

**Руководство по наилучшей практике
эффективного извлечения и утилизации метана
на выведенных из эксплуатации угольных шахтах**



СЕРИЯ ПУБЛИКАЦИЙ ЕЭК ПО ЭНЕРГЕТИКЕ



ЕВРОПЕЙСКАЯ ЭКОНОМИЧЕСКАЯ КОМИССИЯ
ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

**Руководство по наилучшей
практике эффективного
извлечения и утилизации метана
на выведенных из эксплуатации
угольных шахтах**

**СЕРИЯ ПУБЛИКАЦИЙ ЕЭК
ПО ЭНЕРГЕТИКЕ, № 64**



ОРГАНИЗАЦИЯ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ

ЖЕНЕВА, 2020 год

Авторские права © Организация Объединенных Наций, 2020 год
Все права защищены во всем мире

Запросы на воспроизведение фрагментов публикации или на ее фотокопирование следует направлять в Центр по проверке авторских прав по адресу copyright.com.

Все остальные вопросы, касающиеся прав и разрешений, в том числе производных авторских прав, следует направлять по адресу: United Nations Publications, 405 East 42nd St, S-09FW001, New York, NY 10017, United States of America. Электронная почта: permissions@un.org; веб-сайт: <https://shop.un.org>.

Выводы, толкования и заключения, изложенные в настоящей публикации, принадлежат ее автору(ам) и не обязательно отражают мнения Организации Объединенных Наций или ее должностных лиц или государств-членов.

Использованные на любой карте в этой работе определения и представленный материал не предполагают выражения какого-либо мнения со стороны Организации Объединенных Наций относительно правового статуса страны, территории, города или района, или их органов власти или относительно делимитации их границ.

Настоящая публикация издана на английском, испанском, китайском и русском языках.

Публикация Организации Объединенных Наций, выпущенная Европейской экономической комиссией Организации Объединенных Наций.

Источники фотографий: обложка, INFINIS, площадка в Блесторфе
стр. 13, рис. 2.4, D. Creedy, K. Garner, Coal Mine Methane Extraction and Utilisation from Abandoned Coal Mines Workshop, UK-China Cleaner Coal Technology Transfer, UK Department of Trade and Industry, 21 May 2002, Beijing;
стр. 49, рис. 9.2, Mingas-Power GmbH;
стр. 52, рис. 9.4, N. Butler, HEL-Ease Ltd.;
стр. 53, рис. 9.5, N. Butler, HEL-Ease Ltd.;
стр. 54, рис. 9.6, N. Butler, HEL-Ease Ltd.;
стр. 61, рис. 9.9, M. Coté, Coal Mine Methane in Colorado Market Research Report 2016.

ECE/ENERGY/128

ИЗДАНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ ОБЪЕДИНЕННЫХ НАЦИЙ
eISBN: 978-92-1-004495-0
ISSN: 1014-9112
eISSN: 2412-0952

ПРЕДИСЛОВИЕ

Уголь по-прежнему занимает центральное место в структуре энергетического баланса многих стран. По мере наращивания добычи запасы угля неизбежно истощаются, а шахты закрываются и выводятся из эксплуатации. В течение многих лет после закрытия выведенные из эксплуатации шахты остаются источником выбросов метана, которые во многих угледобывающих регионах по-прежнему остаются неконтролируемыми и неучтенными.

Метан является мощным парниковым газом (ПГ) и, как показали последние исследования, оказывает значительно большее воздействие на атмосферу, чем это считалось первоначально. Угольные шахты занимают четвертое место среди крупнейших источников антропогенных выбросов метана после нефтяного и газового секторов, свалок и животноводства. Технологические достижения позволили значительно сократить выбросы метана даже на самых газообильных действующих шахтах. Закрытые шахты обладают небольшим, но значимым потенциалом эксплуатации экологически чистого источника энергии, известного как метан закрытых шахт (МЗШ), который может добываться и использоваться. Каптирование и утилизация МЗШ обеспечивают множество выгод, в частности позволяют повысить уровень безопасности, качество воздуха и улучшить показатели в таких областях, как состояние здоровья населения, энергоснабжение и охрана окружающей среды. Существует технология, позволяющая извлекать метан на выведенных из эксплуатации угольных шахтах.

Настоящий документ, содержащий доступные рекомендации высокого уровня для руководителей высшего звена, ответственных за принятие корпоративных, государственных и финансовых решений в отношении внедрения передовых практик, призван повысить осведомленность о связанных с МЗШ возможностях и опасностях. Рекомендуемые принципы и стандарты по каптажу и утилизации метана угольных шахт (ШМ) уже изложены в Руководстве по наилучшей практике эффективной дегазации источников метановыделения и утилизации метана на угольных шахтах. Настоящий документ, в котором рассматриваются вопросы, касающиеся завершающего этапа цикла угледобычи, призван обеспечить учет выбросов метана, которые продолжатся после прекращения добычи и закрытия шахт, и служит дополнением к этому руководству.

Руководство по наилучшей практике по МЗШ не заменяет и не отменяет законы и нормативные акты или другие юридически обязывающие документы, будь то национального или международного уровня. Четкая законодательная основа и политика поддержки могут быть полезны в деятельности по выведению метана на рынок. Излагаемые в настоящем документе принципы призваны служить руководством, дополняющим существующую нормативно-правовую базу, и подспорьем при разработке проектов, реализуемых после прекращения добывающей деятельности и направленных на сокращение в целом выбросов, характерных для жизненного цикла угледобычи, посредством оптимизации извлечения и утилизации метана, которые в противном случае поступали бы в атмосферу. Для достижения более глубокого понимания проблематики потенциального роста этих выбросов государствам – членам ЕЭК ООН и Глобальной инициативы по метану настоятельно рекомендуется изучить возможности расширения своих знаний о масштабах и темпах роста этого источника выбросов путем включения выбросов метана на выведенных из эксплуатации подземных угольных шахтах в свои национальные кадастры.

Под руководством Группы экспертов по шахтному метану такие страны, как Польша и Китай, создали международные центры передового опыта по ШМ (ЦПО-ШМ) в целях содействия внедрению передовой практики в области извлечения и утилизации ШМ. Эти центры располагают возможностями для распространения передовой практики в области МЗШ в странах, где они созданы. Надеемся, что аналогичные учреждения или организации, отвечающие за управление закрытием шахт и МЗШ в других странах, найдут это руководство практически применимым и содержательным для изучения вариантов использования ресурсов МЗШ.



Ольга Альгайерова

Исполнительный секретарь
Европейской экономической комиссии
Организации Объединенных Наций

ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ

Организации-спонсоры

Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций (ЕЭК ООН) является одной из пяти региональных комиссий ООН и служит форумом, в рамках которого 56 стран Западной, Центральной и Восточной Европы, Северной Америки и Центральной Азии объединяют усилия в целях укрепления инструментов взаимного экономического сотрудничества. К основным направлениям 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. Связанные с энергетикой темы, 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 (www.unece.org/energy/se/cmm.html).

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 таких пяти основных секторах – источниках выбросов метана, как 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 Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИКООН). 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 44 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).

Структура

Редакционная работа над документом проводилась при финансовой, технической и административной поддержке Агентства по охране окружающей среды Соединенных Штатов через посредство ГИМ.

Настоящее руководство подготовлено следующим авторским коллективом: Дэвид Криди, компания «Sindicatum Sustainable Resources» (основной автор); Раймонд К. Пилчер, компания «Raven Ridge Resources»; и Нил Батлер, компания «HEL-East Ltd».

Своими знаниями, опытом и примерами из практики поделились:

- Клеменс Бэкхаус, компания «A-TEC Anlagentechnik GmbH»;
- Михаэль Котэ, компания «Ruby Canyon Engineering»;
- Януш Юречка и Ежи Хадро, Польский институт геологии, предоставившие материалы тематического исследования в качестве вклада польского Международного центра передового опыта в области шахтного метана;
- Джеймс Маршал, компания «Raven Ridge Resources».

При подготовке настоящего документа под руководством Группы экспертов ЕЭК ООН по шахтному метану следующие лица предоставили технические руководящие указания и провели его редактирование:

- Михал Драбик, Европейская экономическая комиссия ООН;
- Раймонд К. Пилчер, компания «Raven Ridge Resources»;
- Волха Рощанка, Агентство по охране окружающей среды Соединенных Штатов/Глобальная инициатива по метану;
- Кларк Толкингтон, компания «Advanced Resources International».

Организации-спонсоры хотели бы также выразить признательность Мередида Эванс и Назару Холоду (Тихоокеанская северо-западная национальная лаборатория) за их вклад в редакционную работу.

Настоящее руководство также подготовлено с учетом работы по созданию в Китае консультативного центра по проектам в области МЗШ, проделанной в период с 1 мая 2002 года по 30 апреля 2003 года компаниями «Wardell Armstrong» и «Future Energy Solutions» (Соединенное Королевство) и Институтом информации по вопросам угледобычи Китая. Эта работа была проведена при финансовой поддержке Управления внешних сношений и по делам Содружества Соединенного Королевства через посредство Фонда для решения проблемы изменения климата.

Содержание

ПРЕДИСЛОВИЕ	III
ВЫРАЖЕНИЕ ПРИЗНАТЕЛЬНОСТИ.....	IV
СОКРАЩЕНИЯ.....	X
ГЛОССАРИЙ ТЕРМИНОВ	XI
РЕЗЮМЕ.....	XIII
1. Введение	1
Основные тезисы.....	1
1.1 Цели.....	1
1.2 Краткие сведения о метане закрытых шахт.....	2
1.3 Добыча газа, содержащего МЗШ.....	3
1.4 Выбросы и использование МЗШ в отдельных странах.....	4
2. Источник выбросов МЗШ	9
Основные тезисы.....	9
2.1 Миграция МЗШ	9
2.2 Состав газов на выведенных из эксплуатации шахтах	14
3. Количественная оценка ресурсов МЗШ и прогнозирование дебита газа	17
Основные тезисы.....	17
3.1 Ресурсы МЗШ.....	17
3.2 Запасы МЗШ.....	18
3.3 Прогнозирование дебита МЗШ.....	19
4. Оценка осуществимости проектов по добыче и утилизации МЗШ	21
Основные тезисы.....	21
4.1 Факторы, учитываемые при оценке осуществимости проектов по МЗШ.....	21
4.2 Стратегии добычи газа	22
4.3 Варианты утилизации МЗШ	23
5. Оптимизация добычи МЗШ	27
Основные тезисы	27
5.1 Контроль притока воздуха.....	27
5.2 Контроль за поверхностными и подземными водами.....	28

6.	Разработка проектов по МЗШ	31
	Основные тезисы.....	31
6.1	Камеральный анализ	31
6.2	Пластовые испытания	32
6.3	Предварительное технико-экономическое обоснование	33
6.4	Полное технико-экономическое обоснование	33
6.5	Финансирование проектов по МЗШ.....	34
6.6	Разработка и реализация проектов по МЗШ.....	35
6.6.1	Ключевые проектные и эксплуатационные параметры.....	35
6.6.2	Конкретные критерии проектирования.....	36
6.6.3	Проектирование системы молниезащиты.....	37
6.6.4	Пламегасители	37
6.6.5	Анализ газа и его воздействие на вопросы безопасности, мониторинга и измерения	37
6.6.6	Проектирование добывающей установки.....	38
6.6.7	Установка по уничтожению или утилизации газа.....	38
6.6.8	Оценка коммерческих рисков, связанных с эксплуатацией установки по утилизации, и ресурсов.....	39
6.6.9	Эксплуатация и техническое обслуживание.....	39
6.6.10	Дистанционный мониторинг	39
7.	Политические и регулирующие механизмы содействия и стимулирования в сфере добычи и утилизации МЗШ	41
	Основные тезисы.....	41
7.1	Роль руководства шахт в подготовке к закрытию шахты	41
7.2	Право собственности на газ.....	41
7.3	Обязательства в отношении неорганизованных выбросов газа	42
7.4	Доступ к инфраструктуре.....	43
7.5	Финансовые и налоговые стимулы.....	43
7.6	Углеродное финансирование	43
8.	Резюме и выводы	45
9.	Примеры из практики	47
	Пример 1. Германия – Рурский угольный бассейн, Северный Рейн-Вестфалия	47
	Пример 2. Польша – Верхнесилезский бассейн	50
	Шахта «Морцинек–Качице»	50
	Шахта «Жоры»	50

Пример 3. Соединенное Королевство – Утилизация метана закрытых шахт в Соединенном Королевстве	52
Шахта «Стилингфлит», группа компаний «Селби»	52
Угледобывающее предприятие «Харворт»	53
Пример 4. Соединенные Штаты – Норт-Форкская долина, Колорадо	56
Пример 5. Соединенные Штаты – Проект по добыче метана на лицензионном участке выведенной из эксплуатации шахты «Элк Крик»	60
Приложения	63
Приложение 1. Режимы испытаний для определения характеристик коллектора МЗШ	63
Приложение 2. Основные элементы предварительного технико-экономического обоснования проектов по МЗШ	65
Приложение 3. Инженерно-технические варианты обустройства шахтных входов после закрытия шахты	67
Приложение 4. Оборудование и работы, необходимые для строительства и эксплуатации объектов в рамках проектов по МЗШ	68
Справочные материалы	69

Перечень таблиц

Таблица 1.1	Ведущие страны по добыче МЗШ	5
Таблица 2.1	Состав проб, отобранных на выведенных из эксплуатации шахтах в Иллинойском угольном бассейне, США	15
Таблица 4.1	Общие характеристики вариантов конечного использования МЗШ	24
Таблица 7.1	Право собственности на метан	42
Таблица 9.1	Отдельные проекты по МЗШ в Рурской долине	48
Таблица 9.2	Угольные шахты Норт-Форкской долины	57

Перечень рисунков

Рисунок 1.1	Годовая и совокупная добыча газа на шахтах в Авьоне, Дивьоне и Дезире.....	6
Рисунок 2.1	Возможные пути миграции метана, образующиеся после закрытия шахты	10
Рисунок 2.2	Мониторинг концентрации газа и давления на закрытой недостаточно герметизированной шахте	11
Рисунок 2.3	Давление газа с течением времени: а) снижение давления, указывающее на незаполненность открытого пространства шахты водой; и б) рост давления по мере заполнения пустотного пространства водой	12
Рисунок 2.4	Газоотводы на выведенной из эксплуатации шахте, Соединенное Королевство	13
Рисунок 3.1	Концептуальная модель коллектора МЗШ.....	18
Рисунок 3.2	Кривая спада выбросов МЗШ.....	19
Рисунок 3.3	График, показывающий разницу в темпах снижения потенциальных выбросов для сухих и затопленных шахт.....	20
Рисунок 4.1	Проекты по МЗШ, реализуемые во всем мире	24
Рисунок 9.1	Географическое положение Рурского угольного бассейна	47
Рисунок 9.2	Электростанция в Лоберге	49
Рисунок 9.3	График зависимости производства электроэнергии и концентрации метана на шахте в Лоберге	49
Рисунок 9.4	Газоотвод на шахте «Стиллингфлит».....	52
Рисунок 9.5	Газодобывающая установка на шахте «Стиллингфлит»	53
Рисунок 9.6	Газогенераторные установки угледобывающего предприятия «Харворт»	54
Рисунок 9.7	Прогнозное газовыделение на шахте «Харворт»	54
Рисунок 9.8	Карта действующих и выведенных из эксплуатации шахт Норт-Форкской долины	58
Рисунок 9.9	Проект по МЗШ для производства электроэнергии на шахте «Элк Крик»	61

Сокращения

АООС	Агентство по охране окружающей среды Соединенных Штатов
ГИМ	Глобальная инициатива по метану
ГИС	Географическая информационная система
ГКРР	Государственный комитет по развитию и реформе (Китайская Народная Республика)
ГСУШ	городские и сельские угольные шахты
ГУДП	государственные угледобывающие предприятия
ЕЭК ООН	Европейская экономическая комиссия Организации Объединенных Наций
кВт·ч	киловатт-час
КПГ	компримированный природный газ
КСВР	Калифорнийский совет по воздушным ресурсам
КТЭ	комбинированное производство тепла и электроэнергии
м	метр
м³/мин	кубометров в минуту
м³/сут	кубометров в сутки
м³/т	кубометров газа на метрическую тонну угля
Мвт·ч	мегаватт-час
МВтэ	мощность в мегаваттах электрической энергии
МЗШ	метан закрытых шахт
млн т	миллион тонн
млн т/год	миллион тонн в год
МЧР	Механизм чистого развития
ПГ	парниковый газ
ПГП	потенциал глобального потепления
ПСВ	проверенные сокращения выбросов
РКИКООН	Рамочная конвенция Организации Объединенных Наций об изменении климата
скф/м	стандартные кубические футы в минуту
ССВ	сертифицированные сокращения выбросов
СТВ	система торговли выбросами (Европейский союз)
т	тонн (метрических) – эквивалентно 1,102 коротких тонн (США)
т/сут	тонн в сутки
УКМ	утвержденная консолидированная методология (РКИКООН)
ШМ	шахтный метан
CH₄	метан
CO₂	диоксид углерода
CO_{2a}	эквивалент диоксида углерода

Глоссарий терминов

В угольной промышленности и отрасли по утилизации шахтного газа до сих пор отсутствует ясность в отношении применяемых в разных нормативных системах терминов и сокращений. Помимо приводимых ниже терминов, ЕЭК ООН подготовила всеобъемлющий Глоссарий терминов и определений по шахтному метану, который содержит указания на то, каким образом терминология применяется в разных регионах.

Глоссарий см. по адресу http://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/cmm/cmm4/ECE.ENERGY.GE.4.2008.3_e.pdf.

Метан закрытых шахт (МЗШ) – газ, который остается, а в некоторых случаях вновь образуется в результате деятельности микроорганизмов, в закрытых угольных шахтах и содержится в пустотах, угольных пластах и других газонесущих породах, которые были нарушены или пересечены в процессе добычи.

Ресурсы МЗШ – совокупный объем МЗШ, остающегося в пустотах, угольных слоях и других газоносных породах, разгруженных в процессе добычи, включая любой недавно образовавшийся биогенный газ.

Запасы МЗШ – объем пригодных для извлечения ресурсов с поправкой на приток грунтовых вод при максимально возможном применимом всасывающем давлении (50–70 кПа для законсервированной шахты).

РЕЗЮМЕ

Закрытие угольных шахт и, соответственно, выбросы метана на закрытых шахтах (МЗШ) будут по-прежнему являться актуальной и важной проблемой в обозримом будущем, поскольку страны продолжают эксплуатировать и истощать свои угольные запасы все более быстрыми темпами. Это касается многих развитых стран, где добыча угля снижается, а шахты закрываются. Однако это также относится к некоторым развитым и развивающимся странам, где добыча угля будет и далее играть значительную роль в структуре энергетического баланса, а закрывающиеся шахты будут заменяться новыми. Таким образом, суммарный объем выбросов на закрытых и закрывающихся шахтах может быть существенным и, вероятно, будет все более значимым. В 2010 году на МЗШ приходилось 17% общемирового объема выбросов шахтного метана, и, согласно прогнозам, в 2050 году эта доля может увеличиться до 24% (Kholod et al, 2018).

Прекращение добычи угля в связи с истощением коммерчески рентабельных запасов угля не останавливает выбросы газов. Важно оценить масштаб существующей проблемы МЗШ и потенциальные уровни выбросов в связи с наличием рисков неконтролируемых поверхностных выбросов, опасений по поводу выбросов парниковых газов и возможностей их использования. Новые методы оценки выбросов – от использования дистанционного зондирования для измерения концентрации метана в атмосфере и точного определения источников до оценок, основанных на показателях добычи угля в прошлом, – могут помочь странам более всеобъемлющим образом выявлять и инвентаризировать ресурсы метана. Этому потенциально важному источнику следует уделять повышенное внимание при проведении более точных оценок совокупного объема выбросов, на основе которых могут также быть разработаны механизмы политической поддержки, стимулирующие инвестиции.

Риски поверхностных газовых выбросов вызывают особую обеспокоенность в густонаселенных районах с развитой угледобывающей промышленностью. Во многих случаях риск может быть уменьшен путем пассивной вентиляции. В районах, где обнаружены крупные объемы МЗШ, могут существовать возможности для активной добычи и использования газа в качестве экологически чистого энергетического ресурса. Активная добыча газа также поможет свести к минимуму риски поверхностных выбросов.

С прекращением добычи обычно прекращается откачка подземных вод, применяющаяся для предотвращения затопления действующей шахты, что приводит к затоплению выработок. Это способно также привести к постепенному сокращению доступного ресурса МЗШ и в потенциале может ослабить коммуникацию между местом добычи газа и коллекторами газа. Степень затопления может варьироваться в зависимости от гидрогеологических условий, протяженности и глубины выработок. В некоторых случаях откачка грунтовых вод может быть продолжена в целях защиты более глубоких горных выработок от рисков затопления.

Поэтому при закрытии шахты следует изучить потенциальное воздействие на окружающую среду, а также разработать и принять соответствующие инженерно-технические меры в целях сведения к минимуму рисков для окружающей среды. Эти меры, наряду со стратегией мониторинга после закрытия шахты, позволяют эффективно управлять выбросами и рисками в этот период.

