также поощрение практического участия и вклада работников в рассмотрение, анализ и принятие практики безопасного ведения работ.

- 3. Проведение оценки рисков в целях сведения рисков взрывоопасности к минимуму должно сочетаться со строгим соблюдением правил техники безопасности в отношении вентиляции шахт, мониторинга и утилизации газа.** Такой подход приведет к увеличению объема и повышению качества дегазации. В целом, приток метана в угольные шахты при нормальных стабильных условиях поддается прогнозированию. Прогнозировать нештатные ситуации, связанные с выделением и внезапными выбросами газа, довольно трудно, однако условия, при которых они могут произойти, довольно хорошо известны. Разработаны детальные методы снижения риска таких проявлений, которые должны применяться во всех случаях выявления существенных рисков нештатных ситуаций. В таких ситуациях безопасность условий труда зависит от строгости применения и контроля за применением методов управления газовой выделением. Для обеспечения безопасной эксплуатации шахты исключительно важно обеспечить не только мониторинг газовой выделением в подземных горных выработках, но также сбор соответствующих данных и их использование при планировании мер безопасности.
- 4. Вентиляционные системы 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 путем применения уже имеющихся знаний и технологий. Вопрос о внедрении новых или новейших технологий следует рассматривать лишь после рассмотрения варианта применения надлежащей практики и только в том случае, если существующие методы не позволили найти удовлетворительного решения проблем. Эффективность системы дегазации источников метановыделения можно повысить путем организации надлежащего проведения монтажных работ, технического обслуживания, регулярного мониторинга и систематического проведения плановых буровых работ.
- 6. Транспортировка на угольных шахтах метано-воздушных смесей при концентрациях, находящихся в диапазоне взрывоопасности или близких к нему, является опасной практикой, и она должна быть запрещена.** Метан – взрывоопасный газ при концентрации в воздухе от 5% до 15%. Как общее правило, должны обеспечиваться его безопасные концентрации в 2,5 раза менее нижнего предела взрывоопасного диапазона, либо превышающие верхний предел взрывоопасного диапазона более чем в 2 раза.
- 7. Подземные угольные шахты представляют собой существенный источник антропогенных выбросов метана (приблизительно 8% общемирового объема выбросов метана, связанных с деятельностью человека), но объем этих выбросов можно существенно сократить путем внедрения передовой практики.** ППП метана в 28-34 раза больше, чем ППП диоксида углерода – основного ПП в мире. Значительную часть метана, образующегося в шахтах, можно извлечь и продуктивно использовать либо уничтожить (снижая его воздействие на глобальное потепление путем преобразования

в диоксид углерода). К возможным вариантам использования шахтного метана относятся рекуперация энергии газа дегазации, сжигание в факеле неиспользованного 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 экономические основания для установки и эксплуатации высокоэффективных систем дегазации**

**и утилизации каптированного 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 дегазации угольных пластов.



## Глава 9. Примеры из практики

Ниже приводятся примеры практического применения технологий на действующих шахтах различных регионов мира, в которых излагается самая передовая практика, рассматриваемая в настоящем руководстве (Таблица 9.1). Также подчеркиваются серьезные последствия неприменения наилучших практик.

В примерах 1-3 рассматривается практика оценки, планирования и рационального использования метана, внедренная на трех шахтах с системой разработки длинными очистными забоями, с целью решения проблем контроля метана. Пример 4 показывает, как эффективные системы управления могут обеспечить безопасную разработку угольных пластов, склонных к внезапным выбросам.

В примерах 5 и 6 показано, как можно повысить эффективность дегазации источников метановыделения и успешно сочетать утилизацию и сокращение выбросов ШМ, чтобы практически исключить выбросы дренированного газа в атмосферу.

В примерах 7 и 8 основное внимание уделено сокращению выбросов и утилизации МВС.

В примере 9 рассматривается практика снижения рисков взрывов на шахтах с камерно-столбовой системой разработки, а пример 10 демонстрирует трагические последствия неприменения наилучших практик.

В приведенных примерах в силу необходимости приведено лишь краткое описание соответствующей ситуации, и цель каждого примера – осветить ее самые важные моменты.

*Пример 1: Достижение плановых показателей добычи угля на газообильной шахте, работающей по системе длинных забоев с выемкой обратным ходом, при высоких напряжениях во вмещающих породах склонного к самовозгоранию угольного пласта – Соединенное Королевство*

**Начальные условия.** Глубина разработки – 980 м, газообильность выемочного участка 50 м<sup>3</sup>/т, выемка угля очистным забоем с высотой 2 м, добыча 1 млн т угля в год, существует высокий риск самопроизвольного возгорания угля, сверхнизкая проницаемость угля, высокие горизонтальные напряжения в забое и пучение почвы в конвейерном и вентиляционном штреках, по которым подается и отводится воздух.

Таблица 9.1 Перечень примеров

№	Страна	Эффективность добычи угля	Управление проветриванием	Каптивование и управление газом	Утилизация газа	Снижение выбросов	Профилактика взрывов	Примечание
1	Соединенное Королевство	Да		Да				
2	Германия	Да	Да	Да				
3	Австралия	Да	Да	Да	Выработка электроэнергии	Использование/сжигание в факеле	Да	Предотвращение внезапных выбросов
4	Австралия	Да	Да	Да				Предотвращение внезапных выбросов
5	Китай			Да	Выработка электроэнергии и тепла на шахтном метане	Использование/сжигание в факеле		
6	Китай			Да	Выработка электроэнергии и тепловой энергии на шахтном метане	Использование/сжигание в факеле		

№	Страна	Эффективность добычи угля	Управление проветриванием	Каптивное и управление газом	Утилизация газа	Снижение выбросов	Профилактика взрывов	Примечание
7	Китай				Выработка тепловой энергии на МВС	МВС		
8	Австралия				Выработка электроэнергии на МВС	МВС		
9	Южная Африка	Да	Да					Камерно-столбовая система разработки
10	Новая Зеландия						Обобщение практического опыта	

**Проблемы контроля газа.** Предварительная дегазация была невозможна из-за низкой проницаемости угля; а скважины, пробуренные вкост простирания угольного пласта передавливались из-за повышенных напряжений, поэтому объемы каптирования газа и его концентрация были слишком низкими. Высокий риск самопроизвольного возгорания и необходимость сохранения целиков существенных размеров для поддержания горных выработок не позволяли использовать многострековые системы или системы газоотводящих выработок.

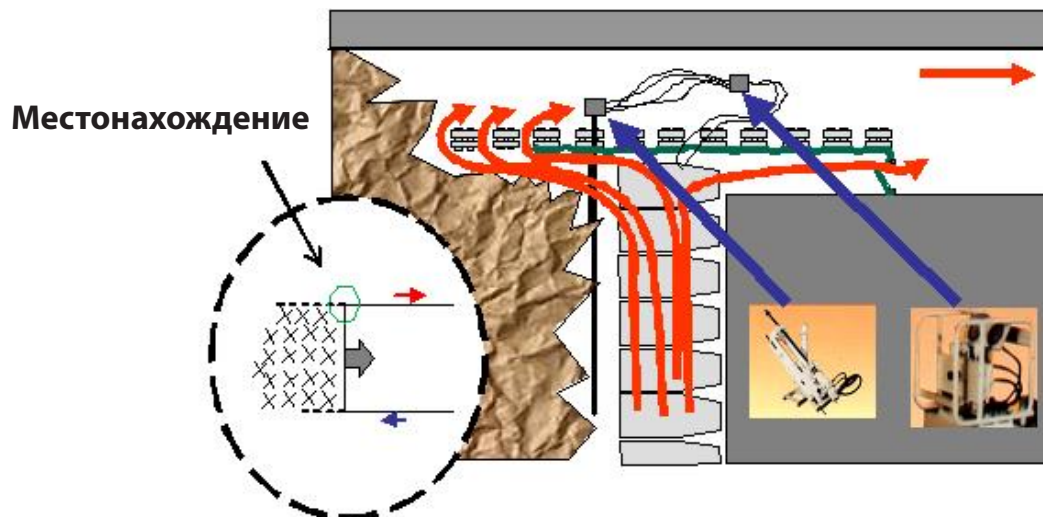
**Решение:** Необходимый уровень добычи угля был достигнут благодаря подаче 30 м<sup>3</sup>/сек вентиляционного воздуха с проведением присечного штрека позади забоя, проветриваемого и поддерживаемого специальной крепью (Диаграмма 9.1). Была разработана оптимальная схема бурения серии восстающих скважин, пробуренных с необходимым наклоном вверх под углом 55° к плоскости пласта, с интервалом между скважинами 7,5 м. В почву пласта с интервалом 100 м были также пробурены скважины для сведения к минимуму риска выбросов из нее газа.

Были установлены два параллельных газосборных трубопровода. К ним поочередно подключались скважины, переключение между газосборными трубопроводами производилось после снижения качества газа; после чего производилась регулировка отключенного трубопровода в целях избежания излишнего разбавления газа. Этот процесс, названный «липфрэг», был непрерывным, что давало возможность оставлять постоянно подсоединенными к системе дегазации в любой момент времени по крайней мере восемь скважин (см. Диаграмму 9.2). Для оптимизации

качества и количества газа было достаточно грубого регулирования, при этом показатель каптирования составлял 67%, и не требовалось вмешательства техников для корректировки отдельных скважин в опасных для работы выработанных пространствах.

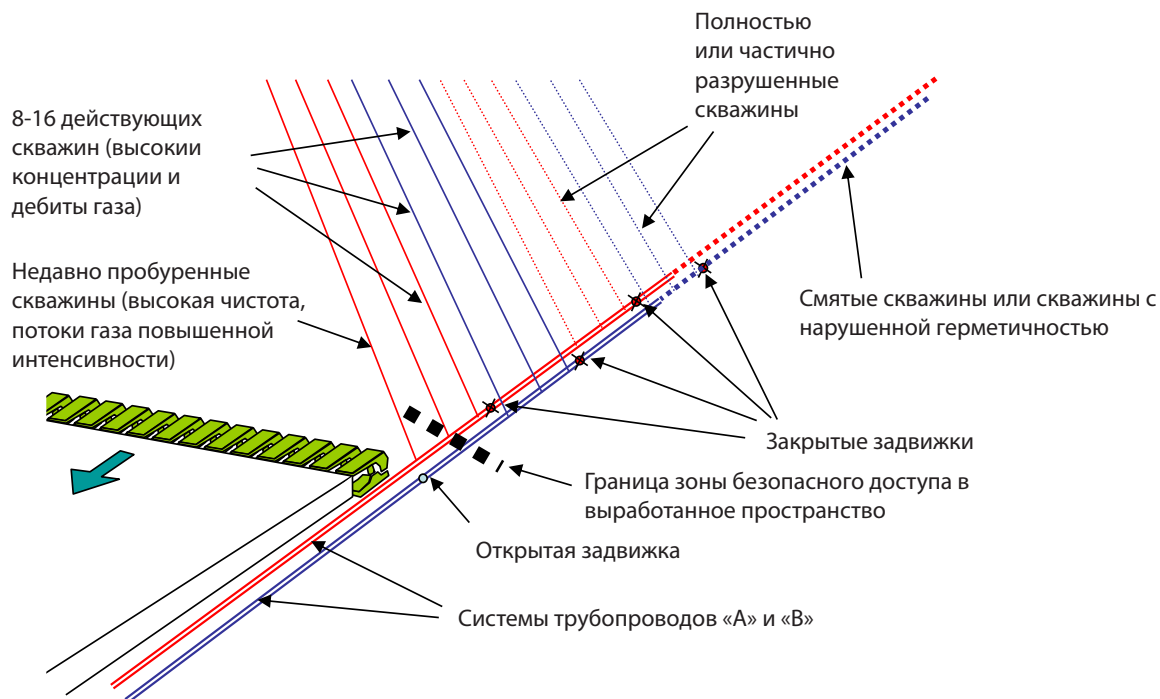
Темпы разработки пласта обратным ходом были весьма высокими, а пространство для проведения буровых операций, – ограниченным, поэтому необходимо было пробурить каждую скважину, установить и загерметизировать обсадную трубу и подключить скважину к газосборному трубопроводу в течение приблизительно 10-часового цикла. Все эти операции выполнялись с использованием портативной, но достаточно мощной буровой установки (Диаграмма 9.3) подключенной к гидравлической системе секций мехкрепи, обеспечивающих поддержание кровли в длинном очистном забое, что позволяло обойтись без подвода электроснабжения.

Диаграмма 9.1 Возвратоточная схема проветривания с проходкой присечного штрека позади очистного забоя



(Публикуется с разрешения «Грин гэс интернэшнл»)

Диаграмма 9.2 Система «Липфрэг»



(Публикуется с разрешения «Грин гэс интернэшнл»)



### Диаграмма 9.3 Станок для бурения скважин вкрест простирания



(Публикуется с разрешения «ЭДЕКО лтд.»)

#### *Пример 2: Обеспечение высокой производительности газообильного выемочного участка – Германия*

**Начальные условия.** Пласт мощностью 1,5 м, длина лавы – 300 м, планируемый объем добычи 4 000 тонн в сутки (т/сут.), темпы продвижения забоя – приблизительно 50 м/в неделю. Глубина разработки – 1 200 м, залегание пласта пологое; нетрансепроходенных выработок для частичной дегазации угольных пластов. По прогнозам, газовыделение из кровли должно было составить 25 м<sup>3</sup>/т, из отработываемого пласта – 3 м<sup>3</sup>/т

и из почвы – 8 м<sup>3</sup>/т (итого 36 м<sup>3</sup>/т). Было известно, что уголь подвержен риску самовозгорания

**Проблема контроля газа:** Максимальный поток метана, который должен каптироваться или разбавляться вентиляционным воздухом до безопасной концентрации, составляет 1,875 м<sup>3</sup>/сек (112,5 м<sup>3</sup>/мин). Был рассмотрен вариант проведения предварительной дегазации, и он был сочтен неэффективным. Существовали две основные проблемы. Во-первых, при максимально допустимой

скорости прохождения потока воздуха по длинному забою, равной  $25 \text{ м}^3/\text{сек}$ , можно было разбавить максимум  $0,37 \text{ м}^3/\text{сек}$  поступающего газа ( $22,2 \text{ м}^3/\text{мин}$ ), 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 усиления мониторинга и дегазации. Важно отметить, что такие изменения допускаются лишь адресно, для определенного объекта, и при условии принятия дополнительных мер, снижающих уровень повышения риска. Вторая проблема заключалась в том, что разрешенная максимальная концентрация метана в вентиляционном штреке, куда должен был отводиться вентиляционный воздух с конкретного участка шахты, допускалась на уровне  $1\%$ .

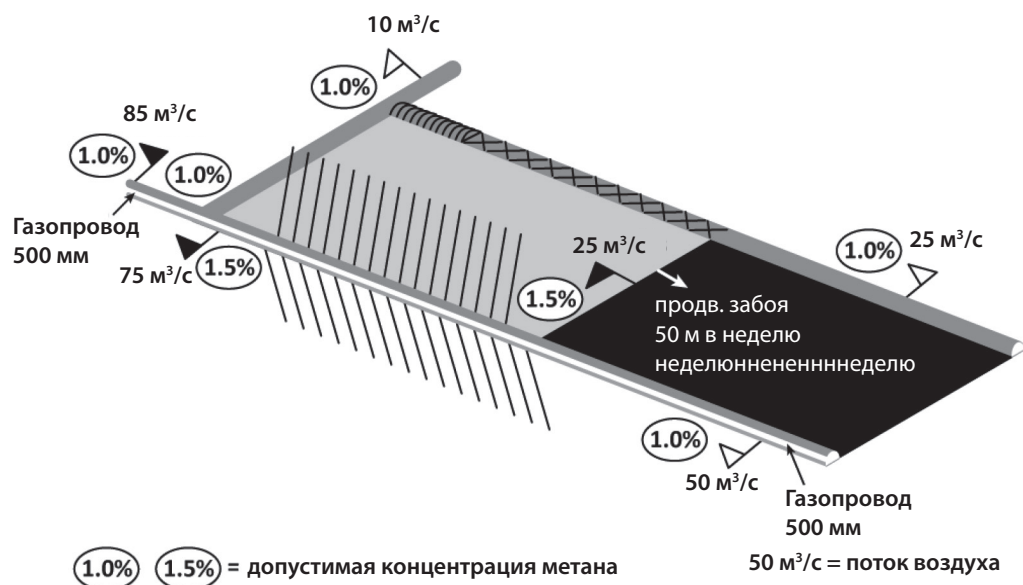
**Решение.** Была спроектирована Y-образная система проветривания (Диаграмма 9.4), обеспечивающая в дополнение к воздуху, проходящему по забою со скоростью  $25 \text{ м}^3/\text{сек}$ , подачу еще  $50 \text{ м}^3$  воздуха в секунду; при этом совокупный поток проходит позади забоя, разбавляя метан, выделяющийся из забоя и выработанного пространства. Принятая схема проветривания обеспечивает возможность бурения скважин вкрест простирания, их соединения с дегазационной системой и проведения их

раздельного мониторинга и регулирования. Как правило, скважины, пробуренные вкрест простирания позади длинного очистного забоя, обеспечивают большую эффективность дегазации и концентрации метана, по сравнению с аналогичными скважинами, пробуренными перед забоем. Эти дегазационные скважины устойчивы и высокоэффективны; предполагается, что они обеспечат извлечение  $70\%$  газа из кровли и  $40\%$  газа кровли пласта.

Перемычки (породные стенки), изолирующие выработанное пространство от сохраняемого штрека позади забоя, служили для усиления его поддержания и изоляции выработанного пространства от попадания в него воздуха, с целью снижения риска самовозгорания и образования взрывоопасных концентраций метана.

Необходимость соблюдения предельно допустимой концентрации метана  $1\%$  в исходящей струе из очистного забоя ограничивало объем добычи угля  $4\,000$  тоннами в сутки, что соответствовало плановому заданию. Система дегазации была способна обеспечить в сутки отвод  $80\,000 \text{ м}^3$  чистого метана, который мог использоваться в электростанции. Несмотря на весьма тяжелые условия добычи, работа забоя была успешной благодаря применению передовой схемы проветривания и весьма эффективной дегазации.

#### Диаграмма 9.4 Длинный забой с прогрессивной Y-образной схемой проветривания и дегазационными скважинами в кровле и почве выработки позади длинного забоя



(Источник: ДМТ ГмБХ и Ко. КГ)

*Пример 3: Обеспечение высокой производительности газообильного выемочного участка – Австралия*

**Ситуация.** Несколькими новыми очистными забоями обрабатывается угольный пласт мощностью 2,8 м с газоносностью 8-14 м<sup>3</sup>/т. Глубина залегания составляет 250-500 м, и при этом особенности поверхностного рельефа не препятствуют доступу с поверхности. Для соблюдения установленных норм по предотвращению внезапных выбросов газа газоносность пласта должна быть снижена и не превышать 7,5 м<sup>3</sup>/т. Суммарная мощность одного нарабатываемого и восьми подрабатываемых пластов-спутников, находящихся в зоне влияния очистных работ, 10-15 м. Длина лав составляет 350 м, протяженность выемочного поля – до 3,6 км (Диаграмма 9.5). Планируемая производительность очистных забоев составляет 200 000 тонн угля в неделю.

С учетом высокой выбросоопасности шахты была применена трехштрековая система подготовки выемочного участка с тем, чтобы организовать систему проветривания, обеспечивающую разбавление больших объемов газа. По сравнению с обычной возвратноточной схемой проветривания применение трехштрековой системы обеспечивает возможность существенного увеличения объемов подачи воздуха по всей длине очистного забоя, не увеличивая при этом скорости потока воздуха в забое. В настоящее время эта шахта является единственной в Австралии, на которой применяется трехштрековая система разработки.

**Проблемы контроля газа.** По прогнозным оценкам газообильность выемочного участка может находиться в диапазоне 15-30 м<sup>3</sup>/т. При планируемых объемах добычи угля это абсолютной газообильности 3 500–7 000 л/сек CH<sub>4</sub>, причем с увеличением глубины этот показатель обычно возрастает. Вместе с тем ранее проведенные исследования на соседней шахте показали наличие существенного количества поступающего извне газа, который может существенно увеличить газообильность. Метан в первых трех длинных очистных забоях успешно отводился при существовавшей схеме проветривания, однако газовыделение было выше, чем можно было бы предположить, имея в виду относительно небольшую глубину залегания пластов. Экстраполяция данных на более глубокие горизонты показала, что прогнозы, сделанные на этапе технико-экономического

обоснования, будут превышены и абсолютная метанообильность может составить 9 500 л/сек.

**Решение.** На этапе разработки предельные значения выбросоопасности и фрикционной воспламеняемости были соблюдены за счет комбинированного использования технологий бурения скважин среднего диаметра с поверхности в пласт в сочетании с подземными направленными скважинами и разведочными скважинами, которые пробуриваются в целях отбора угольных кернов и определения газоносности. На угольных пластах также применялась предварительная дегазация скважинами малого диаметра.

Первоначальный план применения трехштрековой системы оказался правильным и обеспечил проветривание лавы со скоростью потока 100-120 м<sup>3</sup>/сек (2 000–2 400 л/сек CH<sub>4</sub> при предельной концентрации в вентиляционном штреке 2,0%). Важно отметить, что после катастрофы на шахте Моура в 1994 году, где погибли 11 шахтеров, согласно правилам, руководящим принципам и практике эксплуатации шахт в Квинсленде запрещается использование в полномасштабном варианте системы вентиляции газосборных штреков американского типа. Вместе с тем возможно применение регулируемого отвода газа с должным учетом точного места расположения потенциально взрывоопасных смесей и контролем за самовозгоранием.

Реальные возможности разбавления газа с помощью системы отвода в этих блоках гораздо меньше требующихся при зарегистрированной абсолютной метанообильности выемочного участка в забое, и поэтому необходимо применять альтернативные стратегии. В настоящее время на шахте успешно применяются традиционные дегазационные скважины, пробуренные с поверхности в выработанное пространство (диаметр скважин – 300 мм; скважины расположены с интервалом 50 м позади забоя) с целью снижения нагрузки газовыделения на вентиляционную систему. Эта стратегия обеспечила каптаж газа в среднем на уровне 80% (дегазация выработанных пространств и проветривание) при пиковых значениях приблизительно 85% и высокой концентрации газа (>90% CH<sub>4</sub>).