Оценка потенциала добычи и эксплуатации МЗШ может проводиться одновременно с оценкой рисков в области безопасности и состояния окружающей среды наряду с оценкой необходимости принятия соответствующих мер контроля. Наличие метана в выведенной из эксплуатации шахте само по себе не является достаточным основанием для разработки программы добычи

и утилизации МЗШ. В первую очередь необходимо разработать предварительное технико-экономическое обоснование.

Для оценки ресурсов и запасов МЗШ имеются соответствующие методики. Применяемые методики должны быть основаны на надежных физических принципах, предусматривать использование прослеживаемых источников данных, признавать факторы неопределенности и потенциальные риски и содержать сведения о всех допущениях.

Неопределенность в оценках неизбежна из-за трудности получения точных данных о проникновении воды в заброшенные выработки и потенциальных проблем, связанных с притоком воздуха при увеличении давления всасывания. Запасы должны быть скорректированы с учетом такой неопределенности, и должно быть дано обоснованное объяснение применяемого поправочного коэффициента.

Не все выведенные из эксплуатации шахты подходят для проектов по МЗШ. Должны существовать благоприятные горно-геологические условия, но наиболее важным условием является наличие надлежащего конечного потребителя для формирования спроса на газ. Без рынка энергии на основе МЗШ проект вряд ли будет жизнеспособным и устойчивым. Однако в некоторых странах в рамках проектов по углеродным зачетам может быть целесообразным утилизировать газ путем факельного сжигания. Опыт показывает, что усилия, прилагаемые на этапах предварительной оценки экономической целесообразности и технико-экономического обоснования проекта, могут значительно сократить как эксплуатационные проблемы, так и будущие затраты.

1. Введение

Основные тезисы

- Закрытие шахт является частью цикла освоения природных ресурсов в странах со снижающейся добычей угля и в странах с устойчивой или растущей добычей угля.
- Выбросы метана на закрытых шахтах (МЗШ) являются неизбежным побочным продуктом цикла добычи угля и могут продолжаться в течение десятилетий.
- В отсутствие надлежащего управления и контроля неорганизованные выбросы газов на выведенных из эксплуатации шахтах могут стать причиной возникновения опасных ситуаций на поверхности.
- МЗШ, остающийся в угольном массиве, разгруженном ранее в ходе разработки лавы, в ряде случаев может представлять собой крупный экологически чистый энергоресурс, который можно эксплуатировать.
- Метан является мощным парниковым газом (ПГ), потенциал глобального потепления (ПГП) которого в 28–34 раза превышает соответствующий потенциал диоксида углерода за столетний период, однако в расчете на 10 лет его ПГП в 84 раза выше вследствие 12-летнего периода существования в атмосфере.
- Извлечение и утилизация МЗШ могут также принести важные социально-экономические выгоды, включая развитие технологий и создание рабочих мест.
- Количество доступного для извлечения МЗШ зависит от различных факторов, включая объем пласта угольного массива, нарушенного добычей, остаточное содержание газа в угле, сохранившегося на месте, и скорость затопления выработок.
- Даже при благоприятных геологических и технологических условиях отсутствие благоприятствующей нормативно-правовой базы может сделать проект непривлекательным или даже полностью непригодным для реализации.

1.1 Цели

Данное руководство призвано помочь операторам шахт, разработчикам газовых ресурсов, государственным регулирующим органам, органам лицензирования нефтегазового сектора, учреждениям по перепланировке и директивным органам учитывать ресурсы метана путем выявления потенциальных опасностей, связанных с продолжающимся выделением метана после закрытия шахт и выведения их из эксплуатации и повышения осведомленности о них.

Важными сопутствующими преимуществами добычи и утилизации МЗШ являются значительное снижение риска неконтролируемых выбросов на поверхности земли, эксплуатация газовых ресурсов, которые в противном случае становятся отходами, и сокращение выбросов ПГ.

Проекты по извлечению и утилизации МЗШ также способствуют достижению целей Организации Объединенных Наций в области устойчивого развития, касающихся недорогостоящих и экологически чистых источников энергии и деятельности по борьбе с изменением климата.

1.2 Краткие сведения о метане закрытых шахт

МЗШ – это газ, остающийся после закрытия угольных шахт в газоносных пластах, которые были нарушены добычей, в частности при разработке лав из-за больших объемов нарушенных угольных пластов и массивов. В некоторых случаях метан может также образоваться в результате недавней деятельности микроорганизмов. Происходящее в окрестностях угольных шахт трещинообразование в пластах и природа поверхностных отложений, перекрывающих коренные породы, зачастую затрудняют герметизацию ликвидированных стволов и штолен и создают условия для утечек. В результате могут возникнуть представляющие опасность для общества неорганизованные выбросы, выбросы ПГ и, возможно, утрата энергетических ресурсов. Например, поступающий в замкнутые структуры метан является взрывоопасным веществом, а потенциал глобального потепления (ПГП) выделяющегося в атмосферу метана в 28–34 раза превышает соответствующий потенциал диоксида углерода (МГЭИК, 2014 год) за столетний период¹. Однако ПГП метана за более короткий десятилетний период почти в 84 раза превышает ПГП двуокиси углерода вследствие более короткого 12-летнего периода существования в атмосфере, что лишний раз говорит в пользу извлечения и утилизации метана в целях смягчения последствий изменения климата. Помимо опасностей, связанных с выбросами газов, и вклада в изменение климата, после закрытия угольной шахты могут возникнуть проблемы из-за нестабильности поверхности и загрязнения шахтных вод.

Связанные с изменением климата требования, другие экологические цели и конкуренция со стороны возобновляемых источников энергии и природного газа снижают зависимость от угля как источника энергии. Многие крупные промышленно развитые страны переживают серьезный спад в добыче угля и закрывают шахты. Однако даже в странах, как развитых, так и развивающихся, с активно функционирующей угольной промышленностью закрытие шахт является частью цикла освоения природных ресурсов. В то время как реализация обширных программ закрытия угольных шахт может сократить предложение угля, возможность выбросов метана может сохраняться в течение десятилетий (причем самые высокие, наиболее коммерчески рентабельные объемы выбросов возможны в первом десятилетии). Закрытие угольных шахт и, соответственно, выбросы МЗШ по-прежнему будут актуальной и важной проблемой в обозримом будущем. Таким образом, суммарный объем выбросов на закрытых и закрываемых шахтах может быть существенным и, вероятно, приобретать все большие масштабы. В 2010 году на МЗШ приходилось 17% общемирового объема выбросов шахтного метана, и, согласно прогнозам, в 2050 году эта доля может увеличиться до 24% (Kholod et al, 2018).

Страны прилагают значительные усилия, направленные на стимулирование каптирования и утилизации газа на действующих угольных шахтах, однако уделяют меньше внимания сокращению выбросов и использованию метана на закрытых шахтах. Помимо смягчения последствий изменения климата, извлечение и утилизация МЗШ могут также принести важные социальные выгоды. В результате масштабного закрытия угольных шахт нередко возникают серьезные региональные экономические и социальные проблемы. Хотя в большинстве развитых стран введены в действие нормы, регламентирующие закрытие шахт и устанавливающие ответственность в период после их закрытия², во многих развивающихся странах финансовые и нормативные положения, касающиеся определения ответственных сторон и управления обязательствами после закрытия шахт, заведомо немногочисленны или вовсе отсутствуют. Извлечение и утилизация МЗШ могут

¹ Значение ПГП, равное 28, исчислено без учета показателей обратной связи между климатом и выбросами углерода, зачастую относится к ПГП метана. Значение ПГП, равное 34, исчислено с учетом показателей обратной связи, которые используются для количественной оценки косвенных последствий изменений запасов углерода вследствие изменения климата (см. МГЭИК, 2014 год).

² United States Mine Safety and Health Administration, 30 Code of Federal Regulations 75.1204, New South Wales Work Health and Safety (Mines and Petroleum Sites) Regulations 2014, and Queensland Coal Mine Safety and Health Regulation 2017.

обеспечить создание новых рабочих мест, что является хотя и сравнительно небольшим, но тем не менее позитивным вкладом. Там, где ресурсы МЗШ значительны, могут появиться возможности для создания индустриальных парков, разработки потенциально дешевого чистого топлива, обеспечивающие привлекательные выгоды коммерческим предприятиям.

Геологические, технологические и рыночные факторы напрямую влияют на успех проекта по МЗШ. Кроме того, решающим фактором при рассмотрении вопроса об эксплуатации ресурсов МЗШ может быть нормативно-правовая среда. Даже при благоприятных геологических и технологических условиях отсутствие стимулирующей нормативно-правовой базы может сделать проект непривлекательным или даже полностью непригодным для реализации. Подлежащие учету регулятивные факторы включают нормативные документы, регулирующие безопасность горных работ, процесс лицензирования, права собственности, физический доступ, нормы и правила по охране окружающей среды, налогообложение, обязательства после закрытия и налоговое регулирование. Важную роль в обеспечении того, чтобы эти факторы не становились барьерами на пути коммерциализации ресурсов МЗШ, могут играть директивные органы.

1.3 Добыча газа, содержащего МЗШ

Технологии и методы управления позволяют наладить добычу метана на выведенных из эксплуатации шахтах, что обеспечивает значительные выгоды в области охраны окружающей среды, социально-экономической сфере и в обеспечении общественной безопасности.

Методы добычи газа на выведенных из эксплуатации шахтах отличаются от методов, применяемых для каптажа и извлечения газа на действующих шахтах. После изолирования шахты от атмосферы газ из всех подземных источников становится потенциально доступным для добычи на одном производственном участке. В составе газа, извлекаемого на надежно изолированной выведенной из эксплуатации газообильной шахте, концентрация метана обычно составляет 15–90% и отсутствует кислород. В числе других основных газообразных компонентов могут быть азот, в том числе деоксегенированный воздух, и диоксид углерода. Иногда могут присутствовать окись углерода в низкой концентрации и следы углеводородов, в частности этана.

Доступ к заброшенным горным выработкам для добычи газа осуществляется через бывшие стволы или штольни. Если они не пригодны для этого (например, если они заполнены и в них не проложен вентиляционный трубопровод), то для проходки подземных выработок может быть пробурена газоотводная скважина с поверхности. Первоначально пластовое давление может быть достаточным для производства МЗШ на поверхности. Однако, в конечном счете, для отбора газа из пустот шахты, в том числе из ранее выработанного/обрушенного пространства, из законсервированных участков или из разгруженного на месте угольного массива, требуется откачка или разрежение. По концентрации метана состав газа может быть различным не только в каждой шахте, но и на разных участках одной шахты. Основным фактором, влияющим на качество газа, является разбавление воздухом, поступающим в шахту из недостаточно герметизированных выходов на поверхность. Неконтролируемое поступление воздуха снижает концентрацию метана в газе, а также ограничивает достижимые показатели давления всасывания и дебета. Для обеспечения качества и объема газа необходимо свести к минимуму приток воздуха. Поступающий в заброшенную шахту воздух может в некоторых случаях привести к самовозгоранию и выбросу окиси углерода.

Количество доступного для извлечения МЗШ зависит от различных факторов, включая объем пласта угольного массива, нарушенного добычей, остаточное содержание газа в угле, оставшегося на месте, и скорость затопления выработок.

Отдельные небольшие проекты по добыче МЗШ на шахтах вряд ли будут коммерчески жизнеспособны, если их не объединить. Объединение малых и средних проектов по добыче МЗШ с программами по утилизации шахтного метана (ШМ) на действующих шахтах способствовало бы повышению гибкости и рентабельности за счет предоставления источника газа для удовлетворения пиковых потребностей, а также коллектора для хранения газа при низком спросе.

По сообщениям, на некоторых промыслах в Европе дебит МЗШ равен или даже превышает дебит ШМ, получаемого на действующих шахтах (Backhaus, 2018). В этих случаях может присутствовать значительный объем относительно недавно образовавшегося биогенного метана.

Факельное сжигание МЗШ в целях сокращения выбросов в настоящее время не является широко распространенной практикой, за исключением случаев, когда это необходимо по соображениям безопасности и/или охраны окружающей среды. Это может противоречить условиям лицензий, выдаваемых субъектам газового сектора в некоторых странах, а стимулов для факельного сжигания МЗШ мало. Исключением являются Соединенные Штаты, где проекты по МЗШ могут быть участниками ряда углеродных рынков. Политические стимулы будут более подробно рассмотрены ниже в документе.

1.4 Выбросы и использование МЗШ в отдельных странах

В **таблице 1.1** представлены сведения о предотвращенных выбросах в ведущих странах по добыче МЗШ. Следует отметить, что выбросы на многих закрытых шахтах зачастую оцениваются качественно, а не количественно, причем оценки проводятся на основе принятых методик, в частности методики, используемой Межправительственной группой экспертов по изменению климата, или методики³, разработанной Агентством по охране окружающей среды Соединенных Штатов⁴. Эти данные разительно отличаются от показателей выбросов, зарегистрированных на действующих шахтах, которые зачастую измеряются как в целях отслеживания экологических показателей, так и мониторинга в области охраны здоровья и техники безопасности. В целом это приводит к большей неопределенности в отношении зарегистрированных выбросов МЗШ.

Китай. Потенциальные ресурсы МЗШ были выявлены в Китае (Coté, 2018b). По сообщениям, заброшенными считаются по меньшей мере 30 000 угольных шахт, расположенных в городских и сельских районах (ГСУШ), однако большинство из них, вероятно, слишком малы, чтобы разработка проектов по МЗШ была целесообразной. Кроме того, были выявлены 120 выведенных из эксплуатации государственных угледобывающих предприятий (ГУДП). На 50 из них, по сообщениям, имеются возможности для добычи МЗШ. В 2017 году были закрыты предприятия с общей производительностью 150 млн тонн угля. Тем не менее возможности по извлечению МЗШ в Китае ограничены в силу ряда факторов, включая зачастую высокие темпы затопления, интенсивную добычу, ведущую к ликвидации большинства источников газа в некоторых районах, и неясную нормативно-правовую базу в отношении собственности на землю, имущество и ресурсы и ответственности за их использование после закрытия шахты. В работе Liu (2018) приводятся два примера проектов по МЗШ и описание двух потенциальных участков будущей деятельности.

Германия. Согласно международной базе данных о проектах ГИМ по шахтному метану, в Германии реализовано более 35 проектов по МЗШ, и все они связаны с производством электроэнергии или

³ IPCC (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy. Chapter 4, Fugitive Emissions. 2006. Geneva, Switzerland. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/pdf/2_Volume2/V2_4_Ch4_Fugitive_Emissions.pdf.

⁴ EPA (2004). Methane Emissions from Abandoned Coal Mines In The United States: Emission Inventory Methodology and 1990-2002 Emissions Estimates. 2004. Washington, D.C. USA. https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-03/documents/amm_final_report.pdf.

Таблица 1.1 Ведущие страны по добыче МЗШ			
Страна	Количество проектов	Предотвращенные выбросы (млн т CO ₂)	Основное применение МЗШ
Китай	Сведения отсутствуют	Предположительно немного	Сведения отсутствуют
Чешская Республика	10	0,36	Производство энергии
Франция	5	10,60	Промышленное
Германия	40	5,71	Производство энергии
Соединенное Королевство	20	0,64	Производство энергии
Соединенные Штаты	20	2,70	Продажа через трубопроводные системы

Источник: EPA, 2015, CMM Country Profiles; EPA, 2017, U.S. GHG Inventory.

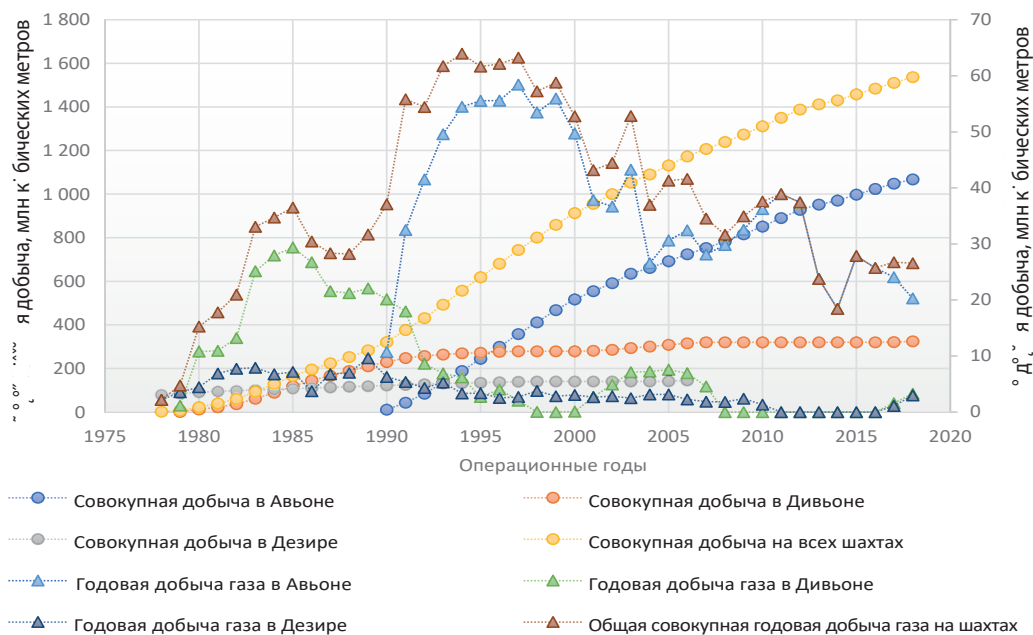
комбинированным производством тепловой и электрической энергии (КТЭ) (GMI, 2017). По состоянию на 2015 год насчитывалось 94 установки для КТЭ, сжигающих МЗШ (один проект обычно охватывает несколько установок для КТЭ), совокупной установленной генерирующей мощностью 120 МВт⁵. В рамках этих проектов по МЗШ производится более 500 МВт/ч электроэнергии и 75 МВт/ч тепла в год и удаётся предотвратить 2,3 млн тонн выбросов CO₂ (Backhaus, 2017). Реализация большинства проектов по МЗШ в Германии началась в начале 2000-х годов, когда в соответствии с обновленной политикой страны в области возобновляемых источников энергии был установлен специальный льготный тариф на производство электроэнергии на основе сжигания МЗШ и ШМ. В то же время, по сообщениям, ежегодные выбросы ПГ на выведенных из эксплуатации шахтах сократились с 5 млн т CO₂ в 2000 году до примерно 18 000 т CO₂ в 2015 году (UNFCCC, 2017). В 2015 году в Германии в рамках действующих проектов по МЗШ, по оценкам, было утилизировано 99% совокупных выбросов метана на выведенных из эксплуатации шахтах (Denysenko et al, 2019).

Франция. Хотя во Франции последняя угольная шахта Ла-Ув была закрыта в 2004 году, работы по каптажу и утилизации МЗШ начались в 1978 году в ответ на разразившийся на Ближнем Востоке в 1973 году нефтяной кризис, приведший к росту цен на нефть в течение нескольких лет. С тех пор на ряде газообильных выведенных из эксплуатации угольных шахтах на севере Франции ведется добыча газа, который закачивается в газопроводы и используется для выработки электроэнергии. В течение многих лет этой деятельностью занималась компания «Газенор», бывшая дочерняя компания национальной угольной компании Франции «Шарбонаж де Франс», которая была ликвидирована в 2008 году. Основными источниками газа являются три угледобывающих предприятия в Авьоне, Дивьоне и Дезире. На **рисунке 1.1** показана годовая и совокупная добыча газа на этих выведенных из эксплуатации добывающих шахтах (Moulin, 2019).

В 2016 году компанию «Газенор» приобрело открытое акционерное общество «Французская энергетическая компания», контролирующее в настоящее время на условиях концессионного договора участки площадью приблизительно 1 500 кв. км и занимающееся добычей газа на выведенных из эксплуатации шахтах и производством электроэнергии на пяти электростанциях с установленной мощностью 9 Мвт. В 1978–2018 годы в Авьоне было добыто 1 068 млн кубических

⁵ Backhaus, Clemens (2017). Experience with the utilization of coal mine gas from abandoned mine sin the region of North-Rhine-Westphalia, Germany. Workshop on Abandoned Mine Methane. UNECE Group of Experts on Coal Mine Methane. 23 October 2017. Geneva, Switzerland. https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/cmm/cmm12/Workshop_2017/7.Mr._Backhaus.pdf.

Рисунок 1.1 Годовая и совокупная добыча газа на шахтах в Авьоне, Дивьоне и Дезире



Источник: Moulin, J., 2019.

метров метана, а в Дивьоне и Дезире – 325 млн кубических метров и 145 млн кубических метров соответственно. В 2018 году совокупная годовая добыча газа на этих трех шахтах составила 26 млн кубических метров метана. По оценкам, «Французской энергетической компании» ежегодно удается предотвратить более 600 000 тонн выбросов двуокиси углерода за счет использования метана в качестве топлива – заменителя угля.

Соединенное Королевство. К 1990 году в Соединенном Королевстве было закрыто почти 80% подземных угледобывающих предприятий, и к 2010 году высокая доля МЗШ выбрасывалась в атмосферу или утилизовалась (Fernando, 2011). Добыча МЗШ на малых шахтах считалась нерентабельной, угледобывающие предприятия и шахты с низким содержанием газа были закрыты более десяти лет и затоплены. К 2018 году добыча угля была прекращена в 150 районах угледобычи и было разработано почти 30 проектов по использованию МЗШ в целях выработки электроэнергии и газоснабжения, реализация которых необязательно началась одновременно. По состоянию на октябрь 2017 года осуществлялись 13 проектов по МЗШ: 12 проектов по производству электроэнергии (совокупной установленной мощностью 78 МВтэ) и один проект по закачке газа в трубопроводы (Kholod et al, 2018). В рамках реализуемых в Соединенном Королевстве проектов по МЗШ утилизируется около 58% выбросов метана на выведенных из эксплуатации шахтах. Выбросы метана на выведенных из эксплуатации шахтах сократились в Соединенном Королевстве с 1,4 млн тонн CO_2 в 2000 году до 0,441 млн тонн CO_2 в 2015 году (UNFCCC, 2017).