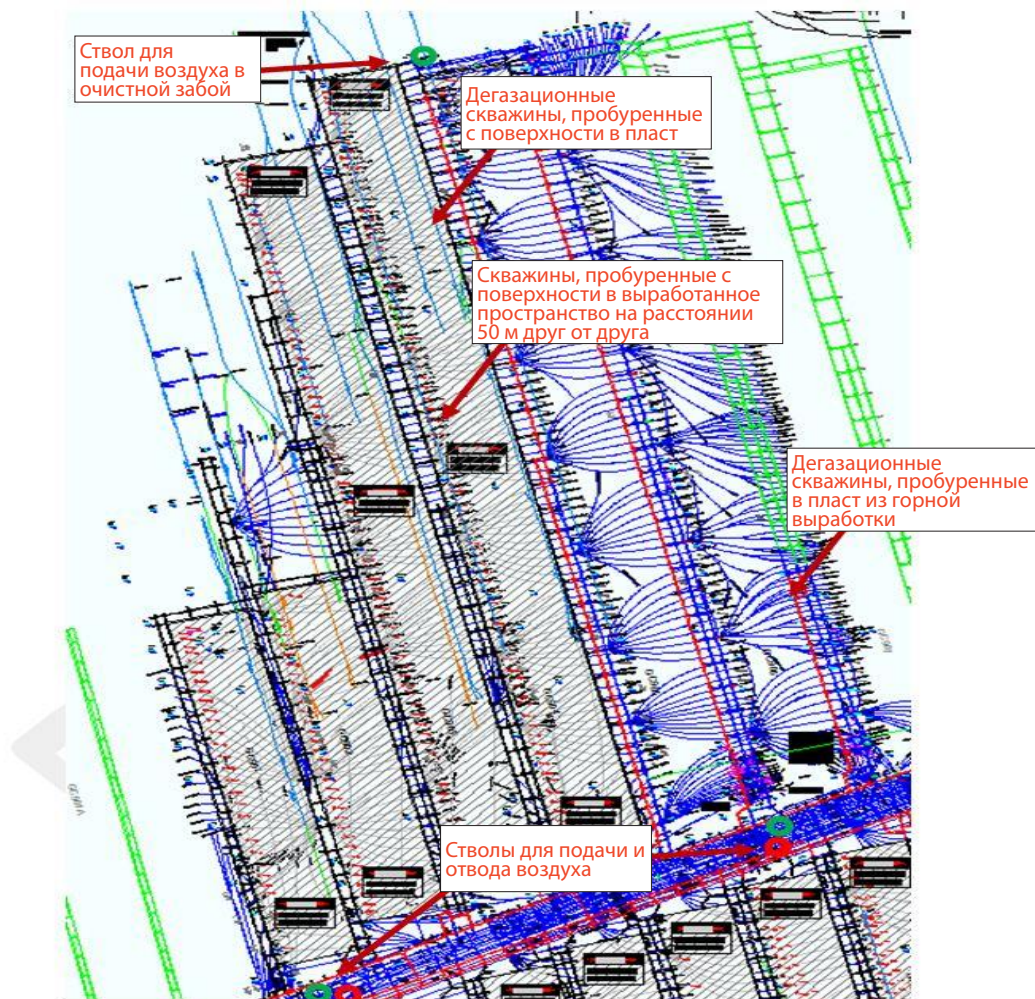
Инфраструктура для сбора газа находится на поверхности шахты, и в ее состав входят трубопроводы диаметром 450 мм, включая вертикальные

соединения с подземными наклонно-направленными скважинами. Все потоки газа предварительной дегазации из подземных выработок, предварительной поверхностной дегазации с использованием буровых скважин среднего диаметра и скважин, выводящих газ из выработанных пространств на поверхность, направляются на мобильную установку дегазации выработанного пространства и на центральную насосную станцию, откуда газ со скоростью приблизительно 2 200 л/сек подается в газовые двигатели мощностью 16 x 2,0 МВт; при этом излишнее количество газа сжигается в факеле. Политика шахты заключается в том, чтобы по возможности избегать прямых выбросов каптированного газа.

Признавая, что в будущих лавках поступление в вентиляционную сеть 85% каптированного газа из

выработанных пространств может создавать проблемы для системы проветривания, в настоящее время шахта также пытается организовать предварительную дегазацию относительно 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. В том случае, если потребуется дополнительная предварительная дегазация над будущими более глубоко залегающими выработками, можно будет рассмотреть вопрос о бурении обычных пластовых скважин.

#### Диаграмма 9.5 План горных работ с указанием систем вентиляции и дегазации



(Источник: Бэль, 2016 год)

*Пример 4: Безопасная разработка угольных пластов, склонных к внезапным выбросам – Австралия*

**Начальные условия.** С 1895 года на австралийских шахтах было зарегистрировано более 700 случаев внезапных выбросов угля и газовых смесей, в состав которых входили диоксид углерода и метан; в некоторых из этих случаев были человеческие жертвы.

**Проблема:** Особенно проблематичным склонным к внезапным выбросам угольным пластом являлся пласт Булли, который разрабатывался несколькими шахтами в Новом Южном Уэльсе (НЮУ). Начиная с первого зарегистрированного в 1895 году случая внезапного выброса, в этом районе во время такого рода инцидентов погибли в общей сложности 12 человек. После гибели человека во время инцидента, связанного с внезапным выбросом на угольной шахте «Саут Булли» в июле 1991 года, по инициативе горнотехнического надзора были созданы несколько рабочих групп для изучения рисков. Результатом анализа стало внедрение концепции Планов по управлению внезапными выбросами (ПУВВ). Однако применение ПУВВ носило фрагментарный характер, и очередной смертельный случай, связанный с внезапным выбросом на угольной шахте «Уэстклифф» в 1994 году, наглядно показал необходимость более строгого подхода. Процедуры, успешно зарекомендовавшие себя в зонах с высоким содержанием метана, не были эффективными на некоторых шахтах в зонах с высоким содержанием диоксида углерода. В связи с сосредоточением добычи угля на меньшем количестве высокоэффективных длинных забоев потребовалось увеличить темпы продвижения горных выработок. В этой ситуации для поддержания результативности и рентабельности горных работ было очень важно контролировать риски внезапных выбросов угля и газа.

**Решение.** В целях решения вышеупомянутых проблем Горнотехнический надзор шахт НЮУ выпустил практическое руководство, в котором руководству шахт разъяснялось, как разработать и внедрить систему управления внезапными выбросами с жесткими требованиями. Обоснование потребности в такого рода подходе было изложено в следующей выдержке из «Руководства по управлению внезапными выбросами на шахтах» (Департамент минерально-сырьевых ресурсов, НЮУ, 1995 год):

*«Обширный опыт горнотехнического надзора в расследовании событий, связанных с внезапными*

*выбросами газов, показал, что зачастую имеют место ситуации, при которых отсутствует уверенность в том, что обязательные к выполнению процедуры были фактически выполнены. Иными словами, стало очевидно, что управление рисками внезапных выбросов газа является не только технической проблемой; это в равной степени также проблема, связанная с управлением и контролем. Зачастую происходят ситуации, когда на объектах имеются лучшие из данных момент технологии, но отсутствуют эффективные системы для контроля за их применением».*

В ПУВВ должны быть изложены описания обязанностей, процедуры и протоколы, необходимые для обеспечения безопасной работы на шахтах. Неотъемлемой частью процесса управления внезапными выбросами является анализ данных мониторинга газоносности угольного пласта, геологической структуры и результатов бурения пласта. Дегазация является основным механизмом предотвращения выбросов газа за счет снижения газоносности разрабатываемого пласта до значений ниже пороговой концентрации, при которой имеются риски возникновения внезапных выбросов (Лама, 1995 год). Процедуры ведения горных работ в условиях внезапных выбросов применяются только в том случае, если становится очевидным, что дальнейшая дегазация невозможна, либо что бурение дополнительных скважин не может дать существенные дополнительные данные. Процедуры ведения горных работ в условиях внезапных выбросов разработаны таким образом, чтобы свести к минимуму риски для рабочих и обеспечить наличие объектов аварийной защиты на подверженных риску участках.

Впоследствии угольные шахты в Австралии продемонстрировали, что при наличии эффективных систем управления можно вести безопасную и рентабельную разработку угольных пластов, предрасположенных к внезапным выбросам газа.

*Пример 5: Производство электроэнергии и борьба с выбросами метана по системе когенерации на основе шахтного метана – Китай*

**Начальные условия.** Новая работающая на поверхности шахты установка по извлечению газа была смонтирована и введена в эксплуатацию в мае 2007 года в удаленном горном районе (1 600 м) над угольной шахтой с годовой производительностью 5 млн т угля и относительной газообильностью 17,7 м<sup>3</sup>/т; при этом газ каптировался со средним дебитом 22 м<sup>3</sup>/мин

чистого метана. Эффективность дегазации составляла 15%, остальные 85% метана удалялись на шахте с вентиляционным воздухом.

**Проблемы контроля газа.** Концентрация газа на установке изменялась 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 технологическом цикле очистных работ и вследствие этапного характера разработки различных пластов; для выполнения инвестиционных требований загрузка мощностей электростанции, работающей на шахтном метане, должна была составлять порядка 85%. Цели проекта – оптимизация рекуперации энергии и сведение к минимуму выбросов ПГ. Требовалось объединить в одну систему газовый двигатель 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 национальных и международных специалистов в области дегазации, электроэнергетики и инженерного обеспечения систем, которая работала вместе с персоналом шахты, чтобы обеспечить подачу газа, выведения проекта на запланированную мощность, а также интеграцию установок и обеспечение их эффективной работы.

Концентрация метана была повышена путем совершенствования герметизации и регулирования скважин, пробуренных вкрест простирания. Были увеличены мощности инфраструктуры дегазации, вместо устаревших установлены новые более эффективные устройства для мониторинга потока и составлен план увеличения каптажа газа. В результате интенсивных работ по бурению скважин предварительной дегазации на двух будущих панелях был получен газ для обогащения и увеличения объема потока; в конечном счете объем каптированного газа был увеличен на 23%. Кроме того, дополнительные объемы газа поступали от текущей дегазации скважин, пробуренных вкрест простирания. Эти скважины были пробурены до начала очистных работ, поэтому некоторые из них были повреждены и неудовлетворительно работали в выработанном пространстве. Над выработанным пространством за забоем была пробурена демонстрационная скважина, которая показала хорошие результаты, однако эта технология еще не была принята из-за несоответствия

местным нормам, и такой метод дегазации в этом районе до сих пор не практиковался.

На первом этапе применения схемы предполагалось использовать генераторную установку мощностью 5 МВтэ 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 м<sup>3</sup>/час. Разработка и монтаж системы дистанционного мониторинга работы оборудования по утилизации и сжиганию газа были выполнены сотрудниками специализированной компании.

После того как на демонстрационной стадии объем каптажа газа был увеличен до более 50 м<sup>3</sup>/мин (по чистому газу), в октябре 2009 года были проведены монтажные работы второго этапа с целью увеличения генерирующих мощностей до 12 МВтэ.

*Пример 6: Утилизация ШМ и смягчение последствий выбросов метана на трех крупных угольных шахтах – Китай*

**Начальные условия.** Три крупных угольных шахты с общей производственной мощностью 14 млн тонн угля в год, расположенные недалеко от г. Тайюань, столицы провинции Шаньси в Китае, каптировали в общей сложности около 140 кубических метров метана в минуту, который выбрасывался в атмосферу. Имелись возможности для дальнейшего увеличения каптажа ШМ на упомянутых шахтах. В рамках национальной, провинциальной и корпоративной политики принимались целенаправленные усилия по изысканию способов использования ШМ для производства чистой энергии и для сокращения выбросов парниковых газов. Высокие и растущие цены на электроэнергию стали для угольных шахт важным стимулом для выработки своей электроэнергии для собственных нужд.

**Проблемы утилизации и смягчения воздействия на окружающую среду:** собственники шахт были намерены внедрить современную технологию производства электроэнергии с помощью газовых двигателей, но не обладали опытом утилизации шахтного метана. Руководство корпорации поставило задачу определить и внедрить у себя передовые методы извлечения газа, его утилизации и смягчения воздействия на окружающую среду на основе применения импортных технологий. Однако были опасения, что при решении данной задачи возникнут трудности с финансированием,

эксплуатацией и обслуживанием зарубежного оборудования. В прошлом очень часто технологии, импортировавшиеся в Китай, выходили из строя из-за отсутствия опыта в их эксплуатации и отсутствия средств на профилактическое обслуживание. Имелись также проблемы, связанные с изменчивостью концентрации и объемов потоков метана на шахтах.

Все производственные площадки проектов располагались в горных районах на высотах до 1600 м; вследствие этого они были подвержены воздействию экстремальных погодных условий – со снегом зимой и высокими дневными температурами летом. То есть на этих площадках было невозможно безопасно и эффективно выполнять строительные работы зимой, а применяемое оборудование должно было надежно функционировать в условиях широкого диапазона климатических условий.

**Решение:**

**Строительные работы по проекту.** Крупная государственная угледобывающая компания и ее оператор в лице дочерней компании установили сотрудничество с международным разработчиком проектов для строительства и эксплуатации проектных объектов для производства электроэнергии по системе когенерации на трех газообильных угольных шахтах. Проекты подлежали регистрации в качестве проектов МЧР в рамках РКИК ООН. Международный партнер финансировал поставку и установку всего оборудования, в то время как китайский партнер, представленный угледобывающей компанией, предоставлял земельные ресурсы и финансировал проектные и строительные работы. До завершения проектирования и перехода к реализации каждого проекта было необходимо разработать технико-экономическое обоснование и получить одобрение этих ТЭО уполномоченными государственными органами. В Китае действуют государственные правила, согласно которым проектно-конструкторские работы могут осуществлять только эксперты сертифицированных учреждений. Команда инженеров-проектировщиков разработчика проекта работала с китайскими проектно-конструкторскими институтами, помогая им понять новые внедряемые технологии, а также объясняя целесообразность принятия западных стандартов, особенно касающихся охраны труда и безопасности. До начала строительных работ были подготовлены, рассмотрены и официально утверждены оценки воздействия проектов на окружающую среду.

После получения всех необходимых одобрений был запущен процесс публичных тендерных торгов на поставку и монтаж проектного оборудования в рамках Контракта на проектирование, закупки и строительство объектов «под ключ» (EPC). Затем были обсуждены технические детали с предпочтительным участником тендера и согласованы окончательные условия контрактов. В силу суровости зимних условий строительные работы можно было вести только в течение 8-9 месяцев в году. График реализации проектов в общем виде приведен в Таблице 9.2.

Площадки для объектов проектов утилизации ШМ были оборудованы на холмистой местности со сложными грунтовыми условиями с помощью методов выемки и засыпки грунта. Двигатели были установлены в контейнерах, обеспечивающих защиту от шумового загрязнения и создающих надлежащие условия для работы приборов контроля выбросов двигателя, соответствующих новейшим стандартам.

На угольной строительной шахте Т реализация проекта когенерационной станции, работающей на ШМ, проходила с серьезным отставанием от намеченного графика из-за проблем, возникших с оформлением документации на земельный участок проекта, и в связи с сильным подземным взрывом в шахте в феврале 2009 года, которым руководству шахты и рабочей группе проекта пришлось заниматься в течение длительного периода времени. Кроме того, в связи с затянувшимся спором о гарантии на энергетическую установку проект не мог выйти на полную мощность в течение почти двух лет после завершения работ. Местные проектировщики включили в проект большой газгольдер, но из-за регуляторных проблем данный элемент системы остается неиспользованным; тем не менее это обстоятельство не оказало заметного влияния на функционирование проекта.

На шахте М первоначальная производительность энергетической установки была ниже запланированной из-за недостаточной мощности системы охлаждения газа; впоследствии указанная проблема была устранена.

Все три проекта были успешно зарегистрированы в качестве проектов МЧР в рамках РКИК ООН, и в общей сложности они обеспечивают снижение выбросов, превышающих 1 млн тонн диоксида углерода в год. Контрольные проверки фактических выбросов были успешно проведены на всех производственных площадках, и они будут продолжаться на протяжении

всего 10-летнего срока функционирования проектов. Установлены генерирующие мощности, способные производить электроэнергию в объеме более 30 МВтэ, и рассматривается возможность дальнейшего расширения проекта Т. В результате осуществления проектов в относительно бедных районах угледобычи было создано около 65 новых рабочих мест, что благоприятно отразилось на местной экономике; также была улучшена местная инфраструктура.

**Технологические вопросы и решения.** Весьма существенным компонентом реализации проектов была передача технологии. Инвестиции и техническое содействие были предоставлены международным разработчиком проекта с опытной командой специалистов-шахтостроителей и проектировщиков. Тем не менее, на местах наблюдалось некоторое сопротивление новым идеям, в частности, там, где они противоречили сложившимся, зачастую устаревшим правилам и практикам проектирования.

Строительство энергетических установок осуществлялось поэтапно с тем, чтобы нарабатывался опыт эксплуатации сложных импортных газовых

двигателей и чтобы было время для принятия на шахтах мер по улучшению каптирования газа и повышению его качества (Диаграммы 9.6 и 9.7). Поставщики технологий провели обучение местных специалистов, а службы технической поддержки располагались в офисе разработчика проекта в г. Тайюань, в нескольких минутах езды на автомобиле от всех трех площадок. Кроме того, была разработана специальная система удаленного мониторинга для быстрого реагирования на предупреждения о неисправностях и для оптимизации сокращения выбросов.

Была разработана надлежащая защита от воздействия экстремальных климатических условий, чтобы обеспечить функционирование систем предварительной очистки, двигателей и систем контроля и управления в любых погодных условиях. Тем не менее, в силу неблагоприятных погодных условий в летние и зимние периоды нагрузка на газовые двигатели может снижаться, а простои по причине технического обслуживания – увеличиваться, по сравнению с расчетными параметрами.

**Таблица 9.2 График реализации проектов**

Мероприятие	Шахта D	Шахта Т	Шахта М
Подписано соглашение партнеров о сотрудничестве	Август 2007 года	Март 2008 года	Март 2008 года
Начало работ по подготовке рабочих площадок	Июнь 2007 года	Июнь 2009 года	Март 2009 года
Начало первого этапа производства электроэнергии	Май 2008 года	Июнь 2011 года	Август 2010 года
Начало второго этапа производства электроэнергии	Ноябрь 2010 года	По плану – сентябрь 2016 года	Ноябрь 2014 года

Усилия работавшей на шахтах проекта международной команды экспертов были направлены на повышение стандартов управления газовой выделением и обеспечение стабильной концентрации метана на уровнях, превышающих 30%, необходимых для безопасного каптажа и безопасной транспортировки и утилизации газа. В отсутствие соответствующего национального китайского стандарта международная группа экспертов разработала рабочее руководство по эксплуатации наземных генераторных установок, работающих на шахтном метане. Основные улучшения в работе шахт проекта касались бурения и регулирования дегазационных скважин, внедрения новых методов влагоотделения в системах трубопроводов,

предназначенных для дегазации, и регулирования давления всасывания на наземных установках отвода газа.

Общие показатели эффективности проектов приведены в Таблице 9.3. Целевые показатели выработки электроэнергии на уровне 80% не были достигнуты в силу влияния факторов, связанных с эксплуатацией, техническим обслуживанием станции и подачей ШМ. Параметры потока ШМ варьируются в зависимости от темпов добычи угля и на них сказываются остановки лав из-за проблем геологического характера и переключений на другие лавы, а также на проведение работ по техническому обслуживанию



шахты. Коэффициент использования генераторной установки рассчитывается путем умножения времени фактической работы двигателя (в процентах от номинального) на достигнутую нагрузку двигателя в процентном выражении.

Проекты по утилизации ШМ на упомянутых трех шахтах продолжают функционировать в соответствии с проектом, несмотря на незначительный доход от сертифицированных сокращений выбросов, и систематически достигают целевые показатели смягчения воздействия на окружающую среду, поскольку избыточный газ, не использованный для выработки электроэнергии, особенно в периоды простоев, уничтожается в факелах.

Существует потенциал для повышения производства электроэнергии на объектах, описанных в приведенных примерах, путем улучшения практики эксплуатации и технического обслуживания объектов, а именно путем обеспечения их необходимыми запасными частями, организации профилактического обслуживания и повышения квалификации технического персонала. Системы рекуперации тепла используются только в зимний период (на протяжении приблизительно 5 месяцев) для обогрева стволов на шахте D и для производства горячей воды и обогрева помещений на площадках двух остальных шахт. Коммерчески рентабельного круглогодичного использования отработанной тепловой энергии найдено не было.

**Обобщение полученного практического опыта:** Данный пример наглядно показывает, каким образом современные генераторы, работающие на шахтном метане, системы рекуперации тепла и факельные установки могут быть интегрированы в единую систему, в которой можно использовать или уничтожать практически весь каптированный газ, – что является

исключительно важным шагом на пути к почти полной ликвидации выбросов метана в атмосферу при ведении горных работ. Выгоды для угольных шахт заключаются в экономии электроэнергии и использовании экологически чистой энергии, получаемой в результате рекуперации отработанного тепла, для нагрева воды и обогрева шахтных выработок и стволов; ранее для этого использовались работающие на угле и загрязняющие атмосферу бойлерные установки.

Одни только высокие цены на электроэнергию могут быть недостаточным стимулом для инвестирования в современные системы утилизации ШМ. В данном примере показано, что углеродное финансирование в сочетании с передачей технологий является эффективным драйвером инвестиций в упомянутые системы.

Не следует недооценивать затраты времени на получение необходимых согласований и одобрений для проекта утилизации ШМ. При расчете сроков и графика реализации проекта следует учитывать нецелесообразность и опасность работ в экстремальных зимних условиях. Оборудование и установки также должны быть спроектированы таким образом, чтобы они могли удовлетворительно работать в любых возможных в соответствующей местности погодных условиях.

У специалистов шахт, на которых внедряются новые для них технологии, должен быть полноценный доступ к технической поддержке и услугам опытных специалистов в территориальной близости от расположения рабочих площадок проекта. Производительность оборудования зависит не только от его первоначальных технических характеристик и монтажа, но и от того, как организованы его эксплуатация и техническое обслуживание.

**Таблица 9.3 Сводный обзор эффективности проектов использования шахтного метана (ШМ)**

Угольная шахта проекта по утилизации метана	Регистрация проекта МЧР в рамках РККООН	Мощность энергетической установки, МВтэ (2015 г.)	Показатели сжигания в факеле, м <sup>3</sup> /ч	Типичный ежегодный экспорт электроэнергии, МВт-ч	Совокупный экспорт электроэнергии до 31 июля 2015 года, МВт-ч	Типичное сокращение выбросов, тСО <sub>2</sub> /год	Общий коэффициент использования энергетических установок	Общий коэффициент использования факельных установок
Шахта D	9 марта 2009 года	11,9	1 x 5 000	69 300	380 200	385 000	66%	20%
Шахта T	17 декабря 2010 года	12,2	4 x 2 000	62 000	266 900	482 000	59%	90%
Шахта M	3 декабря 2010 года	7,5	2 x 1 500	24 700 Только первый этап	120 400	192 800	75%	80%

Диаграмма 9.6 Первый этап реализации проекта когенерационной установки, работающей на шахтном метане, на шахте D



Диаграмма 9.7 Факельная система на шахте T



## Диаграмма 9.8 Борьба с выбросами метана вентиляционных струй и рекуперация энергии – Китай



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

### Пример 7: Метан вентиляционных струй – Китай

#### **Борьба с выбросами метана вентиляционных струй (МВС) и получение горячей воды на основе энергии, выделяющейся в результате окисления МВС.**

**Начальные условия.** На крупной угольной шахте, расположенной в провинции Хайнань, Китайская Народная Республика, объем добычи угля составлял 1,5 млн т/год, а выбросы метана – примерно 12 млн м<sup>3</sup> метана в год. На метан вентиляционных струй приходилось 56% выбросов, а остальные 44% метана удалялись путем дегазации. В вентиляционных струях концентрация метана изменялась в пределах 0,3%-0,7%.

**Проблемы борьбы с выбросами газа.** Проекты утилизации или борьбы с выбросами МВС ранее в Китае не выполнялись, поскольку в условиях отсутствия углеродных квот не было стимулов для реализации таких проектов.