Соединенные Штаты. В Соединенных Штатах насчитывается 7 500 выведенных из эксплуатации шахт, 524 из которых считаются газообильными (EPA, 2017; Global Methane Initiative, 2015). Хотя в Соединенных Штатах проекты по МЗШ традиционно реализуются в целях закачки газа в существующие трубопроводы природного газа, количество энергетических проектов по МЗШ и проектов по факельному сжиганию МЗШ увеличилось в последние годы. В общей сложности

на 45 угольных шахтах реализуется 19 проектов по МЗШ. К ним относятся комбинированные проекты, включая 3 проекта по МЗШ, каждый из которых охватывает 3–5 шахт, 1 проект по МЗШ, использующий метан, добываемый на 14 шахтах, и 3 проекта по МЗШ, объединяющие существующие проекты по ШМ (Coté, 2018a). Вследствие роста использования МЗШ чистые выбросы метана на выведенных из эксплуатации шахтах сократились с 8,8 млн тонн CO_{23} в 2000 году до 6,4 млн тонн CO_{23} в 2017 году. Общий объем высвобожденного МЗШ увеличился до 9,2 млн тонн CO_{23} в 2017 году, из которых 2,7 млн тонн CO_{23} используется для производства энергии и продажи газа через трубопроводные системы (EPA, 2019). Хотя в Соединенных Штатах добыча угля по-прежнему является важным элементом энергетического комплекса, количество подземных добывающих предприятий сократилось до 237 в 2017 году с 583 в 2008 году вследствие использования конкурентных видов топлива и продолжающейся тенденции роста производительности добычи угля в лаве⁶. Закрытие в последнее время многих шахт может обеспечить возможности для рентабельной эксплуатации ресурсов МЗШ.

⁶ U.S. Energy Information Administration. Annual Coal Report 2017 and Annual Coal Report 2008. November 2018 and March 2010 Washington, D.C.; размещено по адресу <https://www.eia.gov/coal/annual/>.

2. Источник выбросов МЗШ

Основные тезисы

- После закрытия угольной шахты и остановки общешахтных вентиляторов происходит стремительное и коренное изменение состава и распределения газов в подземных пространствах.
- В отсутствие непроницаемого слоя или водоносных горизонтов метан и другие опасные газы мигрируют в зоны пониженного давления и могут выйти на поверхность, в результате чего возможно возникновение угрожающих здоровью и безопасности ситуаций.
- Хотя заводнение шахты может препятствовать дополнительным выбросам, растворенные в воде газы могут высвободиться в местах выхода воды на поверхность.
- Возникающие на выведенных из эксплуатации шахтах и вблизи них риски для окружающей среды и безопасности могут быть снижены с помощью ряда мер, включая установку систем экологического мониторинга, усовершенствованную инженерную герметизацию шахтных стволов и активную добычу газа.
- Необходимо понимать последствия всех этих изменений и управлять ими.
- Экологическими проблемами на закрытых шахтах можно управлять при условии, что право собственности на остаточный уголь, подземные выработки и газ четко определены.

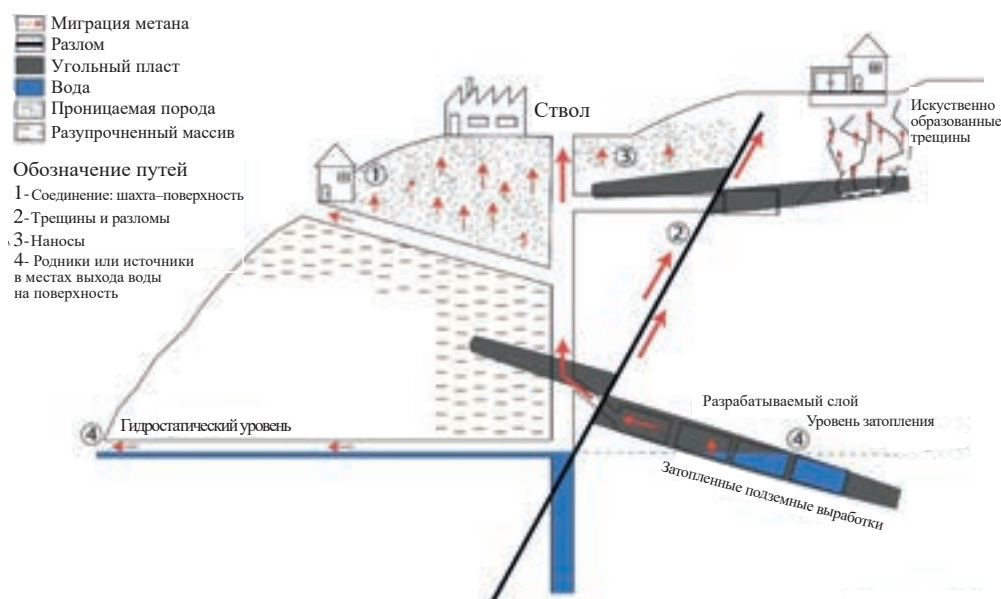
2.1 Миграция МЗШ

С закрытием шахты одновременно прекращается механическая вентиляция, и газы свободно мигрируют через взаимосвязанные горные выработки. Благодаря меньшей плотности по сравнению с воздухом и другими шахтными газами, метан будет подниматься к входам на поверхности и неглубоким выходящим на поверхность выработкам, где существуют подземные соединения. К наиболее распространенным путям на поверхность относится просачивание через входы в выведенные из эксплуатации шахты или из неглубоких выработок через перекрывающий слой трещиноватого песчаника, особенно при наличии тонкой покрышки, состоящей из поверхностных отложений (**рисунок 2.1**).

В результате такой миграции формируются условия, которые на протяжении многих десятилетий представляют опасность не только для расположенных в этой местности закрытых шахт, но также для любой соседней действующей шахты. Кроме того, миграция МЗШ может затруднять оценку ресурсов МЗШ.

Потенциально опасные шахтные газы могут в некоторых случаях попадать в здания, где они способны накапливаться и представлять угрозу безопасности. Такие случаи имели место в ряде бывших угледобывающих районов Европы и Азии. В Соединенном Королевстве все крупные угольные месторождения в какой-то момент времени подвергались воздействию поверхностных выбросов шахтного газа. Однако закрытие угледобывающих предприятий не во всех случаях обязательно приводит к проблемам, связанным с выбросами газа. Так, в период 1947–1998 годов в Соединенном Королевстве были закрыты более 900 глубоких шахт, и за это время зарегистрировали лишь около 75 инцидентов, связанных с поверхностными выбросами газа. Вместе с тем значительно больше случаев остаются необнаруженными. В течение 1990-х годов в среднем происходило около трех новых инцидентов в год, из которых более 60% были связаны с утечками через входы старых выведенных из эксплуатации шахт. Хотя в жилых домах происходили воспламенения метана, смертельных случаев не было. Напротив, выбросы удушливого газа (диоксида углерода и азота) привели к ряду смертельных случаев.

Рисунок 2.1 Возможные пути миграции метана, образующиеся после закрытия шахты

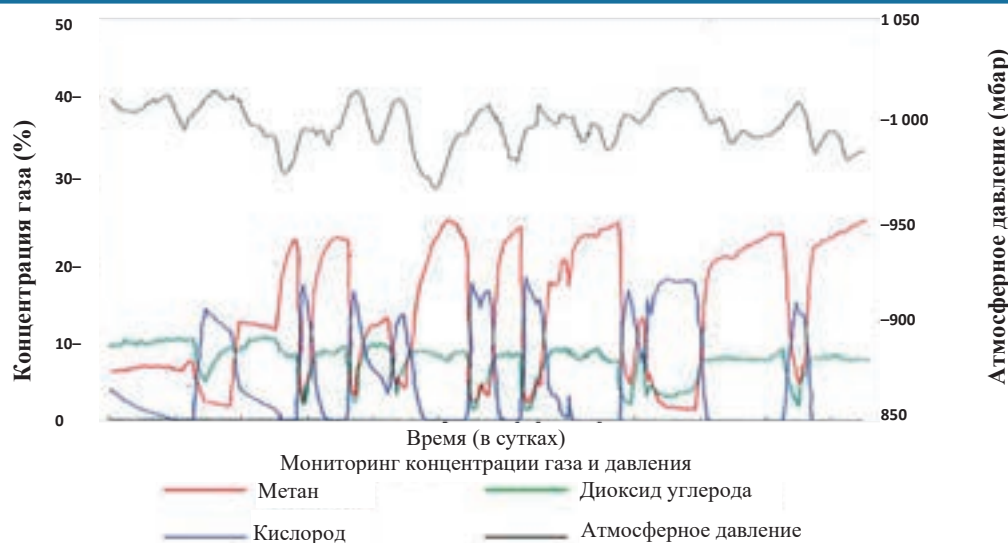


Источник: По материалам INERIS, 2019. Post-Mining Hazard Evaluation and Mapping in France.

Во Франции Государственный институт по вопросам промышленной среды и промышленных рисков (INERIS), которому было поручено изучить риски, связанные с выведенными из эксплуатации шахтами, опубликовал два справочных пособия. В самом последнем пособии содержится информация об оценке и учете рисков в период после прекращения добывающей деятельности в целях оказания помощи местным органам власти и специалистам по планированию (INERIS, 2019). Упомянутая публикация отсылает к предыдущему справочному пособию (INERIS, 2016), представляющему собой руководство по потенциально опасным выбросам газа на закрытых и выведенных из эксплуатации шахтах. Выявленные риски ранжированы в порядке возрастания: от низкого риска удушья токсичными и/или легковоспламеняющимися газами в пустотном пространстве шахты, концентрация которых не достигает нижнего предела взрываемости, и до высокого риска удушья или взрыва, когда выбросы шахтных газов происходят с большей интенсивностью.

В Германии интерес к МЗШ начал проявляться в 1990-х годах в связи с увеличением числа закрываемых шахт. Первоначальные опасения касались районов, где утечка газа представляла опасность для местного населения (Backhaus, 2017).

В Казахстане строительство и закрытие многих шахт происходило практически одновременно, особенно после начала Второй мировой войны. В период 1940–1970 годов их строительство и закрытие зачастую проводилось без тщательных планов. Миграция метана из старых подземных горных выработок и шахтного пространства, соответственно, привела к повышенному риску поверхностных выбросов газа, как в нынешних районах добычи, так и в районах, где она осуществлялась в прошлом. В последующие десятилетия было обнаружено, что многие здания и поселки в горнодобывающих районах Центрального Казахстана строились над бывшими вентиляционными стволами и штольнями. Имели место случаи резкого повышения концентрации метана, самовозгорания, возникновения провалов земной поверхности и гибели людей

Рисунок 2.2 Мониторинг концентрации газа и давления на закрытой недостаточно герметизированной шахте

Источник: Creedy, D. P. и K. Garner, 2002.

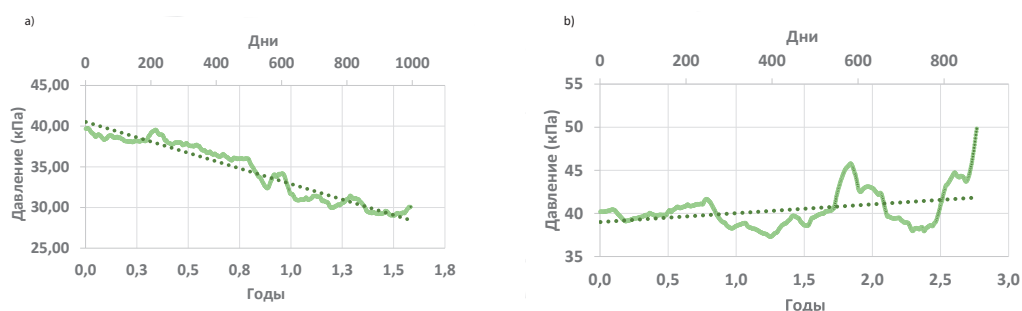
(Оспанов, 2006). В других случаях, во избежание катастрофических событий, правительство было вынуждено переселять людей, сносить здания и закрывать промышленные объекты.

Хотя по Китаю, являющемуся крупнейшей угледобывающей страной, отсутствуют данные о газовой опасности на выведенных из эксплуатации шахтах, которые были перестроены, вполне вероятно, что проблемы все же существуют, но еще не обнаружены. Концентрации выбросов на горных выработках, которые происходят через любые негерметизированные или недостаточно герметизированные поверхностные соединения, колеблются в зависимости от изменения атмосферного давления. Это иллюстрирует **рисунок 2.2**, на котором виден периодический рост и снижение концентрации метана в зависимости от притока воздуха.

При росте атмосферного давления воздух имеет тенденцию поступать в заброшенные шахтные выработки с образованием обогащенных воздухом смесей шахтного газа. При снижении атмосферного давления воздух движется в обратном направлении и выносит на поверхность обедненные кислородом и обогащенные метаном газовые смеси. Связанные с шахтным газом проблемы обычно проявляются на поверхности в период или непосредственно после резкого снижения атмосферного давления.

В результате подъема шахтных вод изменяется давление в пустотном пространстве шахты, и газ может вытесняться из шахты или поступать в другие проницаемые пласты. Окончательный уровень воды зависит от региональных гидрологических условий. Тем не менее откачка воды может продолжаться на закрытых шахтах в целях защиты соседних нижележащих шахт от возможного прорыва воды и затопления в случае разупрочнения охранных целиков угля, разделяющих выработки. Понимание взаимосвязи этих двух факторов имеет крайне важное значение для оценки ресурсов МЗШ. В целях учета колебаний и общего изменения давления в пустотном пространстве следует проводить многочисленные измерения в течение определенного периода времени. Следует тщательно рассчитать уровень воды и установить или оценить скорость затопления. Например, к завышенным оценкам ресурсов газа на недавно закрытой шахте может привести якобы высокий дебит газа вследствие резкого повышения уровня воды и, соответственно,

Рисунок 2.3 Давление газа с течением времени: а) снижение давления, указывающее на незаполненность открытого пространства шахты водой; и б) рост давления по мере заполнения пустотного пространства водой



Источник: Pilcher, R., 2019, неопубликованные данные моделирования и результаты анализа.

сжатия газа и повышения давления. В примере, показанном на **рисунке 2.3 а)**, результирующее давление в пустотном шахтном пространстве понижается с течением времени, что позволяет предположить отсутствие воды в пустотном пространстве, однако давление в шахте, как показано на **рисунке 2.3 б)**, растет с течением времени, что указывает на возможность заполнения шахты водой. Очевидно, что если вода продолжит заполнять пустотное пространство шахты, то угольные пласты, из которых происходит десорбция газа, будут покрыты водой, а вес водяного столба в конечном счете будет оказывать давление, превышающее давление десорбции и достаточное для того, чтобы остановить поток газа из пласта.

Экстенсивная добыча угля в угольном бассейне может привести к тому, что выработки разного возраста и глубины станут взаимосвязанными. Такие связи обеспечивают возможность миграции газа на значительные расстояния после закрытия шахты и в некоторых случаях могут создать проблемы, связанные с поверхностными выбросами газа за пределы территории только что закрытой шахты.

Неконтролируемые газовые выбросы на закрытых угольных шахтах, как правило, относятся к одной из следующих категорий:

- точечные выбросы, обнаруживаемые на территории площадью чуть более нескольких квадратных метров, обычно прослеживаемые до конкретного ликвидированного и недостаточно герметизированного входа в закрытую шахту;
- локализованные выбросы, представляющие собой утечку газа на конкретной шахте, мигрирующего по неглубоким проницаемым путям, воздействие которых сказывается на территории площадью в несколько десятков квадратных метров;
- площадные выбросы, при которых газ мигрирует к поверхности через поверхностные отложения, перекрывающие нижележащие выходящие на поверхность проницаемые слои неглубокими газообильными выработками, занимающие обширную площадь.

Потенциальная возможность возникновения таких рисков должна быть оценена в рамках процедуры закрытия угольных шахт. Идеальная герметизация бывших шахтных входов является трудной задачей. По мере притока грунтовых вод в заброшенные выработки давление газа может возрастать и усиливать неорганизованные выбросы и утечку газа на поверхность. Снижению риска может способствовать установка пассивной газоотводящей системы, обеспечивающей

Рисунок 2.4 Газоотводы на выведенной из эксплуатации шахте, Соединенное Королевство



Источник: Creedy, D. P. и K. Garner, 2002.

контролируемый выброс газов (**рисунок 2.4**). В более сложных ситуациях, когда выявлены обширные области выбросов, активная добыча (откачка газа) может снизить вероятность опасности выхода газа на поверхность; газ необязательно может быть достаточно чистым или доступным в достаточном количестве, чтобы обеспечить его использование в коммерческих целях.

Возникающие на выведенных из эксплуатации шахтах и вблизи них риски для окружающей среды и безопасности могут быть снижены путем:

- совершенствования герметизации шахтных входов (стволов, штолен и галерей);
- стабилизации неглубоких выработок и шахтных входов в целях предотвращения дальнейшего перемещения грунта;
- устройства отверстий для разгрузки давления газа через шахтные входные затворы;
- использования систем активной добычи МЗШ;
- перехвата и очистки сбрасываемых шахтных вод;
- установки систем экологического мониторинга;
- инспектирования и мониторинга в период после закрытия;
- возведения конструктивных перегородок, препятствующих миграции газа, и принятия мер для проветривания подвальных помещений в промышленных, коммерческих и жилых зданиях в целях предотвращения поступления опасных газов.

Экологическими проблемами на закрытых шахтах можно управлять (**вставка 1**) при условии, что право собственности на остаточный уголь, подземные выработки и газ четко определены.

Управление угольной промышленности Соединенного Королевства является одним из примеров органа, сформированного правительством в целях принятия в собственность

Вставка 1. Пример регулятивного органа, отвечающего за устранение экологических рисков, связанных с закрытыми шахтами

Управление угольной промышленности Соединенного Королевства является правительственной организацией, отвечающей за выполнение ранее принятых обязательств, связанных с выведенными из эксплуатации шахтами, которые были возвращены в государственную собственность. Реализована программа инспектирования и мониторинга выведенных из эксплуатации угольных шахт в целях выявления потенциальных проблем и их предупреждения. Механизмы экстренного реагирования обеспечивают быстрое реагирование на любой зарегистрированный инцидент и его урегулирование. Программа мониторинга включает:

- измерение состава газа, расхода и давления на шахтных газоотводах, установленных для обеспечения контролируемого выброса;
- осмотр пламеуловителей и газоотводов, с тем чтобы убедиться в том, что они не заблокированы;
- измерение уровня воды в стволах и наблюдательных скважинах, расхода и качества воды;
- обеспечение безопасности объектов мониторинга, вентиляции и водоподготовки;
- ревизия и анализ результатов.

имущества выведенных из эксплуатации шахт, который наделен полномочиями и обеспечен финансированием для решения вопросов, связанных с ранее взятыми обязательствами, которые угрожают безопасности населения. Оно также осуществляет надзор за взаимодействием по вопросам угольных шахт, закрытием угольных шахт и закрытием программ по МЗШ в качестве собственника угля и бывших разработок. Важно также отметить, что, хотя управление закрытыми шахтами может снизить риски в плане безопасности, оно не приводит к сокращению выбросов в целом, если не обеспечивается утилизация метана.

2.2 Состав газов на выведенных из эксплуатации шахтах

Наиболее распространенными газами, встречающимися в выработках закрытых угольных шахт, являются диоксид углерода, азот, водяной пар, кислород и метан. Соотношение этих газов может существенно отличаться на угольных месторождениях, и в некоторых выведенных из эксплуатации шахтах с низкой газообильностью могут присутствовать только следы метана. В ряде бывших газообильных шахт также могут встречаться этан и другие алканы. Если источником добываемого МЗШ являются угольные пласты, то соотношение этана и метана будет более высоким в результате дифференциальной десорбции, при которой более длинная цепочка молекул алканов десорбируется позже метана. Образующийся в неугольных пластах МЗШ может быть заметно иным по составу. В результате низкотемпературного окисления или неполного сгорания углеродистого материала в нем может присутствовать окись углерода. Сульфид водорода и другие газовые примеси могут придавать характерный запах выбросам шахтных газов. Пахучие газы в низких концентрациях, как правило, не представляют опасности для здоровья, но могут создавать неудобства в виде неприятного запаха. Относительная концентрация газа важна не только по соображениям экологии и безопасности; она также играет ключевую роль при планировании потенциального конечного использования газа.

Таблица 2.1 демонстрирует различия в составе газа, обнаруженного на выведенных из эксплуатации угольных шахтах, которые расположены в Иллинойском угольном бассейне. Различия в составе газов зависят от многих факторов, наиболее важным из которых является степень герметизации шахты для предотвращения притока воздуха. Высокое содержание кислорода и

азота указывает на высокую долю поступающего воздуха, в то же время высокие концентрации углеводородов указывают на то, что вскрываемые выработки в шахте относительно хорошо герметизированы и не позволяют воздуху поступать в шахту в периоды высокого атмосферного давления. Шахты могут быть разделены на части из-за расположения горных выработок или проседания и обрушения кровли после их закрытия, что приводит к изменению состава газа, поскольку вследствие отсутствия прямого сообщения поток газов не может перемещаться между участками.

Таблица 2.1 Состав проб, отобранных на выведенных из эксплуатации шахтах в Иллинойском угольном бассейне, США

Округ штата Иллинойс	Шахта или скважина	Глубина (фут)	Состав газа						Теплотворная способность, (МДж/м ³)
			CO ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₃ H ₈	
Кристиан	Joe Simkins 1		16,3	1,1	63,1	19,0	0,5	0,2	7,5
Клинтон	Breese-Trenton	435	11,8	0,4	27,1	60,3	0,2	0,1	23,1
Клинтон	Pessina 1		10,2	0,3	20,7	68,8	HO	HO	25,9
Франклин	Zeigler	380	5,9	0,6	28,8	64,7	HO	HO	24,4
Франклин	Peabody 1	535	8,2	0,7	13,8	77,3	0,2	HO	29,2
Галлатин	B & W Coal		0,1	20,7	79,2	HO	HO	HO	-
Монтгомери	G. Stieren, Crown 1	362	5,5	HO	24,4	69,8	0,2	HO	26,5
Перри	F. Hepp, Bernard Mine	105	19,0	0,8	56,8	23,4	HO	HO	8,8
Рандолф	Moffat Coal 2		3,3	11,6	85,1	HO	HO	HO	-
Сент-Клэр	Peabody Coal, разведочная скважина	126	0,3	HO	10,5	89,2	HO	HO	33,6
Салин	Charter Oil 1A		HO	0,6	12,8	75,9	9,5	HO	35,8
Салин	A. Farris, Dering Mine	460	4,0	0,5	5,2	90,3	HO	HO	34,1
Салин	A. Farris, Dering Mine		5,5	0,1	3,4	90,9	HO	HO	34,3
Салин	Wasson Mine, ствол шахты		6,2	0,6	40,7	51,0	1,5	HO	20,2
Салин	M.L. Devillez 3		3,3	4,1	50,8	41,8	HO	HO	15,8
Салин	W. Duncan, Cook-Spear 1	439	5,7	0,3	7,3	85,7	HO	HO	32,4
Салин	Adams Unit 1 (Sahara 10)		6,2	0,2	2,2	90,2	HO	HO	34,2
Салин	Jade Oil, Dering Mine		6,2	1,5	8,9	83,4	HO	HO	31,4
Салин	Sahara 10 Mine	445	8,7	3,5	64,8	23,0	HO	HO	8,7
Салин	Dan January		3,1	0,7	9,8	86,3	HO	HO	32,6
Салин	J. Wilson, Sahara (O'Gara 8)	405	6,1	0,2	3,1	90,6	HO	HO	34,2
Салин	Frank Genet Mine		8,6	0,8	HO	90,1	HO	HO	34,0
Салин	Sahara 1 Mine		7,0	3,7	72,7	16,6	HO	HO	6,3
Вермилион	Bunsenville Mine		6,5	14,4	79,1	HO	HO	HO	-

Источник: Demir, I., et al, 2004.

Примечание: HO = не обнаружено.

3. Количественная оценка ресурсов МЗШ и прогнозирование дебита газа

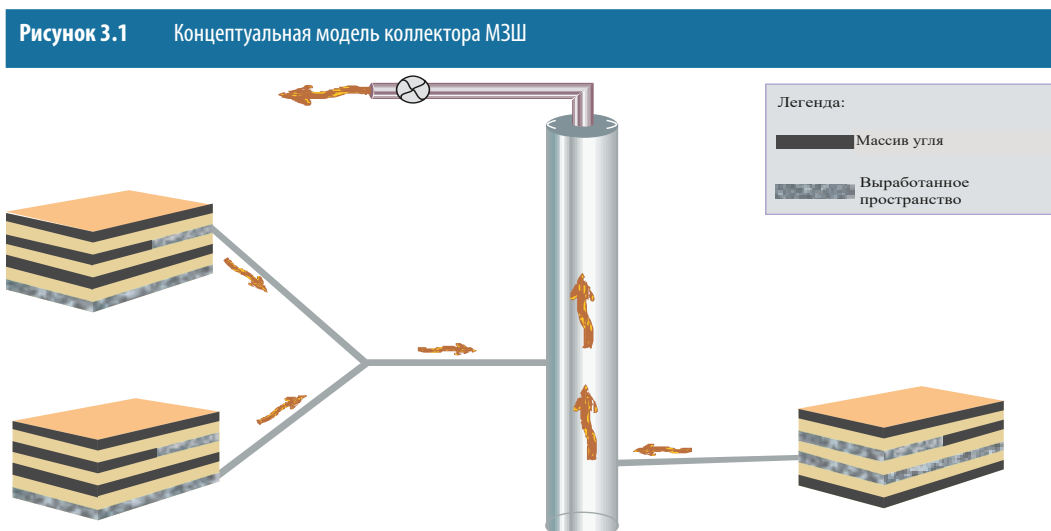
Основные тезисы

- Составление характеристики коллектора МЗШ является первым важным этапом работы по оценке потенциально извлекаемых газовых запасов с учетом последствий восстановления уровня шахтных вод, затопления горных выработок и инженерных работ, проведение которых может быть необходимо для контроля притока воздуха.
- Коллектор МЗШ состоит из угольных пластов и любых дополнительных газоносных пород в толще, разгруженной при ведении очистных работ в прошлом. В некоторых случаях он может также включать метан биогенного происхождения.
- Штреки выведенных из эксплуатации шахт служат каналами, по которым МЗШ направляется к выбранной добывающей скважине, стволу или штольне.
- Последствия способов добычи, не связанных с обрушением, в частности камерно-столбовой разработки, значительно меньше по сравнению с выемкой длинными очистными забоями и зачастую исключаются при подсчете газовых ресурсов.
- Потенциальный дебит добываемого газа можно оценить на основе данных о газообильности шахты, измеренной до ее закрытия, путем экстраполяции экспоненциальных или гиперболических кривых спада.
- Фактические значения дебита можно определить путем испытания на приток с использованием откачивающего насоса.
- Эффективность добычи газа может быть поставлена под угрозу в случае притоков свежего воздуха в горные выработки через плохо герметизированные входы на поверхности.

3.1 Ресурсы МЗШ

Объем извлекаемого из угольного пласта МЗШ зависит от мощности залежи и остаточной газоносности угольных пластов после добычи в пределах зоны влияния бывших горных работ. Геологические подсчеты ресурсов МЗШ можно производить, используя простую модель, объединяющую информацию из планов добычи полезных ископаемых, геологических журналов, данные о притоке воды и измерения содержания газа на месте. Концептуальная модель коллектора МЗШ представлена на **рисунке 3.1**.

Согласно проведенным в Европе исследованиям, коллектор МЗШ выемочного участка обычно включает вышележащие на удалении 160–200 м и нижележащие в пределах 40–70 м от него угольные пласты (ЕЖ ООН, 2016). На участках с большой крепостью вмещающих пород, особенно кровли, область разупрочнения может быть значительно меньше. В процессе разработки выделяется лишь часть газа, содержащегося в ненарушенных пластах кровли и почвы, объем которого зависит от близости нарушенного неотработанного угольного пласта к отработанному пласту и проницаемости для газа. При оценке ресурсов остаточного газа в случае последовательной разработки нескольких сближенных пластов необходимо учитывать кумулятивный эффект дегазации каждой выработки.



Источник: Creedy, D. P. и K. Garner, 2002.

3.2 Запасы МЗШ

Запасы МЗШ – это объем газа, который может быть извлечен с учетом показателей затопления. Затопление постепенно изолирует источники МЗШ по мере подъема воды в старых выработках. Вследствие этого не только сокращается объем доступного газового коллектора, но и может быть изолирована часть выработок путем затопления сообщающихся штреков. Локализованное затопление может ограничить способность установленных на поверхности откачивающих насосов создавать отрицательное давление всасывания во всех выработках закрытых шахт. Данные об откачке вод до закрытия шахты дают представление о вероятном притоке воды, однако герметизация входов в шахту и ликвидация связи с поверхностными водами может снизить это значение.

Хотя осушение шахты в целях обеспечения максимальной добычи МЗШ технически возможно, это, как правило, вряд ли целесообразно с финансовой точки зрения. Сброс грунтовых вод на поверхность может также подпадать под действие ограничительных экологических норм, что способно усложнить эту задачу и увеличить расходы. Поэтому уровень воды в выведенной из эксплуатации шахте является важным ограничением для реализации проектов по МЗШ. Зачастую существует лишь ограниченная возможность для использования МЗШ из шахт до их затопления.

Подземные штреки обеспечивают пути передачи давления всасывания от установленных на поверхности насосов в основные газовые коллекторы. Всасывание необходимо для создания градиента давления и поддержания десорбции газа из угля. Чем меньше давление всасывания, тем меньше объем извлекаемого газа. Поэтому процесс добычи газа в значительной степени зависит от десорбции газа из основных угольных пластов, поступающего в выработанное пространство, и от насосов, откачивающих газ, просачивающийся через многочисленные перемычки; поддержание дебита возможно лишь при небольших утечках через большое количество перемычек. При низких требуемых показателях дебита потери давления через перемычки незначительны. Иногда эффективность добычи газа может быть поставлена под угрозу в случае утечек свежего воздуха в горные выработки через плохо герметизированные выходы на поверхность.

На шахтах, которые были выведены из эксплуатации за несколько лет до установки системы газодобычи, шахтные воды могли накапливаться в некоторых выработанных пространствах и вытеснять метан в штреки и неглубокие выработки. Вытесняемый газ может быть доступен для добычи и под давлением изначально обеспечивать высокий дебит. Однако общий объем доступного газа может быть слишком мал для обоснования программ коммерческой добычи МЗШ.

После затопления выработанного пространства связанные с ним основные источники газа больше не могут выделять газ в горные выработки. Хотя ресурс и не утрачивается, для восстановления процессов десорбции требуется осушение.

В целом объем извлекаемого МЗШ зависит от:

- остаточного содержания газа в разрабатываемом пласте и любой газоносной породе или угольном пласте в пределах зоны влияния;
- объема пустотного пространства ликвидированных выработок и скорости затопления;
- взаимосвязанности участков, на которых в прошлом добывался уголь, и выработанных пространств;
- десорбционных характеристик угля и давления газа;
- качества изолирующих перемычек на поверхности.

3.3 Прогнозирование дебита МЗШ

Потенциальный дебит добываемого газа можно оценить на основе данных о выбросах газа на шахте, измеренных до ее закрытия, путем экстраполяции экспоненциальных или гиперболических кривых спада. Фактические значения дебита можно определить путем испытания на приток с использованием откачивающего насоса. Важно понимать, что быстрое затопление может привести к стремительному снижению дебита и значительному сокращению извлекаемого объема. Высокое давление газа в ликвидированных горных выработках может быть завышенным показателем из-за повышения уровня воды в хорошо герметизированной системе.

Для оценки выбросов МЗШ на выведенных из эксплуатации шахтах зачастую используются экстраполированные кривые спада на основе данных измерений (**рисунок 3.2**). Общая площадь под кривой спада представляет собой извлекаемый объем МЗШ при отсутствии воздействия новых возмущающих факторов. Однако экстраполяция объемов выбросов МЗШ лишь на основе нескольких источников данных заведомо ненадежна, поскольку не учитывает объемы различных пустотных пространств в различных разрабатываемых пластах и, соответственно, различия в притоке воды.

Рисунок 3.2 Кривая спада выбросов МЗШ

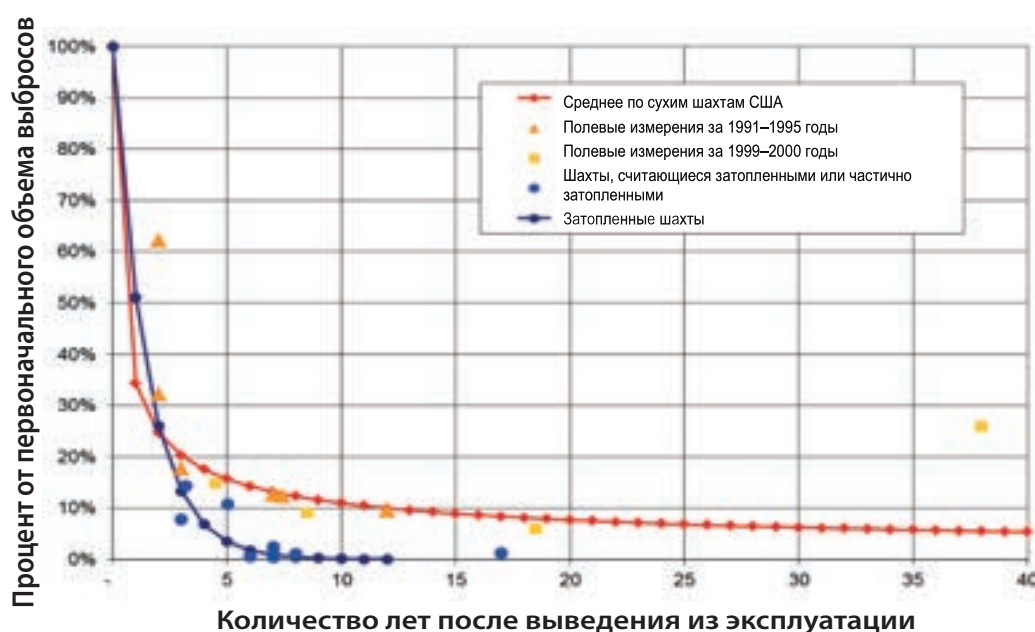


Источник: Coté, M., 2018c.

Надежный процесс определения вероятного объема МЗШ, доступного для использования, включает расчеты балансовых запасов МЗШ на основе горно-геологических данных и данных об остаточном содержании газа. Границы коллектора определяются размером бывших зон разгрузки лавы, а ресурсы газа – как остаточное содержание газа в угольном массиве, нарушенном в ходе разработки лавы в прошлом.

Объем извлекаемого газа зависит от взаимосвязанности горных выработок, стандартов герметизации входов и скорости затопления. Последний показатель можно оценивать по каждому пласту, используя данные о скорости притока воды и оценки пустотного пространства на каждом эксплуатационном горизонте. Таким образом, объем запасов МЗШ является функцией глубины затопления (**рисунок 3.3**).

Рисунок 3.3 График, показывающий разницу в темпах снижения потенциальных выбросов для сухих и затопленных шахт



Источник: Côté, M., et al, 2003.

Например, среднее остаточное содержание газа в Соединенном Королевстве обычно составляет 25–50% от первоначального содержания газа в ненарушенном стандартном угольном пласте. В коллекторах МЗШ, где сближенные пласты были в значительной степени разработаны, для расчетов в первом приближении используется значение 25%; там, где выработки ограничены одним разрабатываемым пластом и в зоне разгрузки имеется ряд угленосных слоев, используется значение 50%. В большинстве случаев данный показатель может находиться в промежутке между этими двумя значениями, и приемлемым считается стандартное значение 35%.

Остаточное содержание способного к десорбции газа можно также оценить, используя эмпирические соотношения (Creedy and Kershaw, 1988), полученные на основе измерений содержания газа в скважинах, пробуренных через старые выработки (Creedy, 1985).

Путем сложения значений уровня воды как функции времени и запасов газа как функции глубины можно получить функцию запасов МЗШ в зависимости от времени (Kershaw, 2005).

4. Оценка осуществимости проектов по добыче и утилизации МЗШ

Основные тезисы

- Коммерческий успех проекта по МЗШ зависит от его возможностей в плане конкуренции с другими видами топлива и источников энергии на рынке.
- Оценка осуществимости проектов по МЗШ включает рассмотрение вопросов, касающихся добычи, геологических условий, земной поверхности и планирования, а также рынков газа и электроэнергии и политической обстановки.
- Проекты по МЗШ предусматривают различные варианты утилизации, выбор которых зависит от ряда факторов, включая цены на энергоносители, доступ к газовым ресурсам, стимулы и другие факторы.
- Разработка и реализация проекта по МЗШ должны включать четко сформулированную стратегию добычи газа и признание вероятности истощения добываемых ресурсов.

4.1 Факторы, учитываемые при оценке осуществимости проектов по МЗШ

Оценка осуществимости проектов по МЗШ включает рассмотрение вопросов, касающихся добычи, геологических условий, земной поверхности и планирования, а также рынков газа и электроэнергии и политической обстановки. В проектах должны учитываться не только технические проблемы добычи газа (например, контроль притока воздуха и воды), но и требования конечного пользователя.

Степень детализации исследования и надежность результатов зависят от того, на каком этапе закрытия находится шахта, и от наличия документации. Типичными являются следующие ситуации:

1. Шахта закрыта в течение некоторого времени, документация представлена не в полном объеме или отсутствует, имеются ограниченные эмпирические данные.
2. Шахта закрыта недавно, наряду с надежными архивными данными имеются некоторые пробелы.
3. Шахта находится в процессе закрытия и доступны все соответствующие данные.

Коммерческий успех проекта по МЗШ зависит от его возможностей в плане конкуренции с другими видами топлива и источников энергии на рынке. На возможность утилизации МЗШ влияют:

- наличие, количество и качество газа;
- требования потребителей и условия контрактов;
- стоимость и наличие альтернативных видов топлива;
- нормативно-правовая база;
- любые стимулы для утилизации МЗШ, которые правительства зачастую создают в целях получения соответствующих социальных выгод;
- капитальные и эксплуатационные затраты;
- доступность объекта.

Не все выведенные из эксплуатации шахты подходят для проектов по использованию МЗШ. Хотя бывают исключения. На некоторых закрытых шахтах, где велась разработка угольных пластов с низким содержанием газа, образуются смеси с низким содержанием кислорода и диоксида углерода (удушливый газ). По сообщениям, шахта с низким содержанием газа становится производителем МЗШ, возможно, в результате образования микробного метана (Backhaus, 2018).

В районах экстенсивной добычи угля или там, где количество угольных пластов в толще пород, залегающих над разработанными угольными пластами и под ними, невелико, потенциальное содержание МЗШ может быть низким. На пригодность выведенной из эксплуатации шахты для проекта по МЗШ влияют и другие факторы (**вставка 2**); как правило, они связаны с возможностями контроля притока воздуха и скорости притока воды в пределах ликвидированных выработок.

Вставка 2. Основные характеристики перспективных шахт для проектов по МЗШ

- Обширная площадь взаимосвязанных ликвидированных выработок;
- большой объем угля в неразработанных пластах, разгруженных в ходе разработки выше- и нижезалегающих пластов (т. е. значительная мощность угольных пластов, залегающих над разработанными угольными пластами и под ними);
- применение методов добычи, предусматривающих сплошную разработку длинными забоями;
- значительное остаточное содержание метана в неразработанных угольных пластах;
- минимальный приток воды;
- возможность сокращения притока воды в рамках программы закрытия;
- планировка шахты, обеспечивающая водоотвод в самые нижние выработки с незначительным затоплением основных штреков или без их затопления;
- минимальное количество шахтных входов;
- незаложенный ствол или незаложенная штольня, откуда может производиться добыча газа, или наличие участка, подходящего для бурения газодобывающей скважины;
- наличие надежных данных об отработке шахтных стволов;
- отсутствие сообщения с неглубокими выходящими на поверхность выработками и, соответственно, притока воздуха;
- наличие подъездных путей для развития инфраструктуры и благоустройства;
- наличие местного рынка газа или энергогенерирующих объектов малой мощности и высокие цены на энергоносители.

4.2 Стратегии добычи газа

При формулировании стратегии добычи газа следует рассмотреть различные варианты в целях обеспечения максимальной прибыли и получения выгод заказчиками:

- добыча максимально возможного объема газа перед закрытием с использованием традиционных методов дегазации при обеспечении доступа к основным местам добычи газа и контроля за процессом;
- возможность максимального объема добычи после закрытия и проведения работ по герметизации на раннем этапе, пока дебит газа самый высокий, а также извлечения максимального объема газа до ликвидации источников дегазации вследствие их затопления;
- добыча МЗШ в целях удовлетворения спроса конкретных потребителей.

Следует также рассмотреть вопрос об оптимизации использования истощающихся источников МЗШ:

- добыча и использование МЗШ при дебите меньше максимального при риске сокращения разрабатываемых запасов газа вследствие продолжающегося притока грунтовых вод;
- добыча МЗШ только в целях удовлетворения пикового спроса, с тем чтобы воспользоваться преимуществами высоких пиковых тарифов на производство энергии;
- комбинированное производство энергии с использованием природного газа в районах, где стоимость добычи МЗШ меньше закупочной цены природного газа;
- использование передвижных комплексных генерирующих систем в целях перераспределения избыточной мощности при наличии альтернативных объектов и готовности к получению излишнего оборудования.

4.3 Варианты утилизации МЗШ

Для проектов по МЗШ имеются различные варианты утилизации, аналогичные тем, которые предлагаются в отношении использования природного газа. При выборе наиболее подходящего варианта конечного использования необходимо учитывать цены на энергоносители, договоренности о передаче газа и электроэнергии, меры регулирования и стимулирования, инфраструктуру и доступ, планирование, экологические вопросы, корпоративные цели и требования заказчиков.