**Решение.** Финансовым драйвером для реализации проектов по сокращению выбросов МВС стал формирующийся рынок МЧР. Представители группы государственных горнодобывающих предприятий совместно с разработчиком проекта МЧР и ведущим поставщиком соответствующих технологий разработали, ввели в действие и обеспечили функционирование коммерческого демонстрационного проекта по утилизации метана вентиляционных струй, в котором использовался беспламенный одиночный блок регенеративных

термальных окислителей РТО (Диаграмма 9.8). Это был первый утвержденный и зарегистрированный в рамках Киотского протокола проект МЧР по МВС.

Первый проект планировался как коммерческий демонстрационный проект, но при этом была предусмотрена возможность подключения дополнительных блоков РТО для обработки МВС на случай расширения масштабов данных операций на шахте.

Действующая на шахте установка по переработке метана вентиляционных струй состоит из одного блока РТО производительностью 62 500 м<sup>3</sup>/ч (17 м<sup>3</sup>/сек), что представляет собой 17% общего потока метана в стволе шахты с дебитом 375 000 м<sup>3</sup>/сек. Подсоединение к вентилятору шахты организовано таким образом, чтобы, когда установка по обработке метана вентиляционных струй отключается, весь вентиляционный воздух выбрасывался 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 МВС) было время для задействования обводного регулятора тяги, который позволяет перенаправить поток МВС в атмосферу. РТО может работать в автономном режиме в диапазоне концентраций МВС, образующихся на шахте. Функционирование проекта началось в октябре 2008 года при эффективности уничтожения метана 97%. Получение ССВ зависит от количества уничтоженного

метана, которое обычно составляет от 20 000 т (0,3% CH<sub>4</sub>) до 40 000 т (0,6% CH<sub>4</sub>) эквивалента диоксида углерода в год на один блок. При снижении концентрации метана ниже уровня поддержания автономного режима, равного 0,2%, система отключается.

**Утилизация МВС:** Установка на Чжэнчжоуской шахте производит горячую воду для душевых комнат шахтеров и для обогрева соседних зданий. Рекуперация тепла обеспечивается применением воздушно-водяного теплообменника, который монтируется между РТО и его вытяжной трубой, обеспечивая рекуперацию энергии нагретого отработанного воздуха.

В Таблице 9.4 проводятся сравнительные данные относительно объемов энергии, которые могут быть получены посредством вторичной рекуперации тепла отработанного воздуха РТО в форме воды, нагреваемой при различных концентрациях МВС до 70°C и 150°C. В таблице также указано количество энергии, которое может быть рекуперировано с помощью первичного теплообмена посредством отвода энергии непосредственно из внутренней части РТО. Выработка тепловой энергии имеет линейную зависимость. Соответственно, два блока РТО будут вырабатывать вдвое больше тепловой энергии.

**Таблица 9.4 Объемы энергии, которые могут быть получены на установке переработки вентиляционного воздуха с расходом 250 000 нм<sup>3</sup>/ч при различных условиях эксплуатации**

Продукт вторичного теплообмена	Концентрация МВС 0,3%	Концентрация МВС 0,6%	Концентрация МВС 0,9%
Вода, температура 70°C	1 МВт	8 МВт	15 МВт
Вода, температура 150°C	Невозможно	2 МВт	10 МВт
Теплообмен внутри РТО	3 МВт	11 МВт	18 МВт

*Пример 8: Метан вентиляционных струй – Австралия*

Борьба с выбросами МВС и использование энергии, высвобождаемой в процессе окисления МВС, для производства перегретого пара, обеспечивающего функционирование обычного паротурбинного электрогенератора.

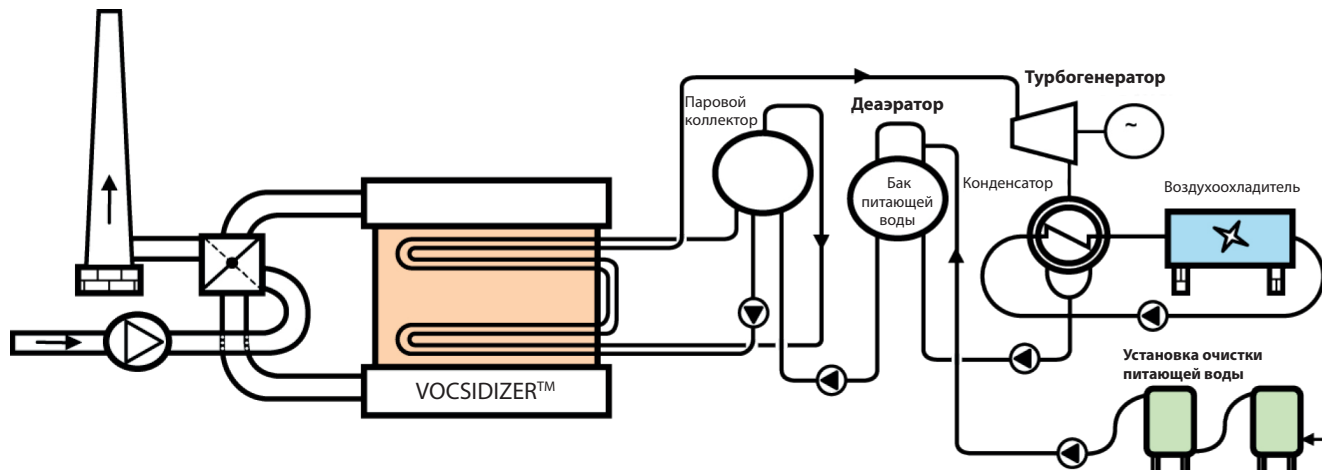
**Первоначальные условия.** МВС крупной угольной шахты в Новом Южном Уэльсе, Австралия, выбрасывался в атмосферу в концентрациях, равных приблизительно 0,9% CH<sub>4</sub>. Кроме того, вблизи диффузора также выбрасывался в атмосферу газ дегазации при концентрациях, превышающих 25%.

**Проблемы контроля газа.** Крупномасштабная утилизация МВС или борьба с его выбросами ранее не демонстрировались нигде в мире вследствие характера выбросов, которые выходят с весьма крупными потоками воздуха, в которых метан разбавлен до крайне низких концентраций. Маломасштабная утилизация МВС и борьба с его выбросами были продемонстрированы в рамках проекта, который осуществлялся в течение 12 месяцев с 2001 по 2002 год на угольной копи «Аппин» компании «БХП Биллитон», Австралия. На этой шахте малогабаритная установка РТО

обрабатывала МВС и использовала высвобождаемую энергию для производства пара, демонстрируя долгосрочные возможности приспособления к естественным изменениям концентраций МВС и обеспечения эффективной рекуперации энергии в долгосрочном плане.

**Решение.** Совместно с заводом-изготовителем блоков РТО, которые использовались на угольной копи «Аппин», шахта интегрировала четыре блока РТО в цикл парообразования для генератора электроэнергии и эффективно использовала РТО как специальные печи, способные работать, используя в качестве топлива сильно разбавленный МВС (Диаграмма 9.9). Компания, владеющая шахтой, получила для осуществления этого проекта существенное финансирование в виде субсидий от правительственных источников.

## Диаграмма 9.9 Борьба с выбросами МВС и рекуперация энергии для производства электроэнергии



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

Энергоустановка, работающая на МВС (Диаграмма 9.10), спроектирована для переработки вентиляционного воздуха с расходом 250 000 м<sup>3</sup>/час (150 000 стандартных кубических футов в минуту), что соответствует 20% общего объема вентиляционного воздуха на выходе из шахты. Конструкция энергоустановки рассчитана на использование МВС при средней концентрации метана 0,9%. Конструкция РТО предусматривает ее функционирование при различных концентрациях МВС, но для того, чтобы паровая турбина функционировала непрерывно на оптимальной скорости, энергия, получаемая в результате обработки вентиляционного воздуха, должна поддерживаться на довольно стабильном уровне и соответствовать расчетному показателю. На этой производственной площадке, когда концентрация МВС падает ниже 0,9%, в поток вентиляционного воздуха направляется газ дегазации с концентрацией 25% и выше.

В апреле 2007 года энергоустановка, работающая на МВС, функционировала на полную мощность. Коэффициент ее использования в течение первого финансового года (июль 2007 года – июнь 2008 года) составил 96%, при двух плановых остановках на техническое обслуживание. К октябрю 2014 года установка заработала углеродные квоты в размере свыше 1,5 млн единиц и произвела более 240 000 МВт-ч электроэнергии.

Для успешной работы паротурбинной энергоустановки, работающей на МВС, необходимо, чтобы:

- концентрация МВС составляла не менее 0,7%;
- расход вентиляционного воздуха составлял как минимум 500 000 м<sup>3</sup>/ч (300 000 сфут<sup>3</sup>/мин);
- обеспечивалось наличие газа дегазации (с минимальной концентрацией 25%) для подачи в вентиляционный воздух в целях компенсации недостаточной концентрации МВС;
- обеспечивалось наличие питающей воды для охлаждения установки;
- энергоустановка располагалась вблизи распределительной электросети высокого напряжения для подачи в нее производимой электроэнергии.
- по возможности использовалась тепловая энергия, вырабатываемая в контуре охлаждения пара; эта энергия может использоваться для нагрева воды и помещений или для охлаждения помещений с помощью абсорбционных охладителей.

Обогащение МВС с использованием каптированного ШМ следует рассматривать только после решения потенциальных проблем безопасности. Следует избегать использования низких концентраций метана из-за риска взрывов.

## Диаграмма 9.10 Установка переработки МВС и электростанция «УэстВАМП», работающая на извлеченном метане



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

### Пример 9: Снижение риска взрывов на шахтах с камерно-столбовой системой разработки – Южная Африка

**Начальные условия.** В связи с ростом в данном горнодобывающем регионе количества случаев взрывов с тяжелыми последствиями на шахтах с мощными (4-6 м) угольными пластами с низкой газоносностью (0,5-2 м<sup>3</sup>/т), которые разрабатываются механизированным камерно-столбовым методом, возникла необходимость в принятии регуляторных и практических мер для снижения риска взрывов. Около 75% взрывов были инициированы на рабочей поверхности забоя или вблизи неё, причем основным источником возгорания было трение (Лэндман, 1992 год). Тот факт, что довольно значительное число взрывов происходит вне рабочей поверхности забоя,

свидетельствует о трудностях контроля метана в шахтах с камерно-столбовой системой разработки, в которых применяется проветривание горных выработок. Воздушный поток при камерно-столбовой системе разработки пластов отличается от воздушного потока при выемке угля длинными очистными забоями в связи с резким изменением напряженно-деформированного состояния массива в сопряжениях горных выработок..

Существенные риски, которые необходимо контролировать, создают скопления газов на высокопроизводительных участках с недостаточным проветриванием и опасность распространения пламени по невыявленным слоям метана под кровлей выработки (Таблица 9.5) (Криди и Филлипс, 1997 год).

**Таблица 9.5 Оценка риска воспламенения в результате образования в шахтах слоевых скоплений метана при камерно-столбовой системе разработки пластов**

Потенциальная опасность	Возможные причины опасности	Превентивные меры
Неспособность предотвратить возгорание	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Недостаточная или ненадежная вспомогательная вентиляция в выработках.</li> <li>• Недостатки в работе оборудования систем проветривания.</li> <li>• Изношенное горно-шахтное оборудование, засоренные распылители воды, низкое давление воды.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Использование рационально сконструированного и защищенного оборудования.</li> <li>• Высокие стандарты технического обслуживания.</li> <li>• Эффективный мониторинг.</li> </ul>
Неспособность устранить источники воспламенения	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Источники электрического и фрикционного воспламенения, связанные с комбайнами непрерывного действия.</li> <li>• Курение и другие запрещенные виды деятельности.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Строгость в вопросах профессиональной подготовки и надзор за работой персонала.</li> <li>• Осмотр рабочих перед спуском в шахту с целью недопущения проноса ими запрещенных к использованию на шахте предметов.</li> </ul>

Потенциальная опасность	Возможные причины опасности	Превентивные меры
Неспособность рассеять слоевые скопления метана	<ul style="list-style-type: none"> <li>Недостаточная производительность вентиляционной системы.</li> <li>Плохая организация местного проветривания.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Соблюдение процедур контроля метана.</li> <li>Наличие вентиляторов и другого подходящего оборудования.</li> </ul>
Неспособность выявить слоевые скопления метана	<ul style="list-style-type: none"> <li>Неправильный выбор мест мониторинга.</li> <li>Отсутствие подходящего оборудования для мониторинга.</li> <li>Плохая подготовка персонала.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Составление программ мониторинга для конкретных объектов.</li> <li>Отбор необходимых проб для мониторинга, в особенности для участков высоких штреков.</li> <li>Профессиональная подготовка персонала.</li> </ul>
Неспособность предотвратить образование слоевых скоплений метана	<ul style="list-style-type: none"> <li>Слишком низкие расходы воздуха для проветривания.</li> <li>Ненадежная вентиляция.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Планирование работы по проветриванию.</li> <li>Локально усиленное проветривание подкровельного пространства выработки.</li> </ul>
Неспособность предотвратить выбросы метана	<ul style="list-style-type: none"> <li>Выбросы метана являются естественным результатом подземной угледобычи.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Дегазация источников метановыделения.</li> </ul>

**Проблемы контроля газа.** Для проветривания забоев требуется применять дополнительную вентиляцию с подачей воздуха из вентиляционного штрека. На выемочных участках обычно насчитывается большое количество расположенных в шахматном порядке целиков и транспортных штреков, не все из которых могут быть эффективно проветриваемы из-за необходимости подачи огромных объемов воздуха и трудности обеспечения его равномерного распределения. Для того, чтобы основные потоки вентиляционного воздуха попадали в действующие забои, выработанные пространства изолируются временными перемычками; газ может накапливаться в замкнутых зонах позади забоя. В шахтах, где скопления воды и давление метана могут вызывать обрушения кровли, дополнительно к скважинам, пробуренным для анкерного крепления, бурятся дегазационные скважины.

Из некоторых из них медленно выделяется газ, который может образовывать обширные слоевые скопления метана и оставаться необнаруженным до тех пор, пока не будут взяты пробы в подкровельном пространстве, что нелегко сделать в высоких выработках.

**Решения.** Контроль газовой обстановки 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

угленосные породы кровли и почвы выработки при ведении работ существенным образом не нарушаются. В пластах с низкой газоносностью предварительная дегазация малоэффективна. Поэтому дегазация источников газовой выработки для данного района не является экономически целесообразной. По практическим соображениям требовалось улучшить вентиляцию.

В силу ограниченности имеющихся ресурсов воздуха нецелесообразно проводить проветривание выработанных пространств по тем же стандартам, что и очистных забоев. Поэтому основное внимание было направлено на введение эффективных графиков мониторинга, ориентированного на обнаружение газа в кровле выработки и контроль воздухораспределения в общей сети выработок камерно-столбовой системы, в которой объем подаваемого для проветривания воздуха был уменьшен до изоляции выработанных пространств.

Областью наибольшего риска считалось призабойное пространство действующих забоев, для которых правительственным регулирующим органом (Департаментом по вопросам минеральных и энергетических ресурсов, 1994 год) был разработан свод норм проветривания механизированных участков. Основным было правило, согласно которому концентрация воспламеняемого газа должна

быть меньше 1,4%, и для обеспечения этого были рекомендованы следующие меры:

- минимальная скорость воздуха в вентиляционном штреке должна составлять не менее 1,0 м/сек (на многих шахтах установлен постоянно действующий дистанционный датчик скорости потока воздуха проветривания с);
- применять эффективное вспомогательное проветривание в выработках (вторичное проветривание);
- регулярно измерять и регистрировать важнейшие параметры проветривания;
- проводить инспекционные проверки газообильных участков через интервалы времени, не превышающие один час;
- обеспечить автоматическое отключение подачи электроэнергии горно-шахтному оборудованию при остановке функционирования системы вторичного проветривания;
- соблюдать повышенную осторожность при приближении к выбросоопасным зонам, связанным с магматической интрузией и геологическими нарушениями;
- проводить постоянный мониторинг газовыделения в очистном забое;
- в настоящее время на горно-шахтное оборудование в шахтах со сплошной выемкой в обязательном порядке устанавливаются автономные системы пылеподавления

*Пример 10: Взрывы газа на угольной шахте «Пайк-Ривер» – Новая Зеландия*

**Начальные условия.** Угольная шахта «Пайк-Ривер» расположена в 46 км к северу-северо-востоку от г.Греймут на западном побережье Южного острова (Новая Зеландия). Возведение наземных построек, монтаж установок и инфраструктура были в основном завершены и даже отмечены наградой в области охраны окружающей среды за экологичную конструкцию и реализацию принципов щадящего воздействия на окружающую среду (Диаграмма 9.11).

Совсем иная ситуация была под землей. Условия подземной разработки были сложными, в первую очередь из-за непредвиденных горно-геологических условий, что приводило к серьезным задержкам при подготовке шахтного поля.

Руководство шахты испытывало давление, побуждающее начать добычу угля, несмотря на общую неподготовленность объекта. Затраты оказались выше запланированных объемов, и финансовые резервы быстро сокращались. Чтобы началось поступление крайне необходимых доходов, был сформирован очистной забой и начата пробная добыча угля, при которой применялся гидравлический способ добычи. Вентилятор главного проветривания был установлен в шахте вблизи вентиляционного ствола. Ствол был неустойчивым и не мог выполнять функции резервного пути эвакуации людей в случае аварийной ситуации в шахте. Единственный надежный маршрут для входа и выхода из нее пролегал через 3-километровую выработку.

Газ не рассматривался в качестве потенциального источника опасности. В ходе геологоразведки и строительства шахты не было получено систематизированных данных, характеризующих газоносность и газовыделение угольного месторождения. Только когда газ стал источником проблем, была сделана спешная попытка взять ситуацию под контроль. Кроме того, часть электрооборудования в шахте не была предназначена для работы во взрывоопасной среде, к тому же это оборудование было установлено с нарушением стандартов взрывозащиты шахт.

Корпорация не проявила ответственного отношения к соблюдению требований охраны труда и безопасности. Совет директоров не принимал активного участия в управлении вопросами охраны труда и безопасности, полагаясь на директора шахты по всем вопросам оперативной деятельности и обеспечения безопасности. Несмотря на то, что на шахте был комитет по технике безопасности и функционировала служба техники безопасности с руководителем во главе – оба этих органа были неэффективными. На шахте было проведено исследование сторонней организацией, которое выявило основные проблемы безопасности, но ни собственники, ни директор шахты не предприняли никаких действий по устранению выявленных недостатков. В шахте неоднократно отмечались концентрации газа в диапазоне взрывоопасности, однако никаких действий в этой связи не предпринималось. Из-за непрофессионального управления на шахте наблюдалась высокая текучесть кадров, вследствие чего организацией горных работ занимались неопытные сотрудники и подрядчики.



В стране произошло реформирование регуляторной системы, в результате чего был ликвидирован действовавший ранее строгий независимый надзор за охраной труда и соблюдением норм безопасности на шахтах по всей стране. Правительство реструктурировало государственную службу горнотехнической инспекции, и в вопросах безопасности стало больше опираться на руководство шахт, предоставив им возможность самостоятельно регулировать свою деятельность. В связи с тем, что рабочая нагрузка инспекторов была очень высокой, а

квалифицированных горных инспекторов было крайне мало, инспекционные проверки шахты проводились редко, а контроль за соблюдением регуляторных норм был слабым.

**Проблема:** 19 ноября 2010 года на шахте произошел взрыв. В последующие дни произошли еще три взрыва, и возник пожар (Диаграмма 9.12), после чего в шахте была создана инертная атмосфера и шахта была законсервирована. Погибли 29 шахтеров.

### Диаграмма 9.11 Наземные установки отражают экологическую чувствительность территории, на которой постройки находятся непосредственно в лесу



### Диаграмма 9.12 Пожар в воздуховыдающем стволе шахты после третьего взрыва



На поверхности о взрыве узнали не сразу, так как аварийные сигналы в диспетчерской были проигнорированы, и аварийные службы были вызваны только через 40 минут после взрыва. Два оставшихся в живых шахтера вышли на поверхность шахты через 101 минуту после события, и их никто не встречал.

На полицию была возложена ответственность за реагирование в случае чрезвычайной ситуации, но ее сотрудники не имели опыта работы по устранению последствий аварийных ситуаций в угледобывающей отрасли. На шахте не проводилось учений по действиям в чрезвычайных ситуациях, и не было организовано получение информации из горных выработок, необходимой для правильной оценки ситуации. В связи с тем, что было невозможно установить существующие риски в горных выработках, горноспасательной службе не выдавалось разрешение на спуск в шахту.

Семьи шахтеров и вся община были потрясены случившейся трагедией. Община оказала большую поддержку пострадавшим семьям; в то же время бездействие властей вызывало раздражение и недовольство людей. Семьи просили разрешить доступ в шахту, когда ситуация будет безопасной, чтобы вынести на поверхность тела своих близких. Несмотря на то, что горные инженеры, консультировавшие семьи по техническим вопросам, полагали, что безопасный спуск в закрытую шахту возможен, национальная горнодобывающая компания, которой в конечном итоге была передована шахта после краха компании «Пайк ривер коул лтд.», отказалась удовлетворить эту просьбу.

**Решение:** Было необходимо предпринять меры, чтобы не допустить повторения такой трагедии в будущем. Коренные причины аварии были связаны не только с ситуацией, сложившейся на шахте.

Была создана Королевская комиссия, чтобы выявить причины взрывов и человеческих жертв, оценить эффективность поисково-спасательной операции, определить адекватность нормативно-правовой базы и ее реализации, и на основе результатов данной аналитической работы составить отчет.

Комиссия пришла к выводу, что реагирование на рассматриваемое чрезвычайное происшествие было неудовлетворительным, о чем свидетельствуют следующие факты:

- неоперативное реагирование руководства шахты на инцидент и задержка с подтверждением факта происшествия и представлением информации о взрыве;
- процедуры, регламентирующие действия в чрезвычайных ситуациях, не были содержательными, и по ним не проходили учения;
- ответственность за контроль над ситуацией, связанной с инцидентом, была возложена на полицию, но сотрудники полиции не были подготовлены к такому контролю и не обладали необходимой для этого квалификацией;
- в отсутствие профессионального экспертного руководства и координации действий нельзя было предпринимать попытки безопасного спуска в шахту;
- информирование семей жертв было неудовлетворительным, и семьи были огорчены непринятием мер по извлечению из шахты тел погибших шахтеров.

Имелся целый ряд возможных прямых причин взрывов, поскольку были возможны самые различные варианты контактов выбросов и скоплений газа с потенциальными источниками воспламенения, в том числе с незащищенным электрооборудованием. Формированию на шахте взрывоопасной неуправляемой рабочей среды способствовали следующие факторы:

- финансовые трудности, вызванные задержками в подготовке шахтного поля в силу горно-геологических проблем, которые подтолкнули руководство к принятию решения о начале приносящей доход добычи угля до завершения формирования инфраструктуры шахты и надлежащего решения вопросов безопасности;
- недостаточные проветривание и дегазация;
- нехватка опытного персонала для работ в подземных горных выработках шахты;
- отсутствие эффективного участия работников шахты в решении вопросов охраны труда и безопасности.
- бездействие руководства шахты, несмотря на неоднократные предупреждения относительно наличия опасно высоких концентраций газа;

- неэффективная организация корпоративного надзора за соблюдением действующих норм охраны и безопасности труда;
- неэффективное государственное законодательство в области безопасности шахт и недостаточный контроль за соблюдением этого законодательства.