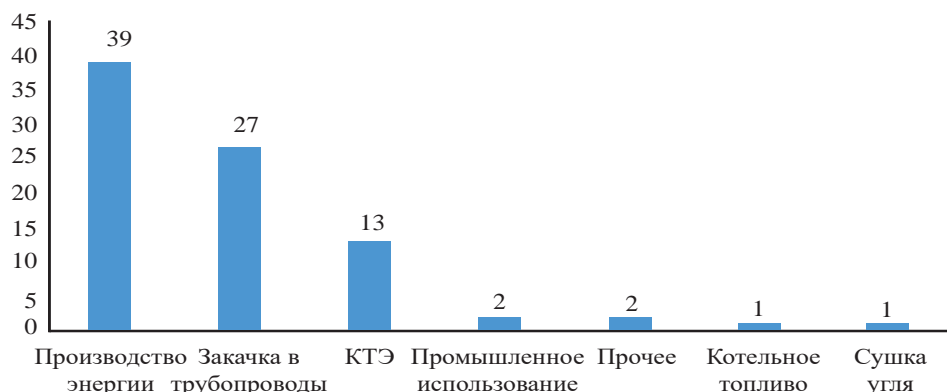
В зависимости от качества газа и других факторов варианты утилизации метана в коммерческих целях включают:

- производство электроэнергии;
- комбинированное производство тепла и энергии (КТЭ) в промышленных и/или городских районах;
- коммерческие поставки на рынок природного газа по существующим газопроводам;
- потребление местной промышленностью тепла, доставляемого по местным трубопроводам;
- закачка природного газа с содержанием МЗШ низкого качества в объемах, обеспечивающих соблюдение технических условий для трубопроводов;
- использование в качестве сырья для химической промышленности;
- использование в микротурбинных установках малой мощности и топливных элементах;
- топливо для транспортных средств (эквивалент КПГ);
- монетизированные льготы, связанные с сокращением выбросов парниковых газов (например, факельным сжиганием).

Наиболее распространенными вариантами утилизации метана в коммерческих целях являются производство энергии (включая КТЭ) и продажа с использованием трубопроводов природного газа. На **рисунке 4.1** представлено распределение вариантов утилизации, применяющихся в проектах по МЗШ, реализуемых во всем мире, согласно информации из международной базы данных о проектах по шахтному метану ГИМ (Глобальная инициатива по метану, 2016 год).

Каждый технологический вариант утилизации МЗШ имеет свои специфические ограничения, преимущества и недостатки (**таблица 4.1**).

Рисунок 4.1 Проекты по МЗШ, реализуемые во всем мире



Источник: Глобальная инициатива по метану, 2016 год.

Таблица 4.1 Общие характеристики вариантов конечного использования МЗШ

Вариант конечного использования	Применение	Преимущества	Недостатки	Требование к качеству газа (% CH ₄)
Закачка в трубопровод природного газа	Высокое качество МЗШ (очищенный)	Эквивалент природного газа, привлекательный на рынках с высокими ценами на газ и хорошо развитой трубопроводной инфраструктурой	Требуется МЗШ высокого качества, источники которого расположены вблизи трубопровода природного газа или имеют доступ к нему. В случае несоответствия требованиям к качеству необходима дорогостоящая очистка	Содержание метана 95–97%
Закачка природного газа	Имеются различные способы закачки МЗШ низкого качества в трубопроводы природного газа	Способствует использованию МЗШ низкого качества, который в ином случае был бы выпущен в атмосферу	Может добавляться только в определенном объеме в целях обеспечения соблюдения технических условий для природного газа; коммерческое применение крайне ограничено вследствие низкой цены на МЗШ. Перед закачкой требуется исключить возможность образования потенциально взрывоопасных смесей	>25%
Промышленное для непосредственного использования в целях генерации тепла	Газ среднего качества для использования в промышленных и коммерческих целях и отопления жилых районов	Низкозатратный источник энергии, требуется минимальная газоподготовка, может добываться по запросу	Могут возникать проблемы в плане объема и качества газа для долгосрочных поставок; стоимость прокладки местного трубопровода или подключения к существующему промышленному трубопроводу	>35%
Производство энергии и использование отработанного тепла (КТЭ)	Газовые двигатели-генераторы, обеспечивающие при необходимости рекуперацию тепла	Хорошо зарекомендовавшие себя технологии могут обеспечить генерацию в зависимости от спроса в необходимых пределах; возможность использования в период пиковых нагрузок с высокими тарифами; возможность использования отработанного тепла	Значительные капитальные вложения; возможность использования только там, где достаточно высокая цена на электроэнергию; неопределенность в плане обеспечения расхода и качества газа в долгосрочной перспективе; истощение ресурсов газа с течением времени; подключение к сетям может быть дорогостоящим	>35%
Применение в иных целях	Сырье для химической промышленности; КПГ и СПГ для транспортных средств; микротурбины и топливные элементы	Нишевое использование, привязка к месту и зависимость от спроса	Как правило, требует дорогостоящей очистки; обычно требуется газ, качество которого по процентному содержанию CH ₄ не ниже предъявляемого к газу для трубопроводов	

На сегодняшний день проекты по МЗШ в основном осуществлялись в целях снабжения газом местной промышленности по местному распределительному трубопроводу или производства электроэнергии с помощью расположенных на объекте модульных двигателей с искровым зажиганием. Выбор варианта конечного использования был обусловлен местными и национальными ценами на энергоносители, требованиями местного рынка, политическими приоритетами и стимулами, транспортными расходами и инвестиционной стоимостью проектов. В Соединенном Королевстве построены специальные трубопроводы для поставок МЗШ промышленным потребителям.

Использование МЗШ для закачки в трубопроводы и генерации тепла имеет множество преимуществ в плане простоты добычи и поставки, низких капитальных затрат и гибкости рынка. В отсутствие альтернативных поставок газа цена на такое чистое топливо, как МЗШ, может быть весьма выгодной. Однако там, где налажено снабжение природным газом, может возникнуть необходимость в предложении МЗШ по более низкой выигрышной цене в целях сохранения доли на рынке. К факторам, влияющим на использование МЗШ в качестве топливного газа, относятся:

- расходы на компримирование газа для непосредственной закачки в распределительную сеть трубопроводов;
- допустимый состав газа для закачки;
- близость существующих трубопроводов и необходимость строительства трубопроводной сети;
- соблюдение минимальных требований к газу в течение периода снабжения;
- доступ к источникам альтернативных видов топлива для обогащения газа или обеспечения резервного снабжения;
- доступ к системе газоснабжения, контроль и регулирование подачи газа в систему газоснабжения;
- наличие газохранилищ на месте или вблизи потребителей и необходимость в них;
- близость местных промышленных потребителей;
- необходимость и стоимость газоподготовки;
- наземный доступ к трубопроводной сети или хранилищу;
- рынок КПП.

Если качество и объемы добычи газа высоки, а проект расположен вблизи газопроводной сети, то продажа газа на более крупный рынок может стать привлекательным вариантом. Продажа МЗШ и его подача в коммерческие трубопроводы могут осуществляться, если добываемый газ отвечает определенным критериям. Операторы трубопроводов зачастую предъявляют к качеству газа весьма строгие требования, которые должны быть соблюдены до того, как газ будет закачан. Пределы по концентрации устанавливаются в целях защиты от неограниченного притока токсичных газов, влаги, диоксида углерода и кислорода. Наличие влаги и диоксида углерода в трубопроводе может привести к коррозии, токсичных газов – к формированию опасных условий на месте конечного использования, а кислорода – к опасности взрыва. Несмотря на наличие технологий очистки газа до уровня газовых стандартов, во многих странах такой процесс вряд ли будет коммерчески жизнеспособным.

Газ может также использоваться в топливных элементах и микротурбинах в целях удовлетворения потребностей в производстве электроэнергии на месте или для обслуживания потребителей с низким энергопотреблением, однако эти технологии в настоящее время являются дорогостоящими из-за их, как правило, небольшой мощности.

Проект по утилизации МЗШ может включать добычу и использование газа на одной или нескольких выведенных из эксплуатации шахтах. Совместная реализация проектов по МЗШ и шахтному метану (ШМ) на действующих шахтах может также быть выгодной. В то время как МЗШ может добываться по мере необходимости, извлечение МШ должно быть непрерывным для обеспечения безопасности действующей шахты. Поэтому в целях удовлетворения пикового спроса на газ МЗШ может использоваться совместно с ШМ. В случае низкого спроса выведенная из эксплуатации шахта может служить хранилищем ШМ. Наличие нескольких источников газа выгодно в плане повышения надежности газоснабжения и обеспечения возможностей для контроля и поддержания желаемого уровня чистоты газа.

Независимо от конечного использования, для проектов по МЗШ требуется, чтобы газ поставлялся с заданными значениями расхода и концентрации в течение всего срока действия контракта на поставку. В целях эффективного управления проектом требуется понимание процессов, которые приведут к изменению состава, давления и дебита газа, и, в частности, могут иметь последствия, связанные с повышением уровня воды в шахте. Поэтому в ликвидированных выработках желательно проводить контроль притока и уровня воды.

Теплотворная способность газа (высокая или низкая, скорректированная на стандартные условия температуры и давления в отсутствие влаги) является предпочтительным на международном уровне показателем энергоснабжения, который должен использоваться в качестве основы при решении вопросов договорного характера и для оценки работы системы использования МЗШ.

Для **производства электроэнергии** с использованием МЗШ обычно применяются поршневые двигатели. Усовершенствованные системы управления запасами топлива и системы удаленного мониторинга и контроля позволяют реализовывать проекты с использованием небольшого количества персонала. Большинство проектов, вероятно, подходят для производства электроэнергии при базовой нагрузке (24 часа), хотя в некоторых случаях можно воспользоваться преимуществами более высоких цен на электроэнергию в период пиковой выработки (снижения пиковых нагрузок).

К факторам, влияющим на выбор варианта использования МЗШ для производства энергии, относятся:

- расположение, мощность и класс существующей электrorаспределительной инфраструктуры;
- доступ и плата за подключение к национальной системе снабжения;
- связанные с измерением и контролем затраты для поставки выработанной энергии;
- требования к мощности местного пользователя;
- потенциал объектов местной инфраструктуры;
- требования в отношении земельных ресурсов и доступа;
- использование отработанного тепла на объекте или по месту;
- существование льготных тарифов или других субсидий на чистую энергию.

5. Оптимизация добычи МЗШ

Основные тезисы

- Для успеха проектов по МЗШ основное значение имеет способность свести к минимуму приток воздуха в заброшенные выработки и обеспечить контроль притока воды.
- Инженерные мероприятия, направленные на обеспечение максимальной добычи МЗШ, могут быть включены в программу закрытия угольных шахт, и такие мероприятия будут более рентабельными при условии выполнения этих работ до закрытия.

5.1 Контроль притока воздуха

Для контроля притока воздуха требуется провести эффективную работу по обустройству **ВСЕХ** шахтных входов, имеющих отношение к проекту по МЗШ: не только тех, которые связаны с шахтой, но и любых, взаимосвязанных с выработками на соседних шахтах. Важно обнаружить и осмотреть все входы, обозначенные на планах шахт и на поверхности в местах их расположения.

Входами в шахту являются либо вертикальные стволы, либо наклонные штольни: от простых выработок с минимальным количеством крепей и до сложных инженерных конструкций. Варианты обустройства должны предусматривать не только необходимость создания газонепроницаемой изоляции, но также обеспечивать стабильность поверхности и безопасность для населения.

При разработке любых инженерных мероприятий необходимо учитывать такие факторы, как:

- существующая инфраструктура и конструктивные особенности ствола/штольни;
- глубина до верхнего слоя крепких пород и их геотехнические свойства;
- характер и глубина залегания поверхностных пород;
- контроль поверхностных вод;
- обустройство каналов для инженерных коммуникаций, вентиляционных каналов и т. д.;
- удаление оснастки стволов;
- существующие и будущие объекты на поверхности;
- рабочий доступ к шахтному входу;
- собственность на землю и доступ на земельный участок;
- будущее землепользование;
- положения о мониторинге;
- требования к содержанию.

Для обустройства шахтных входов на поверхности требуется строительство перекрытия шахтного ствола или изоляционной перемычки в штольню. Ключевое значение имеют следующие факторы:

- крайне важным при проектировании ствольных перемычек являются глубина и характер поверхностных пород;
- каналы для инженерных коммуникаций и вентиляционные каналы должны быть герметизированы;
- изоляционные перемычки должны быть устроены на надежном основании и проникать в природный пласт;

- трубопроводы, проходящие через кожух ствола или перемычку, должны быть газонепроницаемыми, иметь постоянный диаметр по всей длине без изгибов и устанавливаться таким образом, чтобы предотвратить скопление воды;
- в шахтах, предназначенных для добычи МЗШ, через перекрытие ствола в обязательном порядке прокладывается не менее двух отводных труб;
- диаметр труб должен быть достаточным для того, чтобы перепад давления был не более, чем это предусмотрено проектом;
- в целях проведения мониторинга и обслуживания к трубопроводам и задвижкам должен быть обеспечен безопасный доступ.

Инженерно-технические варианты обустройства шахтных вводов для облегчения испытаний и добычи МЗШ после закрытия шахты см. в **приложении 3**.

5.2 Контроль за поверхностными и подземными водами

Если не продолжать откачку воды после закрытия шахты, то ее уровень в ликвидированных выработках будет расти. В результате повышения уровня воды заброшенные выработки будут затоплены, изолируя тем самым не только участки с неразработанными угольными пластами (источники газа), но и пути миграции по подземным штрекам. Скорость притока воды варьируется от шахты к шахте. Для полного затопления шахты может потребоваться от нескольких месяцев до нескольких лет в зависимости от интенсивности притока и протяженности выработок. В период обычной работы шахты осуществляется сбор информации о местоположении и количестве воды, поступающей в выработки, объеме воды, откачиваемой на поверхность, а также об уже затопленных выработках.

В целях сведения к минимуму последствий притока воды и контроля за направлением потока воды разработка и проведение инженерных мероприятий могут осуществляться в рамках закрытия шахты. Эти мероприятия обычно наиболее целесообразны при наличии краткосрочных планов по утилизации метана. К их числу относятся:

- мероприятия по сведению к минимуму вероятности проникновения поверхностных вод через шахтные входы;
- устройство глиняных перемычек (или аналогичные меры) в шахтах или штольнях в целях ограничения потока воды в более глубокие выработки по этим путям;
- соединение различных участков горных работ посредством скважин, трубопроводов или штреков для регулирования потока и накопления воды;
- строительство водонепроницаемых перемычек;
- прокладка трубопроводов через нижние точки в пределах штреков для обеспечения возможности передачи газа;
- строительство пунктов мониторинга для оценки притока воды;
- продолжение монтажа или монтаж осушающих установок.

В плане выбросов важно отметить, что контроль за затоплением шахт может привести к увеличению их объемов, если утилизация метана не осуществляется быстрыми темпами.

Эффективное регулирование притока воды в рамках программы закрытия предусматривает выявление углублений в пределах основных сообщающихся штреков, в которых может скапливаться вода. Через эти участки можно проложить газонепроницаемые трубопроводы в целях предотвращения изоляции прилегающих выемочных блоков даже в случае затопления штрека. Это может быть особенно важно в основании стволов и штолен или в магистральных тоннелях, где загромождение может сказаться на обширной площади выработок и значительно сократить объем извлечения МЗШ.

Там, где это возможно, для мониторинга уровня воды следует использовать доступные стволы и штольни. В пределах ствола можно использовать имеющиеся трубопроводы, например в пределах бывших трубопроводов для подачи сжатого воздуха или воды.

Разработка соответствующих положений о мониторинге позволит оценить последствия повышения уровня воды и, в случае необходимости, принять меры по исправлению положения. К их числу можно отнести бурение скважин на конкретные целевые горизонты. Для безопасного прохождения старого выработанного пространства и выработок без потери флюида или во избежание выбросов опасных газов могут применяться методы бурения с обсадкой.

6. Разработка проектов по МЗШ

Основные тезисы

- Разработка проекта по МЗШ должна включать ряд исследований, начиная с базового камерального анализа, за которым должно следовать предварительное технико-экономическое обоснование и полное технико-экономическое обоснование.
- Камеральный анализ предусматривает не только обстоятельное изучение имеющейся технической документации, но также проведение пассивных или активных пластовых испытаний.
- Помимо более обстоятельного геологического, инженерного и эксплуатационного анализа, в материалах предварительного и полного технико-экономического обоснования приводится анализ политических, рыночных и финансовых условий, необходимых для удовлетворения потребностей инвесторов.
- Инвесторы проектов по МЗШ должны быть уверены, что прогнозируемая отдача от капиталовложений соизмерима со степенью риска.
- После принятия решения о начале реализации проекта по МЗШ следующими этапами являются проектирование, разработка, строительство и эксплуатация установок для добычи и уничтожения/утилизации газа.
- Ключевыми технологическими параметрами проектирования установки по МЗШ являются безопасность производственного персонала, общественная безопасность и адекватные меры по защите окружающей среды.
- Особое внимание следует уделять источникам воспламенения и уменьшению опасности взрыва, однако при разработке и осуществлении проектов следует также учитывать наличие неуглеводородных газов, включая окись и двуокись углерода.
- В целях обеспечения соблюдения процессов управления рисками необходимо регулярно проводить проверки безопасности.
- Контроль систем управления может осуществляться дистанционно, обеспечивая выявление проблем эксплуатационного характера в режиме реального времени, что позволяет руководству установки оперативно решать их.

6.1 Камеральный анализ

Важнейшая информация о коллекторе МЗШ содержится в документах, отчетах и планах горных работ. Коллектор можно охарактеризовать как ряд отдельных так называемых пачек угольных пластов, разгруженных в ходе разработки лавы в прошлом. Эти выработанные участки сообщаются между собой в пределах отдельной пачки штреками, которые, в свою очередь, соединены с главными шахтными и околоствольными выработками и, наконец, с поверхностью. Объем разгруженного угля в любой пачке будет варьироваться в зависимости от изменения состояния и проводимости штреков и путей, соединяющих выработанные пространства. Комплексную характеристику можно составить по данным опробования и анализа. При составлении характеристики коллектора МЗШ должны учитываться такие ключевые факторы, как:

- применяющиеся методы добычи и вероятная протяженность газового коллектора по вертикали;
- объем разгруженного угольного пласта и количество отдельных пачек, образующих газовый коллектор;
- тип и свойства прослоек между угольными пластами;
- потенциальные источники газа помимо угольных пластов;
- свойства угольных пластов и содержание газа;
- источники и расход воды;
- полузаопленные участки до закрытия;
- нижние точки на главных шахтных штреках, в которых вода может скапливаться и образовывать запруды;
- подземные пути сообщения с другими шахтами;
- главные подземные пути сообщения между различными эксплуатируемыми горизонтами;
- связь с неглубокими поверхностными выработками и возможность притока воздуха;
- возможность наличия незарегистрированных выработок и шахтных входов как возможных источников притока воздуха;
- количество шахтных входов и масштаб инженерно-технических мероприятий, необходимых для сведения к минимуму притока воздуха и воды;
- существующие операции по добыче газа.

Необходимо определить важнейшие характеристики коллектора в плане притока воды, расхода и вероятных сценариев восстановления уровня шахтных вод, а также возможности притока воздуха. Можно также определить места, подходящие для доступа к заброшенным выработкам для добычи, включая ствол, штольню или специально пробуренную скважину. Если существующие стволы или штольни не пригодны (возможно, вследствие их заполнения), необходимо использовать скважину. Как правило, в этих целях бурят скважины для добычи МЗШ, пересекающие штреки на стабильных в целом участках, имеющих надежное сообщение с сетью ликвидированных выработок.

6.2 Пластовые испытания

Цель камерального анализа изначально заключается в разработке трехмерной концептуальной модели коллектора. Однако по ключевым вопросам, определяющим максимальный уровень добычи, общий извлекаемый объем и качество газа, сохраняются неопределенности, в том числе в отношении:

- уровня и притока воды;
- возможности наличия открытых пустотных пространств в шахте;
- возможности притока воздуха через входы на поверхности;
- сообщения между пунктами добычи на поверхности и коллектором;
- проводимости подземных пластов.

Поэтому эффективная практика заключается в мониторинге концентрации и расхода газа, естественным образом выделяющегося из ликвидированных шахтных входов (пассивные испытания), а также в проведении опытной откачки газа (активные испытания) для подтверждения рентабельности разработки коллектора. Резюме различных испытаний и возможных толкований их результатов см. в **приложении 1**.

Активные испытания могут проводиться только в случае герметизации всех шахтных входов в соответствии с обоснованным стандартом. Насосы для испытаний могут быть подсоединены к существующей вытяжной трубе. При отсутствии подходящего соединения необходимо пробурить испытательную скважину, пересекающую выработку. Пробные откачки газа позволяют определить характеристики потока в пласте. Эти испытания дают информацию о сопротивлении протеканию между пунктом добычи на поверхности и подземными выработками, величине притока воздуха, эквивалентном сопротивлении сообщающихся между собой шахтных штреков и выработанных лав (выработанные участки), последствий притока шахтных вод и возможном составе и дебете газа. Результаты полевых испытаний необходимо рассматривать в совокупности с разрабатываемой моделью коллектора МЗШ, а не обособленно, иначе эти результаты могут быть истолкованы неверно, а замысел проекта поставлен под сомнение.

6.3 Предварительное технико-экономическое обоснование

Предварительное технико-экономическое обоснование требуется для убеждения потенциальных инвесторов в том, что предлагаемый проект имеет финансовый смысл и основные технические и административные факторы, которые могут сказаться на результате, уже определены. Предварительное технико-экономическое обоснование должно включать планы, содержащие ключевую информацию, помогающую новым участникам проекта быстро сформировать четкое понимание предложения. Снижению уровня неопределенности способствует качество данных. Существенное значение имеют ретроспективные и актуальные данные мониторинга ключевых факторов, в частности о содержании газа, выбросах в процессе добычи полезных ископаемых, поступлении воды и расположении водных объектов и уровне воды. Поддержка того или иного проекта, в конечном счете, будет зависеть от его финансовой и технической целесообразности.

Предварительное технико-экономическое обоснование предусматривает проведение базового геологического и горнопромышленного анализа угольной шахты, а также оценки рынка на высоком уровне и базового финансового анализа. В рамках рыночного и финансового анализа в предварительном технико-экономическом обосновании следует стремиться определить стимулы и другие политические меры поощрения наряду с возможными сдерживающими факторами. В той мере, в которой это практически возможно, полезно дать количественную оценку потенциальных издержек и выгод, связанных с политическими механизмами. Элементы, которые следует включить в предварительное технико-экономическое обоснование, перечислены в **приложении 2**.

6.4 Полное технико-экономическое обоснование

В то время как предварительное технико-экономическое обоснование представляет собой первоначальную оценку, содержащую некоторые данные по конкретному участку, разработка полного технико-экономического обоснования является целесообразным и зачастую необходимым мероприятием для обеспечения финансирования проекта. Технико-экономическая оценка может включать, среди прочих испытаний, подключение добывающего насоса к уже герметизированной шахте в целях определения производственных характеристик коллектора МЗШ. В связи с этим могут потребоваться инженерные работы для герметизации шахтных входов или улучшения стандартных характеристик существующих изолирующих перемычек. Поскольку это может быть связано со значительными капитальными затратами, работы на данном этапе должны выполняться только в том случае, если материалы предварительного технико-экономического обоснования свидетельствуют о перспективности проекта.

Вставка 3. Готовыми для инвестирования проектами по МЗШ считаются те, в рамках которых:

- выявлены значительные запасы, достаточные для осуществления проекта в течение не менее десяти лет;
- четко сформулированы и осознаны достижимые цели проекта;
- урегулированы вопросы собственности на газ, и разработчик получил права на добычу;
- определены структура управления и основные директивные органы;
- получены разрешения местных органов власти и поддержка (в том числе финансовая) с их стороны;
- технические риски поддаются количественной оценке и регулированию;
- выбрана подходящая технология, применимая к базе навыков сообщества;
- существует возможность получения дохода на раннем этапе;
- выявлены заказчики и заключены надежные контракты на поставку;
- будут получены значительные экологические и социальные выгоды;
- окупаемость капитала возможна в течение двух–трех лет;
- существуют долгосрочные перспективы использования/продажи газа.

Основными элементами технико-экономического обоснования являются:

- строительство или доработка перемычек шахтных входов и эксплуатационного трубопровода;
- пассивные газовые испытания (объем естественного газовыделения и состав газа);
- пробная откачка (тенденции давления, дебит и состав газа, добываемого при различных показателях извлечения);
- анализ результатов пассивного и активного контроля;
- устранение неисправностей и проведение исследований в соответствии с требованиями, предъявляемыми к перемычкам на входе в шахту и любым другим путям утечки;
- более обстоятельный геологический анализ;
- подробная и полная проектно-сметная документация на добычу и утилизацию;
- исследование рынка;
- анализ правовой и регламентационной базы;
- финансовая оценка.

6.5 Финансирование проектов по МЗШ

Необходимым условием получения финансирования для реализации проекта по МЗШ является его соответствие техническим критериям, что позволит получить прогнозируемый доход, который в общих чертах обычно определяется на этапе предварительного технико-экономического обоснования и в деталях – на этапе полного технико-экономического обоснования. Важным соображением при оценке осуществимости проектов является нормативно-правовая база, более обстоятельное описание которой приводится в **главе 7**. Политика и нормативные акты могут влиять на перспективы окупаемости и прибыльности посредством определения налоговых и фискальных стимулов, а также путем снижения административного бремени, с которым сталкиваются компании в связи с получением прав собственности или доступа к инфраструктуре. В некоторых случаях важную роль могут также играть экологические, политические и социальные факторы.

Инвесторов потенциального проекта по МЗШ необходимо убедить в:

- наличии всех необходимых одобрений, особенно в отношении прав на добычу МЗШ;
- технической целесообразности проекта;
- наличии рынка газа и готовности покупателей платить разумную цену;
- ясности и прозрачности проектной документации и наличии четко определенных, понятных и достижимых целей проекта;
- достаточном масштабе проекта для оправдания усилий, необходимых в целях структурирования финансовых механизмов и администрирования;
- возможности количественной оценки и регулирования технических и финансовых рисков, связанных с проектом;
- соизмеримости прогнозируемой отдачи от капиталовложений со степенью риска;
- сроках и определенности денежных потоков.

При наличии возможностей тиражирования проектов инвесторы могут согласиться на меньший уровень прибыли для первого проекта, зная, что полученный опыт приведет к разумной отдаче от последующих проектов.

Информация о возможных различных финансовых стимулах, которые могут повысить привлекательность проектов по МЗШ для инвесторов, приводится в **главе 7**.

С дополнительной информацией о финансировании проектов по шахтному метану можно ознакомиться в подготовленном Агентством по охране окружающей среды Соединенных Штатов руководстве под названием *Coal Mine Methane (CMM) Finance Guide*⁷.

6.6 Разработка и реализация проектов по МЗШ

После принятия решения о начале реализации проекта по МЗШ, основанного на достаточной оценке технической и экономической целесообразности проекта, следующими этапами являются проектирование, разработка, строительство и эксплуатация предусмотренных проектом объектов.

6.6.1 Ключевые проектные и эксплуатационные параметры

В период активной добычи угля ключевым параметром проектирования любой установки по добыче и уничтожению/утилизации газа является безопасность находящихся под землей шахтеров. После выведения шахты из эксплуатации и перехода только к наземным работам на объекте на первый план выходят другие соображения. Как и в отношении большинства производственных операций, ключевыми параметрами при проектировании установки по МЗШ являются безопасность как производственного персонала, так и лиц, которые могут жить поблизости или посещать/пересекать территорию объекта, а также меры по охране окружающей среды, включая управление выбросами, ливневым стоком и надлежащую утилизацию промышленных отходов.

В целом безопасность установленного оборудования можно разделить на две составляющие: газовую безопасность, связанную с пустотным пространством шахты (т. е. каким образом газ может выходить из шахты), и безопасность процессов добычи и уничтожения/утилизации газа.

⁷ U.S. Environmental Protection Agency (USEPA). *Coal Mine Methane (CMM) Finance Guide* (Updated July 2019). EPA-400-D-09-001. Washington, D.C., July 2019. https://www.epa.gov/sites/production/files/2016-04/documents/cmop_finance_guide_march_2016_revision.pdf.

Основные опасности связаны с возможностью пожара или взрыва из-за шахтного метана.

Приступая к проектированию такой установки, необходимо провести предварительное исследование в целях определения применимых к установке нормативных актов (местных законов). Это включает определение параметров, обеспечивающих соблюдение местных требований в отношении зонирования и получения разрешений.

Экологические требования, строгое соблюдение которых также обеспечивается во многих странах, должны быть приоритетом для любого объекта проекта по МЗШ, с тем чтобы он соответствовал нормативным требованиям и служил наглядным примером рационального использования ресурсов окружающей среды. По крайней мере при строительстве и эксплуатации объектов должны быть сведены к минимуму выбросы загрязняющих веществ и пыли в атмосферу, организована надлежащая утилизация отходов и сточных вод, обеспечиваться эффективный контроль за сбросом ливневых стоков и охрана ресурсов грунтовых вод. В зависимости от местоположения объекта необходимо также позаботиться об ограничении воздействия на флору и фауну.

После рассмотрения общих и нормативных аспектов безопасности, охраны здоровья и окружающей среды необходимо перейти к рассмотрению конкретных критериев проектирования.

6.6.2 Конкретные критерии проектирования

- Соблюдение местных законов и нормативных актов;
- соблюдение местных требований, касающихся получения разрешений;
- газонепроницаемость пустотного пространства шахты (проверка наличия утечек газа из пустотного пространства шахты вокруг ствола или вероятность их наличия в окружающих геологических условиях или (в условиях вакуума) наличия притока воздуха в шахту);
- места утечек из пустотного шахтного пространства (точки отвода или притока воздуха);
- безопасность участка и установленного оборудования, включая ограждение, предупреждающие знаки, детекторы и дистанционные устройства сигнализации в отсутствие персонала;
- местные жилые или промышленные объекты и их воздействие на проектирование объекта;
- проектирование газовых скважин, включая вентиляционные и изолирующие сооружения;
- проектирование вентиляционных установок (включая радиус опасной зоны);
- проектирование газопроводов;
- объекты водоотведения (обычно это простые сепараторы для воды или охлаждающий теплообменник с контуром водяного охлаждения или вентилятор воздушного радиатора);
- проектирование добывающей установки;
- проектирование установки для уничтожения или утилизации;
- система дистанционного мониторинга;
- проектирование заземления (зануления) и молниезащиты;
- проектирование системы шумозащиты;
- разработка строительной части проекта;
- подключение к электросети для поставки и, возможно, для передачи электроэнергии;
- подключение к газотранспортной системе;
- оценка рисков технологической безопасности;
- оценка рисков эксплуатационной безопасности;
- оценка экологических рисков.

Приведенный выше список представляет собой сводный обзор соображений по проектированию установки по МЗШ. Ниже в настоящем разделе приводятся дальнейшие руководящие указания по конкретным наиболее приоритетным вопросам.

6.6.3 Проектирование системы молниезащиты

Доказано, что молния является регулярным источником воспламенения горючих газовых смесей как на действующих, так и на выведенных из эксплуатации шахтах. Оборудование должно быть надлежащим образом заземлено (занулено) в соответствии с местными нормативами и оснащено автоматическими выключателями электропитания при необходимости.

Должное внимание следует уделить вопросу о подключении производственных объектов к системе заземления (зануления) устья скважины или шахты или об устройстве отдельной для них системы заземления (зануления).

6.6.4 Пламегасители

Одной из основных особенностей проектирования установок по добыче и утилизации метана на выведенных из эксплуатации шахтах является использование пламегасителей в газовых трубопроводах в целях предотвращения распространения пламени. Пламегасители предназначены для временного прерывания траектории фронта горения через легковоспламеняющуюся газоздушную смесь. Пламегаситель должен выбираться при участии компетентного инженера-специалиста в целях обеспечения установки пламегасителя надлежащей конструкции. Требуемый тип пламегасителя зависит от источника воспламенения и места расположения пламегасителя.

Пламегасители обычно используются совместно с автоматизированными системами измерения температуры на защищенной стороне, соединенными с клапаном-отсекателем, оснащенный автоматическим приводом для перекрытия потока газа к пламегасителю и гашения пламени.

6.6.5 Анализ газа и его воздействие на вопросы безопасности, мониторинга и измерения

Контроль за концентрацией метана вокруг установки по МЗШ осуществляется по нескольким причинам. Персональные газовые детекторы используются операторами установки в целях обеспечения их безопасности и в качестве резервного устройства для обнаружения любых утечек метана. В зданиях устанавливаются стационарные газовые детекторы для обнаружения неконтролируемых выбросов метана, которые зачастую дополняются датчиками дыма и окиси углерода для обнаружения пожара и продуктов сгорания. В пределах газопровода обычно устанавливаются датчики концентрации воспламеняющихся газов и кислорода, чтобы исключить транспортировку взрывоопасных смесей. В целях обеспечения высокого уровня безопасности могут быть использованы резервные контрольно-измерительные приборы. Точность и надежность замеров газа имеют большое значение для проектов, реализация которых связана с финансовым стимулированием. Что касается установок, имеющих крайне важное значение в плане обеспечения безопасности, обнаружение и технологическое реагирование должны быть оперативными.

Помимо метана, этана и пропана, могут присутствовать и другие алканы, увеличивающие теплотворную способность газа и расширяющие область воспламеняемости воздушно-газовых смесей. Инфракрасные детекторы, обычно используемые для мониторинга метана, являются перекрестно-чувствительными к этану, что, в случае его нераспознавания, может привести к неверным высоким показаниям по метану.

Если область воспламеняемости важна для процесса уничтожения или утилизации, то для коррекции области воспламеняемости можно использовать принцип Ле-Шателье. Повышение рабочего давления или температуры метана приводит к расширению области воспламеняемости, в частности к повышению верхнего предела. Это важно, если в смеси МЗШ присутствует воздух и она подвергается компримированию. В целом содержание легковоспламеняющегося газа выражается с помощью термина «процентное содержание метана»; например, газ, содержащий 20% азота и 80% легковоспламеняющегося газа, характеризуется как 80-процентный метан.

Газы угольных шахт насыщены водой и нагреты, поэтому приборы для обнаружения и отбора проб газа должны быть спроектированы таким образом, чтобы избежать скопления конденсата путем сушки, декантирования или подогрева. Помимо метана, в МЗШ неизменно присутствует окись углерода (продукт низкотемпературного окисления и результат подземных пожаров в шахтах), двуокись углерода и азот.

6.6.6 Проектирование добывающей установки

Добывающая установка необходима для извлечения газа из пустотного пространства выведенной из эксплуатации шахты на поверхность и транспортировки газа под давлением к установке по уничтожению или утилизации. Как правило, на объектах по МЗШ применяются добывающие установки либо безмасляного типа, оборудованные нагнетательными вентиляторами, вентиляторами или центробежными компрессорами, либо жидкостно-кольцевого вакуумного типа (в случае использования прежней установки по добыче полезных ископаемых). Преимущество жидкостно-кольцевых насосов состоит в том, что они могут обеспечить больший уровень всасывания, чем безмасляные насосы. Однако они имеют контур охлаждения гидравлического уплотнения, требующий частого технического обслуживания, и могут иметь более высокую паразитную электрическую нагрузку по сравнению с безмасляными системами. Другим недостатком жидкостно-кольцевых насосов является то, что они подают в утилизационную установку газ, который полностью насыщен теплой водой из системы гидравлического уплотнения, а также химически загрязненной водой из системы охлаждения гидравлического уплотнения.

Газодобывающую установку допускается размещать в зданиях бывших шахт, но чаще всего она расположена в модульных контейнерных корпусах, которые можно легко переместить на другие площадки по мере истощения коллектора МЗШ.

6.6.7 Установка по уничтожению или утилизации газа

В плане окружающей среды иерархия процесса проектирования должна быть следующей: утилизация, уничтожение и в худшем случае выброс в атмосферу. Этой иерархии можно придерживаться и в плане безопасности, поскольку воздействие утилизации и уничтожения имеет аналогичные последствия для безопасности, так как газ сжигается закрытым и контролируемым способом; однако наихудшим случаем является выброс в атмосферу, поскольку это позволяет отводить в атмосферу огнеопасную воздушно-газовую смесь, способную к воспламенению. Вместе с тем пламеуловители предотвращают распространение пламени в выведенную из эксплуатации шахту. Места для отвода должны быть надежно огорожены и по возможности расположены вдали от жилых районов. Поскольку пламеуловители требуют регулярного обслуживания, следует регулярно инспектировать находящиеся без присмотра площадки в целях обеспечения их защищенности.

6.6.8 Оценка коммерческих рисков, связанных с эксплуатацией установки по утилизации, и ресурсов

Помимо того, что проект по МЗШ должен быть источником надежного и достаточного дохода, основным фактором, влияющим на его коммерческий успех, является точная оценка ресурсов газа и их соответствие расчетным объемам добычи и утилизации. Для оценки пустотного пространства и прогнозирования добычи газа может использоваться компьютерное моделирование, однако, как правило, более надежные данные о пустотном пространстве получают в ходе последующих исследований методом понижения уровня, проводимых на этапе разработки предынвестиционной проектной документации.

Технология добычи МЗШ, как правило, предполагает использование хорошо зарекомендовавшего себя оборудования, часть которого может быть разработана для проектов по добыче и утилизации шахтного метана или свалочного газа.

Использование контейнерной полупередвижной добывающей и утилизационной установки позволяет легко перемещать ее в случае непрогнозируемого низкого дебита МЗШ на каком-либо участке, снижая тем самым коммерческий риск, при условии наличия альтернативных участков добычи МЗШ. Чем обширнее база выведенных из эксплуатации шахт, тем эффективнее использование полупередвижных объектов добывающей и утилизационной инфраструктуры. Например, компания, реализующая проекты по МЗШ на пяти шахтах, в случае недополучения газа на одной шахте может переместить оборудование на другую шахту, на которой добывается больше газа, чем ожидалось.

6.6.9 Эксплуатация и техническое обслуживание

Эксплуатацией и техническим обслуживанием добывающих и утилизационных установок занимаются специалисты средней квалификации неспециализированных эксплуатирующих компаний и механики и электрики по заявке в случае необходимости. К проведению технического обслуживания газовых двигателей и генераторов могут также привлекаться специалисты, прошедшие обучение у поставщиков оборудования.

Регулярные проверки безопасности необходимы в целях обеспечения соответствия нормативным требованиям и соблюдения стандартов эксплуатации, а также для оценки потребностей в обучении или переподготовке.

6.6.10 Дистанционный мониторинг

Как правило, объекты добычи МЗШ функционируют без постоянного присутствия персонала и контролируются дистанционно владельцами проекта или подрядчиками. Системы добычи, уничтожения/утилизации управляются обычно с помощью программируемых логических контроллеров (ПЛК) и, как правило, дистанционно подключаются к центральной системе управления или ПК эксплуатирующей/управляющей компании. В тех случаях, когда установки удалены от проводных интернет-сетей, данные могут также передаваться посредством связи по радиоканалу GSM или сотовому телефону. В целях уведомления операторов и руководства о выходе из строя установки из-за дефекта или о выходящих за пределы диапазона параметрах газа могут использоваться автоматические оповещения. Безопасность необслуживаемых объектов может быть обеспечена с помощью оповещений о вторжении и удаленных камер.

Краткий перечень возможного оборудования и необходимых услуг приводится в **приложении 4**.

7. Политические и регулирующие механизмы содействия и стимулирования в сфере добычи и утилизации МЗШ

Основные тезисы

- Крайне важно, чтобы политика и регулирование способствовали максимальной добыче и утилизации МЗШ или уничтожению выбросов МЗШ.
- Опыт ряда стран служит ценным уроком для других стран, желающих использовать возможности МЗШ.
- Четкий и практический подход к вопросу права собственности на МЗШ имеет решающее значение для успешного развертывания проектов по МЗШ.
- Нормативные акты, предписывающие операторам шахт проектировать и устанавливать системы улавливания газа в целях его извлечения в будущем после выведения их из эксплуатации, могут способствовать увеличению числа проектов по МЗШ и дальнейшему сокращению выбросов.
- Помимо формирования жизнеспособных рынков энергоресурсов, снижение налогов или целевые финансовые и фискальные льготы могут стимулировать реализацию проектов по МЗШ.
- Углеродные рынки могут также стимулировать разработку проектов по МЗШ.

7.1 Роль руководства шахт в подготовке к закрытию шахты

Передовые политические меры могут стать основой для стимулирования владельца шахты к сотрудничеству с разработчиком проекта по МЗШ в целях обеспечения инженерно-технической готовности шахты к добыче МЗШ в процессе ее закрытия. Например, связанные с сокращением выбросов ПГ привлекательные субсидии или выгоды могут обеспечить не только жизнеспособность проекта по МЗШ с финансовой точки зрения, но также источник дохода как для владельца/оператора шахты, так и для разработчика проекта по МЗШ.

Таковыми мерами должен также предусматриваться механизм, предупреждающий возникновение и обеспечивающий урегулирование спорных вопросов между владельцами действующих шахт и компаниями, ведущими добычу МЗШ на соседних объектах, при возникновении ситуаций, требующих взаимодействия между ними.

7.2 Право собственности на газ

Наличие четко определенных прав собственности может помочь компаниям смягчить риски, связанные с реализацией проектов по МЗШ. Аналогичным образом передача прав собственности на МЗШ третьей стороне сокращает проектные финансовые риски в определенных ситуациях и позволяет разрабатывать ресурсы. В странах, успешно реализующих проекты по МЗШ, созданы благоприятные условия посредством устранения ограничений на передачу прав на газ, независимо от того, продается он в виде сырья или используется для производства электроэнергии (**таблица 7.1**).