5 ноября 2012 года Королевская комиссия опубликовала свой доклад, в котором были сформулированы 16 основных рекомендаций, в том числе следующие:

- необходимо внести существенные изменения в законодательство Новой Зеландии в области охраны и безопасности труда и обеспечить надлежащее администрирование и контроль за соблюдением этого законодательства;
- практики корпоративного управления должны быть улучшены таким образом, чтобы в соответствующих организациях были обеспечены более эффективное управление рисками и контроль за соблюдением требований охраны труда и безопасности;
- руководителям шахт следует принять и внедрить на объектах наилучшие практики контроля за газовыделением (был отмечен данный документ ЕЭК ООН);
- следует обеспечить участие работников в решении вопросов, касающихся охраны здоровья и повышения безопасности труда, в целях создания дополнительного уровня защиты в этой области.

**Обобщение полученного практического опыта:**

На данном примере продемонстрирована важность эффективной, целеполагающей нормативно-правовой базы, соблюдение которой должно обеспечиваться опытными профессионалами в горнодобывающей отрасли посредством инспекций и надзора. Необходимо обеспечивать независимый контроль за деятельностью руководства по обеспечению угледобычи и получению дохода в трудных ситуациях. Главную ответственность за организацию надзора за обеспечением охраны труда и за соблюдением правил техники безопасности должен нести Совет директоров шахты. Последовавшее за взрывом закрытие угольной шахты «Пайк-Ривер» и банкротство соответствующей компании служат яркой иллюстрацией того факта, что аварии могут вызывать очень тяжелые последствия и что эффективное управление газовыделением является абсолютной необходимостью на газообильных угольных шахтах.





## Приложение 1. Сравнение методов дегазации источников газовыделения (адаптировано из источника Creedy, D. P. (2001))

Метод	Описание	Достоинства	Недостатки
<b>Предварительная дегазация с использованием пробуренных с поверхности вертикальных скважин</b>	Этот метод предполагает разрыв одного или нескольких угольных пластов путем использования находящихся под высоким давлением жидкостей, которые закачиваются в пробуренную с поверхности вертикальную скважину. При этом образуются трещины, которые сохраняются открытыми путем нагнетания в них наполнителей. Таким образом, газ и жидкость, могут перемещаться в угольном пласте к скважине без препятственно. Используются и другие методы заканчивания, такие как формирование кавитационных полостей в угольных пластах высокой проницаемости.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Газ отводится до начала горных работ.</li> <li>Как правило, извлекается газ с высокой концентрацией чистоты, пригодный для коммерческого использования.</li> <li>Отвод газа не связан с проведением подземных горных работ.</li> <li>Разработка угольного пласта, подверженного гидроразрыву, обычно не оказывает негативного воздействия на состояние кровли выработки.</li> <li>Наличие потенциальных возможностей преобразования в скважины для обслуживания выработанных пространств после завершения горных работ.</li> <li>Имеется возможность сокращения выбросов метана в атмосферу (и сокращения выбросов парниковых газов) из источников, связанных с угольной шахтой.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Высокая стоимость работ.</li> <li>Необходимо наличие поверхностных газосборных трубопроводов для утилизации метана.</li> <li>Сложности при организации работ на поверхности шахты, связанные с проблемами собственности, доступа и негативного визуального эффекта.</li> <li>Удаление засоленных вод, иногда появляющихся в результате бурения.</li> <li>Проницаемость глубоко залегающих пластов может быть слишком низкой.</li> <li>Запраты, связанные с бурением, могут быть слишком высокими в случае глубоко залегающих угольных пластов.</li> <li>Угольные пласты должны иметь высокую проницаемость естественных трещин.</li> <li>Трудности координации работ по предварительной дегазации с планом горных работ.</li> <li>Проектирование завершения скважин представляет собой специализированную задачу.</li> </ul>
<b>Предварительная дегазация с использованием горизонтальных пластовых скважин</b>	Бурение протяженных скважин ведется из подземных горных выработок либо околовольных дворов в планируемые к отработке угольные пласты, газ извлекается в течение длительного времени с тем, чтобы сократить поступление газа в будущем в подготовительные выработки и очистные заботы.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Газ отводится до начала горных работ.</li> <li>Извлекается газ с высокой концентрацией, подходящей для утилизации.</li> <li>Дегазация не зависит от операций по выемке угля.</li> <li>Этот метод является менее дорогостоящим, чем бурение вертикальных скважин с поверхности.</li> <li>Применим в глубоких шахтах при условии достаточной проницаемости угольного пласта.</li> <li>Может снизить риск внезапных выбросов в склонных к ним пластах.</li> <li>Этот метод допускает высокопроизводительную добычу угля на газообильных выемочных участках.</li> <li>Этот метод позволяет отводить газ, который не может быть каптирован при текущей дегазации.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Скважины необходимо бурить до начала горных работ.</li> <li>Для достижения существенного сокращения газоносности пласта в течение разумного периода времени соответствующий угольный пласт должен иметь умеренную или высокую природную проницаемость.</li> <li>Обеспечивается снижение газоносности рабочего пласта, но при этом не дегазирются пласты-спутника, попадающие в будущем в зону влияния очистных работ.</li> <li>В некоторых местах расположения пластов могут возникнуть проблемы, связанные с выбросами воды, стабильностью скважин и обеспечением направленности бурения.</li> <li>Требуется профессионально подготовленная группа специалистов по бурению в условиях присутствия рудничного газа.</li> </ul>

Метод	Описание	Достоинства	Недостатки
<p><b>Предварительная дегазация с направленным бурением с поверхности в пласт</b></p>	<p>Проводится бурение вертикальной или наклонной скважины, из которой производится бурение направленных скважин до соответствующего пласта или пластов протяженностью до 1000 и более метров. Используются различные сложные схемы бурения с внутрипластового бурения с тем, чтобы достичь максимально высоких результатов, и самими затратноэффективными являются схемы, в которых учитываются направления внутрипластовых напряжений.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Газ извлекается до начала выемки угля.</li> <li>Извлекается газ с высокой концентрацией, подходящей для утилизации.</li> <li>Дегазация не зависит от операций по выемке угля.</li> <li>Более эффективное извлечение газа, чем при использовании вертикальных скважин с гидроразрывом пласта.</li> <li>Потенциальные возможности повторного использования скважин в пластах, находящихся над выработками, для проведения текущей дегазации.</li> <li>Гибкое расположение мест проведения бурения, не ограничиваемое застройками на поверхности шахты.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Высокие издержки.</li> <li>Не все угольные пласты поддаются бурению.</li> <li>Для поддержания эффективности результатов требуются системы отвода воды.</li> <li>Метод применим только при умеренной проницаемости угля.</li> <li>Сложности исправления повреждений в скважинах.</li> <li>Требуются специальные бурильные и профессиональные бурильщики.</li> </ul>
<p><b>Профилактическая предварительная дегазация с использованием коротких скважин в кровле выработок</b></p>	<p>Проводится бурение коротких вертикальных скважин в породах кровли в горных выработках для обеспечения контроля за выбросами рудничного газа из небольших трещин в песчаных породах кровли. Газ может выделяться из угольного пласта, находящегося над разупрочненными породами и сопряженного с ними, либо он может естественным образом находиться в песчанике. В некоторых случаях проводится бурение скважин под малым углом в кровле перед забоем для высвобождения газа до начала выемки угля, с целью снижения риска фрикционного воспламенения в механизированных забоях.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Недорогой метод снижения риска фрикционного воспламенения и ограничения выбросов рудничного газа.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Слабые притоки газа.</li> <li>При необходимости приходится обеспечивать подсоединение системы дегазации источников рудничного газа.</li> </ul>

Метод	Описание	Достоинства	Недостатки
<p><b>Текущая дегазация с использованием скважин, пробуренных в крест простирания</b></p>	<p>Проводится бурение скважин под углом выше или ниже выработанного пространства из вентиляционного штрека с их последующим подсоединением к подземному дегазационному трубопроводу. В некоторых шахтах, где применяется выемка угля длинными очистными забоями обратным ходом, скважины, пробуренные позади забоя, обеспечивают более эффективную дегазацию, в сравнении со скважинами, предварительно пробуренными перед забоем. Вместе с тем, в отдельных случаях сложно обеспечивать постоянный доступ из пространства за пределами забоев при выемке обратным ходом.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Вполне возможно обеспечить высокие показатели каптажа газа при продвижении забоя лавы.</li> <li>• Этот метод весьма практичен для выработок с глубоко залегающими угольными пластами.</li> <li>• Короткие дистанции бурения до первичного газоисточника.</li> <li>• Газ может извлекаться и отводиться по трубопроводу в фиксированное место сбора газа на поверхности для коммерческого использования или утилизации по месту расположения шахты.</li> <li>• Метод эффективен в угольных пластах с низкой проницаемостью.</li> <li>• Скважины, пробуренные в почву пласта, могут снизить риск внезапных выбросов газа в склонных к этому угольных пластах.</li> <li>• Гибкая и легко изменяемая схема бурения.</li> <li>• Самый малозатратный из всех способов дегазации.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Трудно поддерживать высокую эффективность каптажа газа при разработке обратным ходом.</li> <li>• Для достижения максимальной эффективности необходимо проводить бурение за забоем с разработкой обратным ходом.</li> <li>• Продуктивная жизнь скважин в целом весьма непродолжительна.</li> <li>• В результате того, что вентиляционный воздух проникает в систему извлечения газа через разрывы пород, образовавшиеся вследствие горных работ, получается газ средней и низкой чистоты.</li> <li>• Требуется весьма подготовленный персонал для проведения подземного бурения.</li> <li>• Необходимость в наличии подземной трубопроводной инфраструктуры с выходом на поверхность или в безопасное место сброса в вентиляционной выработке с исходящей струей.</li> </ul>
<p><b>Текущая дегазация с использованием скважин выработанного пространства</b></p>	<p>Производятся бурение и обсадка дегазационной скважины, которая располагается на небольшом расстоянии от подлежащего разработке пласта. В нижней обсадной части скважины, как правило, прорезаются щелевидные окна. В некоторых случаях проводятся бурение и обсадка скважины до отметки, располагающейся на расстоянии 30 м выше пласта, из которой затем бурится скважина меньшего диаметра в рабочий угольный пласт до начала либо по окончании работы очистного забоя. Безопасный и надежный метод размещения скважины предусматривает ее бурение в рабочий пласт, а затем цементирование ее нижней части (30 м). Скважины, как правило, располагаются ближе к вентиляционному штреку.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Операции по дегазации проводятся независимо от подземных работ.</li> <li>• Этот метод позволяет отводить существенные потоки рудничного газа из выработанных пространств лавы.</li> <li>• Хорошо проверенный, эффективный с точки зрения затрат метод, используемый при небольших и умеренных глубинах залегания.</li> <li>• Часто можно получить газ с умеренно-высокой концентрацией. Продуктивное функционирование скважин может обеспечиваться в течение нескольких месяцев.</li> <li>• Позволяет гибко реагировать на изменения в планах ведения горных работ.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Из-за горнотехнических проблем возможен выход из строя скважин, пробуренных в выработанное пространство.</li> <li>• Для глубоко залегающих угольных пластов этот метод является дорогостоящим.</li> <li>• Существует риск затопления в тех случаях, когда над разрабатываемым угольным пластом находятся водные горизонты.</li> <li>• Не обеспечивается прямая дегазация нижележащих пластов-спутников, находящихся в подошве выработок.</li> <li>• Чтобы предотвратить утечку вентиляционного воздуха на поверхность, скважины в выработанных пространствах не могут использоваться до тех пор, пока забой не продвинется от них на определенное расстояние.</li> <li>• Сбор газа для его последующего использования требует наличия дорогостоящей трубопроводной инфраструктуры на поверхности шахты.</li> <li>• Этот метод может применяться только в тех случаях, когда отсутствуют ограничения на доступ с поверхности.</li> <li>• Возможны каптация и вывод через систему газа, превышающего объем, который мог бы высвободиться в горные выработки.</li> </ul>