Таблица 7.1 Право собственности на метан	
Страна	Право собственности на газ
Соединенные Штаты	В федеральной и частной собственности: реализация проектов по МЗШ, как правило, связана с необходимостью получения прав на метан; порядок получения различный и зависит от штата и условий собственников имущества, находящегося на поверхности не принадлежащих им участков.
Франция	В государственной собственности: концессии предоставляются операторам, однако часть существующего оборудования, установленного в целях безопасности (например, устьевое оборудование), принадлежит государству. Использование концессионерами этого находящегося в государственной собственности оборудования разрешается в индивидуальном порядке.
Германия	В федеральной собственности: процедуры получения прав на МЗШ простые и рациональные.
Соединенное Королевство	В государственной собственности: для добычи и утилизации МЗШ требуется лицензия на разведку и добычу нефти и газа или лицензия на дренаж метана.
Китай	В государственной собственности: ситуация с МЗШ неясна. Уголь и МУС (метано-угольная смесь) лицензируются раздельно. Для утилизации ШМ не требуется лицензия на МУС.
Украина	В государственной собственности: на сегодняшний день на Украине не реализуются проекты по МЗШ, однако права на газ, вероятно, будут предоставляться в таком же порядке, как и на ШМ и другие газы.
Австралия	В собственности штатов: правительства штатов и федеральное правительство относят МЗШ к нефтепродуктам. В каждом штате действуют различные правила, однако во всех случаях занимающиеся добычей МЗШ компании должны получить лицензию на разведку и добычу нефти и газа.

Источники: USEPA, 2019; and Denysenko, A., et al., 2019; Modified from Coté, M., 2018. Emissions and preparing for projects, Global Methane Forum, UNECE side-event, Toronto, Canada, 16 April 2018.

Для решения проблем, связанных с правом собственности на шахту, возможно, потребуется изучить вопрос о правовом режиме в отношении МЗШ. Например, в существующем в Казахстане законе «О недрах и недропользовании» все запасы подразделяются на коммерческие (балансовые) и некоммерческие (забалансовые)⁸. В настоящее время закон относит МЗШ к отходам и некоммерческим ресурсам и не регулирует порядок получения юридическими лицами прав на такой забалансовый ресурс. Недавно Казахстан объявил о своем намерении принять используемый большинством стран ОЭСР классификационный стандарт, т. е. стандарт КРИРСКО, разработанный Комитетом по международным стандартам отчетности о минерально-сырьевых запасах. Это может упростить процедуры получения и передачи прав на ресурсы МЗШ.

7.3 Обязательства в отношении неорганизованных выбросов газа

От оператора проекта по МЗШ можно обоснованно потребовать осуществления конкретных мероприятий по проектированию, касающихся завершения проекта, с тем чтобы участок остался в безопасном состоянии. Положительным преимуществом добычи МЗШ является снижение степени риска поверхностных выбросов в результате реализации проекта, что в ином случае было бы невозможно. Однако, если нормативные положения будут предусматривать долгосрочные обязательства для операторов проектов по МЗШ, они станут сдерживающим фактором для реализации таких проектов.

⁸ Данная классификация применяется исключительно в странах бывшего Советского Союза и не имеет точных эквивалентов в международных классификационных стандартах минерально-сырьевых запасов. Более подробное описание различных классификаций см. в публикации Weatherstone, 2008.

7.4 Доступ к инфраструктуре

Как правило, проекты по МЗШ жизнеспособны только при наличии беспрепятственного доступа к рынкам природного газа и электроэнергии. В отсутствие беспрепятственного доступа к рынку добываемый в рамках проектов метан должен утилизироваться на объекте или использоваться на местном уровне, что, учитывая спрос и цену на него, обычно делает его неконкурентоспособным. Поэтому доступ к рынку является крайне важным стратегическим вопросом.

В то же время транспортировка и утилизация МЗШ должны осуществляться безопасным образом. Основным принцип заключается в том, чтобы газовые смеси в диапазоне взрывоопасных концентраций или в примерно таком диапазоне (содержание CH_4 : 5–15%) не транспортировались по трубопроводам или не использовались при производстве электроэнергии.

7.5 Финансовые и налоговые стимулы

Стимулы, помогающие финансировать проекты по утилизации метана, включают налоговые льготы, снижение платы за право разработки недр и программы поощрения инвестиций в экологически чистую энергетику (например, как в Германии и ряде штатов Соединенных Штатов). Например, в Великобритании проекты по МЗШ освобождены от уплаты климатического сбора. В Германии для проектов по МЗШ могут предусматриваться благоприятные рыночные надбавки, если метан используется для производства электроэнергии. В ряде штатов Соединенных Штатов также предусматривается пониженная плата за добычу МЗШ на территории штата. Как минимум одной компании во Франции были предоставлены гарантии на применение льготного тарифа на производимую с использованием МЗШ электроэнергию на срок действия лицензии в соответствии с концессионным соглашением (Moulin, 2019).

7.6 Углеродное финансирование

Углеродное финансирование зарекомендовало себя эффективным рыночным инструментом, стимулирующим реализацию проектов по ШМ (ЕЭК ООН, 2016 год) в рамках Механизма чистого развития (МЧР) и Калифорнийского совета по ресурсам атмосферы (КСРА), и в равной степени могло бы способствовать разработке проектов по МЗШ в соответствующих случаях. Разработка четких методик может способствовать упрощению финансирования углеродных проектов и снижению связанных с реализацией проектов рисков. В методиках устанавливаются четкие правила в отношении типов проектов, отвечающих соответствующим критериям, и порядок оценки сокращения выбросов, что является важной информацией для разработчиков проектов, позволяющей определить, является ли проект жизнеспособным.

Механизм чистого развития (МЧР), который осуществлялся в рамках Киотского протокола в период 2008–2012 годов, позволял промышленно развитым странам применять практику сертифицированных сокращений выбросов (ССВ) или единиц сокращения выбросов (ЕСВ) в отношении получения соответствующих кредитов на основе применения методик, утвержденных для применения в развивающихся странах (в странах, не входящих в перечень, приведенный в приложении 1) и развитых странах (приложение 1) соответственно. Применение МЧР в период 2005–2012 годов простимулировало разработку 128 проектов по ШМ, одобренных Государственным комитетом по развитию и реформе (ГКРР) Китая. Не все проекты отвечали критериям соответствия для регистрации в качестве ССВ, а с 2012 года цена на ССВ сильно снизилась из-за отсутствия спроса со стороны системы торговли квотами на выбросы (СТКВ) Европейского союза, 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. Однако с 2012 года в Китае не было зарегистрировано ни одного проекта по линии МЧР. Утвержденная РКИКООН методика по использованию и уничтожению ШМ (АСМ0008, версия 08.0), которая была разработана в рамках МЧР, также распространяется на МЗШ, и вполне возможно, что зачеты МЗШ будут применяться в рамках национальной китайской СТКВ. Вместе с тем на сегодняшний день по линии МЧР не зарегистрировано ни одного проекта по МЗШ.

В рамках Калифорнийской программы по ограничению выбросов парниковых газов и торговли квотами на выбросы, контролируемой Калифорнийским советом по ресурсам атмосферы (КСРА), регламентируемым объектам (например, электростанциям) предоставляются квоты на выбросы ПГ. КСРА признал сокращения выбросов МЗШ подпадающими под углеродные зачеты, если проект соответствует требованиям Протокола обязательных углеродных зачетов для проектов по каптированию метана на шахтах⁹. Этот протокол охватывает действующие угольные шахты, разрезы и выведенные из эксплуатации шахты в Соединенных Штатах. По состоянию на июль 2019 года в соответствии с этой методикой пять проектов по МЗШ подпали под зачеты в рамках Калифорнийской программы.

Также существуют различные международные добровольные программы в области ПГ для регистрации проектов по сокращению выбросов, однако их рынки невелики, цены низкие и возможны трудности с продажей услуг по сокращению выбросов, связанных с добычей угля.

⁹ <http://www.arb.ca.gov/cc/capandtrade/protocols/mmcprotocol.htm>.

8. Резюме и выводы

Метан закрытых шахт входит в состав выбросов, которые образуются в рамках жизненного цикла угольных шахт и в некоторых случаях могут продолжаться в течение десятилетий после прекращения угледобычи. МЗШ обладает ценными для использования характеристиками: в составе добываемого МЗШ содержание метана может, как правило, достигать 15–90% и практически отсутствовать кислород при условии надлежащей герметизации газообильной угольной шахты. Его добыча по своим характеристикам отличается от добычи ШМ тем, что со временем доступность газа снижается по мере истощения оставшегося в угольном пласте газа. Вместе с тем коллектор МЗШ, имеющий значительный биогенный компонент, необязательно может демонстрировать аналогичные характеристики в плане истощения. Объем добываемого газа может еще больше сокращаться по мере восстановления системы грунтовых вод и постепенного затопления шахты, что предотвращает десорбцию газа из угля, а также может привести к разделению шахты на части и ограничивать передачу газа от источника до точки добычи.

Не все выведенные из эксплуатации шахты подходят для проектов по добыче МЗШ.

В большинстве случаев проекты по МЗШ, как правило, составляют 10–25% от размера ШМ проектов, реализуемых на одной и той же шахте, однако выведенные из эксплуатации шахты могут быть объединены в один крупный проект. Тем не менее в Европе есть участки, где добыча МЗШ совпадает с объемом добычи ШМ в период работы шахты, а на некоторых участках добыча МЗШ даже превышает прежнюю добычу ШМ (Backhaus, 2018). В последнем случае такие ситуации могут возникать там, где в дополнение к ископаемому метану в последнее время образовался биогенный метан и где природный газ со временем мигрирует в пустотное пространство из других пластов.

Проекты по МЗШ проще проектов по ШМ, поскольку соображения безопасности не играют определяющую роль при добыче газа после прекращения работ по добыче угля. Однако это преимущество может нивелироваться на шахтах, которые не были подготовлены к извлечению МЗШ до закрытия и на которых произошло локальное затопление выработок, а также не были проведены надлежащие инженерно-технические мероприятия по обустройству входов, что снижает проводимость пласта по газу и приводит к низким показателям добычи и низкому качеству газа.

При закрытии шахты, на которой имеются возможности для добычи МЗШ, следует рассмотреть такие вопросы, как:

- оценка подземных выработок в плане возможности добычи газа из стволов или штолен;
- прокладка подземного газопровода для обеспечения сообщения между изолированными частями шахты с пунктом добычи и через углубления в штреках, где вода может скапливаться и препятствовать сообщению между ними;
- использование шахтных штреков в качестве каналов для дебита газа;
- проверка целостности изолирующих перемычек на поверхности для предотвращения утечки атмосферного воздуха.

Важным элементом жизнеспособности проекта является нормативно-правовая база. К числу ключевых вопросов относятся права собственности, возможность передачи этих прав, доступ к мерам стимулирования, в частности по возобновляемым источникам энергии, а также льготы, касающиеся налогообложения и платы за недропользование, и стратегии, обеспечивающие герметизацию шахт в целях сохранения МЗШ для проектов по его добыче.

Уделение повышенного внимания такому важному вопросу, как права на метан, может осложнить реализацию проектов по МЗШ третьими сторонами из-за необходимости обращения за новыми лицензиями или разрешениями. В некоторых странах отсутствует ясность в отношении прав собственности на находящееся на поверхности или под землей имущество выведенных из эксплуатации шахт, а также прав на газ, что препятствует инвестициям.

Успешные проекты по извлечению и утилизации МЗШ обладают рядом преимуществ:

- они обеспечивают производство энергии из ресурсов, которые в ином случае тратились бы впустую путем выброса в атмосферу;
- они приносят экологическую пользу, предотвращая выброс метана, являющегося парниковым газом, потенциал которого в 28–34 раза превышает соответствующий потенциал диоксида углерода;
- они приносят дополнительную пользу для окружающей среды путем замещения более загрязняющих ее видов топлива, таких как уголь, которые в противном случае могли бы использоваться;
- в зависимости от местных условий получаемая в рамках проектов по МЗШ энергия может конкурировать с имеющимися альтернативными источниками энергии;
- они обеспечивают дополнительные возможности для инвестиций, поскольку отвечают критериям включения в механизмы компенсации выбросов углерода в соответствующих случаях;
- они обеспечивают возможности трудоустройства в бывших угледобывающих районах;
- они защищают от представляющей опасность для населения неконтролируемой утечки метана на земной поверхности.

9. Примеры из практики

Пример 1. Германия – Рурский угольный бассейн, Северный Рейн-Вестфалия

Рурский угольный бассейн был когда-то самым крупным и одним из важнейших угледобывающих районов Европы (**рисунок 9.1**) (Dodt & Drecker, 2018), где в 1820-е годы была открыта первая глубокая каменноугольная шахта. На пике развития отрасли в 1850 году в этом районе действовали почти 300 угольных шахт, а в 1956 году в шахтах работали более 600 000 человек. Тем не менее осуществлявшаяся на протяжении почти 200 лет промышленная добыча каменного угля в Германии прекратилась в начале 2019 года с закрытием шахты «Проспер-Ханиэль» в Боттропе.

В целях содействия переходу от ископаемого топлива к возобновляемым источникам энергии в 1991 году в Германии был принят Закон о льготных тарифах на электроэнергию, в соответствии с которым была создана первая в мире система льготных «зеленых» тарифов. На смену этому закону пришел принятый в 2000 году в Германии Закон о возобновляемых источниках энергии (ВИЭ), в который с тех пор неоднократно вносились изменения. Этот закон включает ряд законодательных актов, предусматривающих льготные тарифы, направленные на стимулирование производства электроэнергии из возобновляемых источников. В 2014 и 2017 годах в законы были внесены изменения, содействующие переходу всех проектов в области возобновляемой энергетики от льготных тарифов к системе аукционов.

В период 2002–2004 годов, учитывая положительный опыт Закона о ВИЭ, был разработан ряд проектов по МЗШ для реализации на нескольких газообильных угольных шахтах в Рурской долине (**таблица 9.1**).

Рисунок 9.1 Географическое положение Рурского угольного бассейна



Источник: Dodt, J., M. Drecker, 2018.

Таблица 9.1 Отдельные проекты по МЗШ в Рурской долине

Угольная шахта	Годы эксплуатации шахты	Средне годовая добыча угля (млн т)	Взрывы метана в период работы шахты	Место производства электроэнергии	Установленная мощность (МВт)	Общая мощность электроэнергии (ГВт)	Годы эксплуатации	Сокращение выбросов (т CO ₂)	Примечания
Лоберг	Ствол 1: 1909–2005 Ствол 2: 1909–2005	1,3–2,5		Лоберг	7 x 1,3	510,4	2002 – настоящее время	1 861 028	Шахта не полностью изолирована, происходит загрязнение МЗШ из-за притока воздуха.
Нидерберг 1	Ствол 1: 1912–2002 Ствол 3: 1954–2001	2,0–2,8	1 взрыв – 3 погибших	Нойкирхен	4 x 1,3	494	2004 – настоящее время	1 802 470	Шахта изолирована, явный приток воздуха отсутствует.
Минстер Ахенбах	1897–1992	0,13	5 взрывов – 117 погибших	Кристемарк	1 x 0,4 1 x 1,0	25,8	2003–2007	141 030	Объем доступного МЗШ ограничен из-за затопленности шахты.
Дорстфельд	1859–1963	0,85–1,1	2 взрыва – 12 погибших	Вильберд	0,2	25,1	2001 – настоящее время	91 855	В период работы шахты происходило поступление газа в жилые дома, которое прекратилось после начала добычи МЗШ, однако объем МЗШ ограничен.
Лотринген	Ствол 1: 1872–1967 Ствол 2: 1895–1967	1,1–1,4	1 взрыв – 115 погибших	Корвин 1	4 x 1,3 1 x 0,6	96,8	2004 – настоящее время	352 940	Многие выведенные из эксплуатации шахты, расположенные поблизости, не изолированы, что приводит к загрязнению добываемого МЗШ.
Эрин 6	Ствол 1: 1887–1983 Ствол 6: 1943–1983	1,1–1,4	2 взрыва – 6 погибших	Корвин 2	1 x 1,3	207,8	2004 – настоящее время	757 638	

Источник: Marshall, J., 2019, данные, представленные компаниями Mingas-Power GmbH и A-TEC Anlagentechnik GmbH.

В рамках реализуемого на каждой шахте проекта по извлечению газа был установлен один или несколько газогенераторных агрегатов фирмы Deutz, использующих в качестве топлива вместо свалочного газа метан закрытых шахт, дренируемый из пустотного шахтного пространства, в целях производства электроэнергии для продажи местной электросети (рисунок 9.2). Приведенные в таблице объемы сокращения выбросов представляют собой совокупные объемы сокращения выбросов, связанные с переходом от сжигания угля к сжиганию газа для производства электроэнергии, за срок реализации проектов. Приведенные по каждому проекту объемы сокращения выбросов включают объемы сокращения выбросов для энергосистем, которые связаны с электроэнергией, продаваемой электросетям углесжигающими электростанциями, и объемы сокращения выбросов для энергосистем, связанные с разложением газа на этил и водород закрытых шахт, который используется для производства электроэнергии.

Федеральный закон Германии о горнодобывающей деятельности признает, что горнодобывающая деятельность не заканчивается с закрытием шахты, и требует от горнодобывающей компании предоставить конкретный план ликвидационных мероприятий по рекультивации участка, который должен быть одобрен Горнопромышленным управлением, прежде чем будет отозвано разрешение на добычу полезных ископаемых. Заполненное газом пустотное пространство

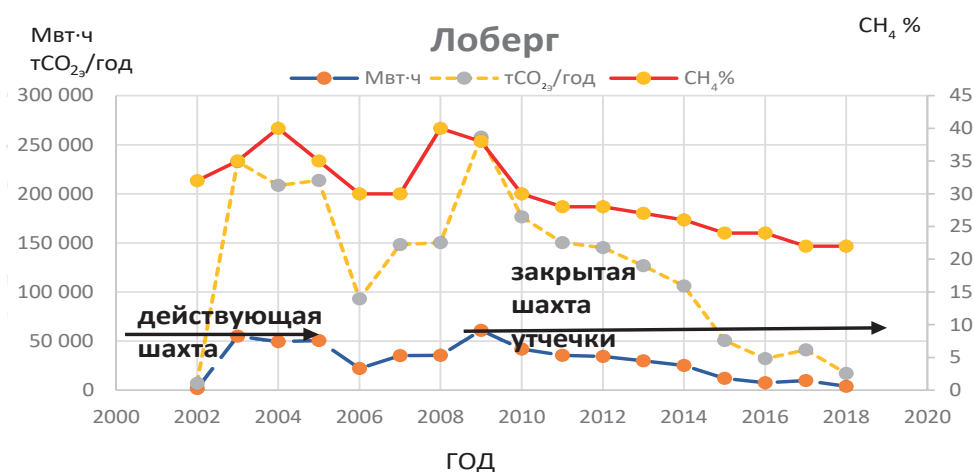
Рисунок 9.2 Электростанция в Лоберге



Источник: Mingas-Power GmbH.

многих шахт по-прежнему сообщается с атмосферой. Из-за недостаточной герметизации многих старых скважин и стволов неконтролируемое повышение давления газа может привести к миграции газа в водоносные горизонты, здания и другие сооружения, расположенные на поверхности над выведенными из эксплуатации шахтами. Используемые для дегазации пустотного пространства трубопроводы прокладываются в заполненных шахтных стволах таким образом, чтобы добываемый из подземного пустотного пространства газ мог выходить через дегазационные трубы, сокращая неконтролируемую миграцию газа на поверхности. Помимо неконтролируемой утечки шахтных газов в атмосферу, отсутствие надежных изолирующих перемычек приводит к тому, что концентрация газа на выведенных из эксплуатации шахтах колеблется в процессе добычи. Еще больше обостряет эту проблему тот факт, что многие шахты Рурской области сообщаются между собой под землей, а добываемый на более газообильных шахтах газ зачастую дополнительно разбавлен воздухом, поступающим из менее газообильных шахт. Разработчики проектов выяснили, что если не регулировать давление всасывания вакуумных насосов, то со временем концентрация газа снизится, что отрицательно скажется на реализации проекта и его экономическом успехе. Пример на **рисунке 9.3** четко указывает на то, что стволы шахты в Лоберге не полностью герметизированы. После того как на выведенной из эксплуатации

Рисунок 9.3 График зависимости производства электроэнергии и концентрации метана на шахте в Лоберге



Источник: Mingas-Power, A-TEC Anlagentechnik.

шахте началось производство электроэнергии, а в 2009 году была произведена откачка, в шахту поступил воздух, разбавляющий шахтный газ. К следующему году концентрация метана снизилась еще больше. В последующие годы эта тенденция сохранилась, и концентрация метана снизилась с примерно 40% в 2008 году до 25% к 2018 году. Поскольку со временем снижение концентрации метана в добываемом газе продолжается, это отрицательно сказывается на производительности генераторной установки и, соответственно, ведет к снижению количества вырабатываемой электроэнергии.

Пример 2. Польша – Верхнесилезский бассейн

С 1989 года в Польше были закрыты почти 40 угольных шахт. Большинство этих шахт практически не содержат газа. Из оставшихся нескольких газообильных закрытых шахт на двух реализуются проекты по утилизации МЗШ. Стоит отметить, что, поскольку газообильными являются недавно закрытые шахты и большинство действующих шахт, в Польше имеется хороший потенциал для будущих проектов по МЗШ.

Шахта «Морцинек–Качице»

Годы эксплуатации шахты: 1986–2000

Геологическая информация: средняя мощность угольных пластов, разработка которых велась на глубине 950–1 100 м, составляет 1,32–1,44 м. По возрасту уголь относится к верхнему карбону (намюрско-вестфальский ярус), зрелость угля – HVBA-MVB (согласно стандартам ASTM). Угольные пласты имеют сложную структуру, и их разработка связана с трудностями.

Выбросы газа: относительный суточный объем выбросов (газообильность) составлял 30 м³/т в период угледобычи.