Метод	Описание	Достоинства	Недостатки
<p><b>Текущая дегазация с использованием горизонтальных протяженных направленных скважин, пробуренных выше или ниже разрабатываемого пласта</b></p>	<p>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 выемочного поля. Если на соответствующем горизонте нет места для размещения бурового оборудования, то скважина бурится на требуемый уровень с отработанного горизонта.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Этот метод может быть использован в режиме предварительной дегазации до начала ведения горных работ.</li> <li>• Потенциально более высокая эффективность каптажа, чем при бурении скважин вкрест простирания.</li> <li>• Работы по дегазации проводятся независимо от очистных работ.</li> <li>• Может быть получен газ с высокой концентрацией.</li> <li>• Каптирование газа из зоны, близкой к местам первоначального выделения вблизи границы очистного забоя.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Направленное бурение является относительно дорогостоящим.</li> <li>• Могут возникнуть проблемы при пучении пород и в случае мягких углей.</li> <li>• Восстановление разрушенных или поврежденных скважин сопряжено с трудностями.</li> <li>• Отсутствие гибкости в случае изменений в горных работах.</li> <li>• Этот метод зависит от точности и скорости бурильных работ, необходимых для создания удовлетворительно функционирующей системы до начала добычи угля.</li> <li>• Необходимы специалисты по подземному бурению и специальное оборудование.</li> </ul>
<p><b>Текущая дегазация с помощью вышележащих или нижележащих газодренажных выработок</b></p>	<p>Выше или ниже разрабатываемого пласта до начала очистных работ проводится газодренажный штрек. Затем обеспечивается его подсоединение к дегазационной системе с помощью трубопровода, проходящего через противопожарную шахтную переемычку. Зона влияния газодренажной выработки может быть расширена путем бурения из нее скважин до ее изоляции.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Может дополняться бурением скважин вкрест простирания из газодренажной выработки.</li> <li>• Потенциально более высокая эффективность дегазации, по сравнению со скважинами, пробуренными вкрест простирания от разрабатываемого горизонта.</li> <li>• Работы по дегазации проводятся независимо от работ по добыче угля.</li> <li>• В целях сокращения затрат в некоторых случаях можно использовать действующие или старые горные выработки, находящиеся выше или ниже планируемого выемочного участка.</li> <li>• Как правило, можно получить газ с достаточно высокой концентрацией.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Обеспечение доступа из разрабатываемого пласта в газодренажную выработку сопряжено с большими расходами.</li> <li>• Существует риск возникновения пожара в угольных пластах, склонных к самовозгоранию, в результате утечек вентиляционного воздуха.</li> <li>• Этот метод является дорогостоящим, если не применяется в достаточно мощном угольном пласте.</li> <li>• Отсутствие гибкости в случае изменений в горных работах.</li> <li>• Может быть неэффективным в тех случаях, когда между газодренажной выработкой и длинным очистным забоем залегает мощная свита пластов.</li> </ul>
<p><b>Текущая дегазация с использованием направленного бурения с поверхности в пласт</b></p>	<p>Относительно новый способ применения известной технологии направленного бурения скважин с поверхности в пласты, расположенные над разрабатываемым пластом, с достижением при этом конфигурации, схожей с конфигурацией, создаваемой при направленном бурении из подземных выработок для проведения текущей дегазации.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Не требуется доступа к подземному пространству.</li> <li>• В принципе возможна реализация путем повторного использования скважин, пробуренных для предварительной дегазации с поверхности в пласт.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Высокие издержки.</li> <li>• Повторно используемые скважины для предварительной дегазации могут быть повреждены в ходе горных работ.</li> <li>• Не устраняет необходимости наличия подземных скважин, пробуренных вкрест простирания вблизи забоя для обеспечения эффективного контроля за газовой обстановкой.</li> </ul>

Метод	Описание	Достоинства	Недостатки
<p><b>Текущая дегазация из камер или трубопроводов в выработанных пространствах лавы</b></p>	<p>В выработанном пространстве за забоем сооружается камера, которая через изоляционные перемишки соединяется с системой дегазации. Возможен также вариант, при котором дренажная труба с открытым концом в зоне начала забоя продлевается по мере продвижения разработки обратным ходом.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Снижает концентрации метана в исходящей вентиляционной струе при отработке угольного пласта длинным очистным забоем обратным ходом.</li> <li>Обеспечивает снижение объема газа, поступающего на выемочный участок.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Может привести к каптажу и передаче воспламеняющихся газовых смесей, создавая неприемлемую опасность для шахтеров.</li> <li>Необходимо наличие значительных мощностей для дегазации источников метановыделения ввиду низкой концентрации каптируемого газа, что приводит к низкой эффективности использования оборудования.</li> <li>Низкая эффективность дегазации.</li> <li>Малый объем извлекаемого газа.</li> </ul>
<p><b>Текущая дегазация из квершлагов в выработанное пространство лавы (вариант вышеприведенного метода)</b></p>	<p>Квершлаг прокладываются от параллельного штрека вдоль выемочного поля для изоляции выработанного пространства. Система дегазации подсоединяется к трубопроводу через изоляционную перемишку, сооруженную в квершлаге.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>В некоторых случаях может снизить необходимость в бурении скважин вкрест простирания для каптирования шахтного метана.</li> <li>Работы по дегазации не зависят от очистных работ.</li> <li>Снижает концентрации метана в исходящей вентиляционной струе из длинного очистного забоя.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Может привести к каптажу и передаче воспламеняющихся газовых смесей, что создает неприемлемую опасность для шахтеров.</li> <li>Ввиду низкой чистоты каптируемого газа необходимо наличие больших мощностей для дегазации источников метановыделения.</li> <li>Эффективность каптажа газа, как правило, низкая.</li> <li>Может применяться только в тех случаях, когда есть подходящие выработки для проведения квершлагов к выработанному пространству.</li> <li>Изддержки на сооружение дополнительного квершлага.</li> </ul>

## Справочные материалы

- Belle, B. (2016). *Underground Mine Ventilation Air Methane (VAM) Monitoring-An Australian Journey towards Achieving 'Accuracy'*. Anglo American Coal, Australia
- 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.
- California Air Resources Board (2014). *Compliance Offset Protocol Mine Methane Capture Projects Capturing and Destroying Methane From U.S. Coal and Trona Mines*. Adopted April 25, 2014. Sacramento, California USA.
- 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.D. (1997, April). *Gas Control in Underground Coal Mines: IEA Coal Research*. International Energy Agency (IEA) CR/91, pp. 120. London: The Clean Coal Centre.
- Creedy, D.P., Lunarzewski, L. (2001). *Gas Drainage Management System for Modern Coal Mines*. Seventh International Mine Ventilation Congress. Krakow, Poland, 17-22 June.
- 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.
- Department of Mineral Resources, NSW. (1995). Outburst Mining Guideline. Coal Mining Inspectorate and Engineering Branch, MDG No. 1004.
- 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 Utilisation in China: Formal Report 326/07*. p. 109. Washington, D.C. The International Bank for Reconstruction and Development (IBRD)/WORLD BANK Energy Sector Management Assistance Program (ESMAP).
- Gaskell, P. (1989). *A Study of Sub-Surface Strata Movement Associated with Longwall Mining*. PhD. Thesis. University of Nottingham.
- GMI (2015). International Coal Mine Methane Projects Database. Global Methane Initiative. Washington, D.C. USA. [www.methanetomarkets.org](http://www.methanetomarkets.org)
- IEA (2014). *Medium-Term Coal Market Report 2014*. Paris, France: International Energy Agency (IEA).
- IEA (2015a). *2015 Key World Energy Statistics*. Paris, France: International Energy Agency (IEA).
- IEA (2015b). *Medium-Term Coal Market Report 2015*. Paris, France: International Energy Agency (IEA). December 18, 2015.
- ILO (2006). *Code of Practice on Safety & Health in Underground Coal Mines*. Geneva, Switzerland. International Labour Organisation.

- IPCC 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. (ILO).
- 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.
- Lama, R. D. (1995). Safe gas content threshold value for safety against outbursts in the mining of the Bulli seam. Int. Symp. cum Workshop on Management & Control of High Gas Emission & Outbursts Wollongong, 20-24 March 1995.
- Landman, G v R. (1992). *Ignition and initiation of coal mine explosions*. PhD. Thesis, University of the Witwatersrand, p. 252.
- Marshall, James S., et al (2011), "Surface Mine Methane Emissions and Project Opportunities", Power Point Slides, presented at the Global Methane Initiative All-Partnership Meeting 12-14 October 2011, Park Inn, Krakow, Poland Retrieved from: [https://www.globalmethane.org/documents/events\\_coal\\_101411\\_tech\\_marshall.pdf](https://www.globalmethane.org/documents/events_coal_101411_tech_marshall.pdf)
- 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 Utilisation 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.
- USEPA (2012). *Global Anthropogenic Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gas Emissions: 1990 – 2030*. USEPA 430-S-12-002. Washington, DC, USA. December 2012.
- [www.USEPA.gov/climatechange/USEPAactivities/economics/nonco2projections.html](http://www.USEPA.gov/climatechange/USEPAactivities/economics/nonco2projections.html)
- USEPA (2006a). *Global Anthropogenic Emissions of Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases: 1990-2020*. USEPA-430-R-06-003. Washington, D.C., USA.
- USEPA (2006b). *Global Mitigation of Non-CO<sub>2</sub> Greenhouse Gases*. USEPA-430-R-06-005. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- USEPA (2004). *Methane Emissions from Abandoned Coal Mines in the United States: Emission Inventory Methodology and 1990-2002 Emission Estimates*. Washington, D.C., USA. April 2004
- von Schoenfeldt, H. (2008, January). "Advanced CMM and CBM Extraction Technologies." CBM Conference. Singapore.
- WCA (2014). *Coal Facts 2014*. World Coal Association. September 2014. London, United Kingdom.

## 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 21<sup>st</sup> 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.
- Lunarzewski, L.W. (1998). Gas Emission Prediction and Recovery in Underground Coal Mines. *Int. Journ. of Coal Geology 35*, pp. 117 – 145, Amsterdam: Elsevier.
- Lunarzewski, L., Creedy D.P. (2006). *Australian Decommissioned Mines Gas Prediction*. ACARP 2005 Project C14080 Newcastle, Australia, September 18.
- 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 6<sup>th</sup> Int. Mine Vent. Congr.* pp. 415 – 422. Pittsburgh, PA (U.S.).
- USEPA (2003, July). *Assessment of the Worldwide Market Potential for Oxidizing Coal Mine Ventilation Air Methane*. USEPA-430-R-03-002. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency. [www.USEPA.gov/cmop/resources/index.html](http://www.USEPA.gov/cmop/resources/index.html)
- USEPA (2009, July). *Coal Mine Methane Finance Guide*. USEPA-400-D-09-001. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- USEPA (2009, July). *Coal Mine Methane Recovery: A Primer*. USEPA-430-R-09-013. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- USEPA (2008, January). *Upgrading Drained Coal Mine Methane to Pipeline Quality: A Report on the Commercial Status of System Suppliers*. USEPA-430-R-08-004. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency.
- Xu, T., Tang, C.A., Yang, T.H., Zhu, W.C & Liu, J. (2006). *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 43* (2006) 905–919

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

Information Service  
United Nations Economic Commission for Europe

Palais des Nations  
CH - 1211 Geneva 10, Switzerland  
Telephone: +41(0)22 917 44 44  
E-mail: [info.ece@unece.org](mailto:info.ece@unece.org)  
Website: <http://www.unece.org>