Способ и объем добычи газа: для добычи МЗШ в обрушенное пространство с поверхности пробурена одна скважина глубиной 680 м. Добыча газа началась в 2001 году, и по состоянию на конец 2017 года годовая добыча метана составляла 2,29 млн кубических метров.

Конечное использование: основным конечным потребителем является компания «Грин Газ ДПБ» в Пашкове (Чешская Республика), а также осуществляется транспортировка газа по трубопроводам.

Шахта «Жоры»

Годы эксплуатации шахты: 1979–1998

Геологическая информация: мощность угольных пластов, разработка которых велась на глубине 400–830 м, относительно невелика и изредка превышает 2 метров. По возрасту уголь относится к верхнему карбону (вестфальский ярус), зрелость угля – HVBB-HVBA (согласно стандартам ASTM). Максимальное содержание газа в разрабатывавшихся угольных пластах составляло 12 м³/т (сухая беззольная масса).

Выбросы газа: относительный годовой объем выбросов (газообильность) составлял 10,5–54,0 м³/т добытого угля в период выемки угля; абсолютный объем выбросов составлял от 46 м³/мин (в 1987 году) до 18 м³/мин (в 1996 году). Совокупный объем метана, выделенного в процессе выемки угля, составлял 256 млн кубических метров.

Способ и объем добычи газа: для добычи МЗШ с поверхности были пробурены скважины в обрушенное пространство шахты «Жоры» и горизонтальную выработку в пределах

неразрабатываемого угольного месторождения «Янковице-Восточное», сообщающуюся с выработками шахты «Жоры». Первая скважина глубиной 209 м, пробуренная на территории шахты «Жоры», была введена в эксплуатацию в 2012 году; в последнее время (по состоянию на конец 2017 года) годовая добыча метана составляла 3,25 млн м³. Еще одна добывающая скважина была пробурена в горизонтальную выработку в пределах угольного месторождения «Янковице-Восточное» в 2013 году; в последнее время (по состоянию на конец 2017 года) годовой объем добычи составлял 1,93 млн м³.

Конечное использование: производство энергии и тепла с использованием газогенераторов.

Меры поощрения или стимулирования добычи МЗШ в Польше

При добыче метана из угольных пластов (в том числе МЗШ) плата за недропользование не взимается, а плата за приобретение принадлежащих государству геологических данных, используемых при разработке МУС, составляет всего 10%.

Существует национальная система торговли «фиолетовыми сертификатами» в поддержку производителей электроэнергии и тепла, использующих шахтный метан или газ, вырабатываемый биогазовыми установками. Однако этот вид поддержки может распространяться на МЗШ только в том случае, если оператор производит энергию комбинированным способом с использованием высокоэффективных установок для КТЭ, что позволяет экономить первичную энергию на соответствующем уровне.

В 2018 году было введено новое положение об использовании МЗШ, которое позволяет государственной компании по реструктуризации шахт (уполномоченной закрывать шахты) извлекать МЗШ без лицензии в процессе выведения шахты из эксплуатации при условии, что это целесообразно по соображениям безопасности и охраны окружающей среды. Данное постановление восполнило пробел в законодательстве, так как ранее выделявшийся после прекращения добычи угля метан должен был отводиться в атмосферу, поскольку деятельность по утилизации метана не предусматривалась ни одним нормативным актом.

Извлеченные уроки и выводы

Несмотря на упомянутые выше меры стимулирования, в Польше до сих пор были осуществлены только два проекта по утилизации МЗШ. Основной причиной этого является длительный и сложный процесс получения разрешений на извлечение МЗШ. В Польше, согласно Закону о геологии и горной деятельности, к МЗШ применяются такие же нормы, как и к месторождению любого другого природного газа. Поэтому должны быть выполнены все требования, предусмотренные процедурой получения лицензии на углеводородные ресурсы, что занимает немало времени и недешево. Кроме того, поскольку процесс выведения шахты из эксплуатации должен быть завершен до того, как инвесторы смогут подать заявку на получение лицензии на добычу МУС, начало реализации проекта по утилизации МЗШ еще более затягивается. Выделение метана на выведенных из эксплуатации шахтах изображается в виде гиперболической кривой спада, из чего следует, что запасы МЗШ могут быть значительно истощены по прошествии нескольких лет, необходимых для завершения всех работ по выведению шахты из эксплуатации.

Кроме того, уровень поддержки от использования «фиолетовых сертификатов» считается недостаточным для утилизации МЗШ, так как такая поддержка ориентирована в первую очередь на угольные шахты, на которых ШМ извлекается в качестве побочного продукта добычи угля (по соображениям безопасности) при, предположительно, нулевых затратах, в то время как извлечение МЗШ связано со значительными затратами.

В свете изложенных выше замечаний следует инициировать внесение изменений в законодательство.

Пример 3. Соединенное Королевство – Утилизация метана закрытых шахт в Соединенном Королевстве

С 1952 года были закрыты приблизительно 1 300 подземных выработок, в том числе около 130 подземных выработок в последнее время начиная с 1979 года. В середине 1990-х годов компания «Алкейн Энерджи» первой начала работы по утилизации метана на выведенных из эксплуатации шахтах на территории Соединенного Королевства путем бурения скважин в герметичных шахтных выработках или проходки перекрытых шахтных стволов в рамках примерно 15–20 проектов (установленная мощность по текущим проектам – 43 МВтэ). В 1998 году ведущая в области подземной угледобычи в Соединенном Королевстве компания «ЮКей Коул Майнинг» последовала примеру компании «Алкейн» и приступила к монтажу установок по утилизации шахтного газа на своих газообильных шахтах, осуществив шесть проектов. По мере закрытия шахт некоторые из этих проектов, которые осуществлялись на действующих шахтах, стали осуществляться на выведенных из эксплуатации шахтах. В настоящее время под руководством компании «Аревон Энерджи» осуществляются три проекта (установленная мощность по текущим проектам – 14 МВтэ). В данном примере рассматриваются два из этих проектов.

Шахта «Стиллингфлит», группа компаний «Селби»

Годы эксплуатации шахты: 1988–2004

Геологическая информация: Йоркширское месторождение угля; разрабатывается пласт Барнсли. Средняя мощность разрабатывавшегося угольного пласта составляла примерно 3 м; глубина ствола – 700 м. Геологические условия в целом трудные, имеются разломы.

Выбросы газа: шахта со средней газообильностью. Шахта «Стиллингфлит» имела подземное сообщение с рядом других шахт, поэтому коллектор газа является крупным.

Рисунок 9.4 Газоотвод на шахте «Стиллингфлит»



Источник: Butler, N., HEL-East Ltd.

Рисунок 9.5 Газодобывающая установка на шахте «Стилингфлит»

Источник: Butler, N., HEL-East Ltd.

Способ и объем добычи газа: МЗШ добывается из верхней части полка перекрытия вентиляционного ствола. В 2019 году дебит извлекаемого газа составлял около 770 нормальных м³/ч при концентрации метана примерно 80–85%. Добыча газа ведется с помощью лопастных нагнетательных вентиляторов при разрежении примерно 600 мбар (абс.). Шахта оборудована эффективным газовым затвором, обеспечивающим сильное разрежение и отсутствие притока воздуха.

Конечное использование: газ используется в поршневых газогенераторах переменного тока напряжением 6 кВ, подключенных к системе электроснабжения.

Угледобывающее предприятие «Харворт»

Годы эксплуатации шахты: 1923–2006

Геологическая информация: угольное месторождение Восточно-Пеннинского бассейна; пласты Топ Хард, Блит, Дип Софт, Хай Мур и Своллоу Вуд. Средняя мощность разрабатывавшегося угольного пласта составляла около 2 м; глубина ствола – 850 м. Геологические условия в целом трудные, имеются разломы и весьма газообильные угольные массивы.

Способ и объем добычи газа: МЗШ добывается из верхней части полка перекрытия воздухоподающего ствола. В 2019 году дебит извлекаемого газа составлял около 1 080 нормальных м³/ч при концентрации метана примерно 35%. Добыча газа ведется с помощью жидкостно-кольцевых вакуумных насосов при разрежении примерно 600 мбар (абс.). Поскольку

Рисунок 9.6 Газогенераторные установки угледобывающего предприятия «Харворт»



Источник: Butler, N. HEL-East Ltd.

перекрытие шахты не обеспечивает эффективную герметизацию, давление разрежения может быть ограниченным, из-за чего возможен приток воздуха.

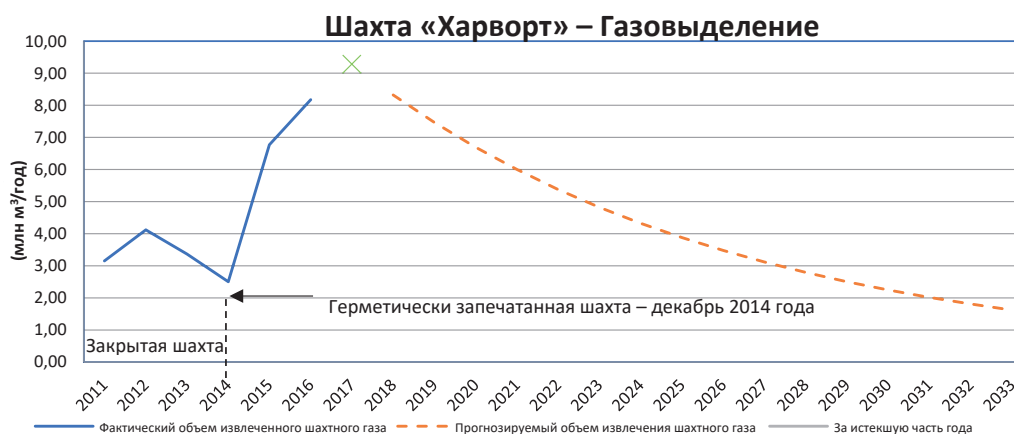
Конечное использование: газ используется в поршневых газогенераторах переменного тока напряжением 415 В (преобразуемым до 11 кВ), подключенных к системе электроснабжения.

Сокращение выбросов

Меры поощрения или стимулирования добычи МЗШ в Соединенном Королевстве

Разработка ресурсов ШМ в стране стимулировалась в течение определенного периода путем предоставления косвенной поддержки некоторым проектам по ШМ на действующих шахтах, которые в конечном счете трансформировались в проекты по МЗШ. Вместе с тем финансовая поддержка в отношении выработки электроэнергии с использованием МЗШ в Соединенном Королевстве находится на низком уровне, а единственным стимулом является освобождение от налога в рамках реализации программ в связи с изменением климата.

Рисунок 9.7 Прогнозное газовыделение на шахте «Харворт»



Источник: Robinson, A., Chief Operations Officer, Arevon Energy.

В 1999 году в рамках СТВ Соединенного Королевства поощрялся переход действующих газообильных угольных шахт от простого прямого отвода метана в атмосферу к инвестированию в утилизацию метана или сжиганию его в факелах. В результате на действующих шахтах были реализованы шесть проектов, о которых речь шла выше, что, соответственно, позволило непреднамеренно создать инфраструктуру, которая после закрытия шахт могла быть использована для утилизации МЗШ.

Хотя для проектов по МЗШ аналогичные стимулы в рамках СТВ не предусмотрены, энергетические проекты по МЗШ освобождены от налога в рамках реализации программ по изменению климата (НИК) Соединенного Королевства, поскольку они по сути считаются разновидностями проектов в области возобновляемой энергетики. НИК является налогом на электроэнергию, поставляемую небытовым потребителям в Соединенном Королевстве. Его цель заключается в создании стимула к повышению энергоэффективности и сокращению выбросов ПГ. В 2019 году ставка налога составляла 0,00847 фунтов стерлингов/кВт·ч.

При закрытии шахты пик газовыделения приходится на период до одного года после прекращения добычи. Такой пиковый уровень газовыделения известен под названием «премиальный газ». Если на шахте не налажена утилизация непосредственно перед ее закрытием (т. е. еще в период ее работы), либо не планируется приступить к генерации сразу же после ее закрытия, либо шахта загерметизирована и отсутствуют возможности для отвода газа (потенциально опасная ситуация), то этот ценный премиальный газ теряется в атмосфере навсегда. Во многих случаях добыча премиального газа в течение первого года может полностью окупить монтаж установки. По этой причине необходимы меры стимулирования, направленные на поощрение проектирования установки для добычи МЗШ до закрытия шахты.

Извлеченные уроки и выводы

При проектировании установки по добыче МЗШ следует учитывать тот факт, что, поскольку добываемый в шахте газ, как правило, теплый и влажный, особенно в зимний период, при его поступлении в поверхностный трубопровод происходит конденсация воды. Следует позаботиться о том, чтобы спланировать и установить соответствующие водозаборные и дренажные системы для удаления воды в системе в целях предотвращения поступления воды в установку для добычи (если это уместно) и утилизации.

При наличии легковоспламеняющейся воздушно-газовой смеси между пунктами отбора газа и утилизационной установкой в системе, а также в любой вентиляционной системе должны быть установлены пламегасители для предотвращения воспламенения газа, проходящего в обратном направлении через трубопровод. Легковоспламеняющаяся воздушно-газовая смесь может возникнуть на выведенной из эксплуатации шахте при вводе в эксплуатацию утилизационной установки или в местах возникновения утечки в системе перед установкой для добычи (т. е. на вакуумной стороне). Легковоспламеняющаяся воздушно-газовая смесь может также возникнуть на выведенной из эксплуатации шахте, на которой не осуществляется утилизация, и происходит смешивание газа и воздуха под землей вследствие колебаний атмосферного давления.

В идеале проекты должны планироваться и начинаться до закрытия шахты, с тем чтобы воспользоваться знаниями специалистов по горному делу о составе газа и уровне его выделения на момент закрытия. Соблюдение сроков также позволяет разработчику проекта по МЗШ воспользоваться опытом маркшейдеров в плане оценки уровня затопления шахты. Наконец, разработчик проекта по МЗШ может воспользоваться преимуществами в период пикового уровня премиального газа сразу после закрытия.

Установлено, что в целом, в зависимости от величины и масштаба ресурсов, а также от числа доступных разработчику возможностей в связи с проектом, с технической точки зрения удобно и финансово целесообразно устанавливать в зданиях не стационарные газогенераторные установки, а несколько газогенераторных агрегатов в контейнерном исполнении. В случае превышения ресурсов МЗШ наличие стационарных объектов инфраструктуры приведет к неиспользованию или недоиспользованию большей части инвестиций, низкому коэффициенту загрузки и низкой окупаемости инвестиций. И наоборот, генераторы в контейнерном исполнении могут использоваться при реализации других проектов с, возможно, заниженными запасами газа.

Ожидается, что, в зависимости от угольного месторождения, пригодными для проектов по МЗШ являются не более 10–20% любой группы шахт. В эту подгруппу обычно входят: а) газообильные шахты; б) шахты, на которых в период добычи осуществлялась дегазация источников метановыделения; и с) шахты, которые, по прогнозам, не подвержены быстрому затоплению.

Оценка ресурсов МЗШ может быть трудной задачей. Наиболее точные оценки для проектов составляются в период, когда шахты еще открыты, поскольку это позволяет воспользоваться помощью опытных специалистов по горному делу в вопросах планирования, убедиться в фактическом объеме добычи газа и проанализировать документацию. Если шахта была закрыта в течение многих лет, то там, где это возможно, можно провести пробное бурение и скважинные испытания на всасывание/понижение и восстановление темпов извлечения в горных выработках в целях оценки пустотного пространства и ресурсов газа. Оценка пустотного пространства и ресурсов МЗШ может осуществляться с использованием сложного программного обеспечения для геологического моделирования. Однако, поскольку результаты моделирования зависят от качества используемых исходных данных, при толковании результатов пользователи модели должны учитывать фактор неопределенности. В Соединенном Королевстве один из разработчиков провел обширные работы по созданию модели коллектора с запасами, достаточными для строительства электростанции мощностью 20 МВт. Однако после бурения скважин в выработке оказалось, что запасы газа достаточны для производства 6 МВтэ. Этот случай наглядно иллюстрирует необходимость сочетания моделирования и физических испытаний.

В Соединенном Королевстве проекты по МЗШ реализуются более 20 лет, в течение которых не были зарегистрированы какие-либо серьезные инциденты или взрывы, связанные с утилизацией МЗШ.

Пример 4. Соединенные Штаты – Норт-Форкская долина, Колорадо

Добыча угля подземным способом в Норт-Форкской долине, расположенной в округах Дельта и Ганнисон в западной части штата Колорадо, осуществляется на протяжении более 100 лет: еще в 1903 году на двух шахтах Сомерсетского угольного месторождения началась разработка угленосных сланцевых горизонтов Паония и Боуи нижнемеловой формации Месаверде. В течение 2017 года в Норт-Форкской долине было добыто более 323 млн тонн угля. Этот высококачественный битуминозный уголь с весьма высоким энергетическим эквивалентом (примерно 11,6 МДж) и достаточно низким содержанием золы, серы и ртути является идеальным ресурсом для производства электроэнергии, так как он соответствует всем действующим в Соединенных Штатах экологическим стандартам. Добыча угля достигла пикового уровня в 2003 году: на четырех шахтах было добыто в общей сложности 16,5 млн коротких тонн угля, что составляло 46% объема добычи в штате. В 2013 году в долине было всего лишь три угольные шахты, имевшие действующие договора аренды на угледобычу (Вест Элк, Боуи и Элк Крик), на

Таблица 9.2 Угольные шахты Норт-Форкской долины

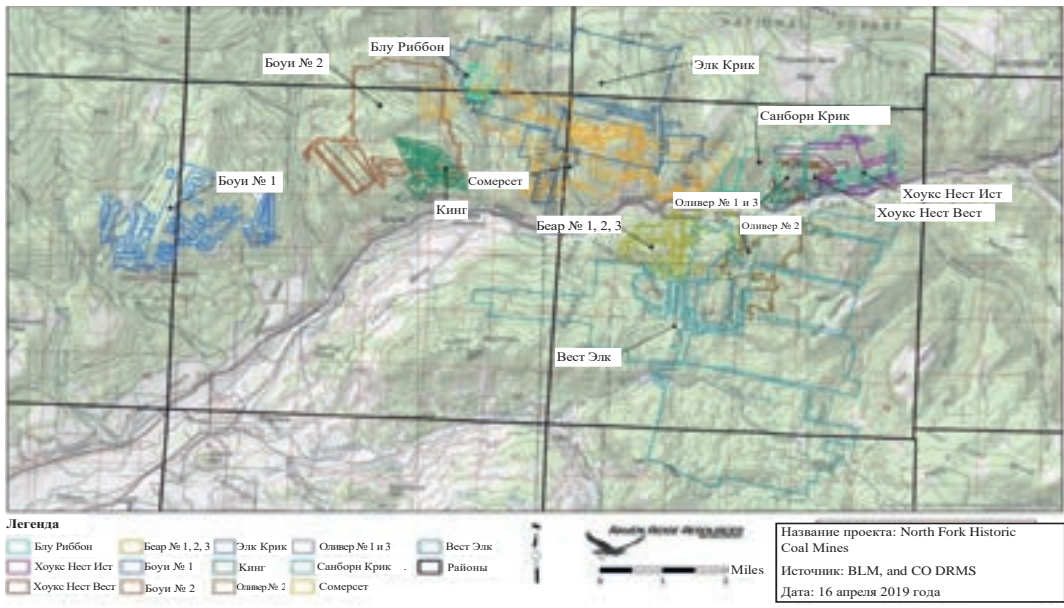
Шахта	Статус	Годы эксплуатации	Занимаемая площадь шахты (млн м ²)	Занимаемая площадь шахты (гектары)	Общий объем добычи угля (млн тонн)	Объем пустотного пространства шахты (млн м ³)	Процентная доля от совокупного пустотного пространства
Беар № 1, 2, 3	Выведена из эксплуатации	1932–1996	6,6	659,6	9,1	6,3	2,8%
Боуи № 1	Выведена из эксплуатации	1976–1998	4,1	405,9	16,1	11,0	5,0%
Элк Крик	Выведена из эксплуатации	2002–2013	17,4	1736,3	49,4	33,9	15,2%
Кинг	Выведена из эксплуатации	1903–1974	1,1	111,3	3,0	2,1	0,9%
Оливер № 1 и 3	Выведена из эксплуатации	1923–1960	1,0	96,2	1,4	0,9	0,4%
Оливер № 2	Выведена из эксплуатации	1945–1954	2,4	241,6	0,8	0,5	0,2%
Санборн Крик	Выведена из эксплуатации	1992–2003	6,1	607,6	16,8	11,6	5,2%
Сомерсет	Выведена из эксплуатации	1903–1985	14,3	1431,9	31,2	21,4	9,6%
Хоукс Нест Вест	Выведена из эксплуатации	1937–1982	1,1	113,2	2,9	2,0	0,9%
Блу Риббон	Выведена из эксплуатации	1956–1963 1977–1984	0,4	36,9	0,6	0,4	0,2%
Хоукс Нест Ист	Выведена из эксплуатации	1975–1982	2,0	203,3	2,0	1,4	0,6%
Итого по выведенным из эксплуатации шахтам			56,4	5 643,8	133,2	91,5	
Боуи № 2	Законсервирована	1997–2016	8,3	825,7	42,6	29,3	13,2 %
Вест Элк	Действующая	1992 – настоящее время	42,1	4 205,8	148,1	101,7	45,7 %
ВСЕГО			106,7	10 675,2	323,9	222,5	

Источник: Marshall, J., 2019, сборник неопубликованных данных и результаты анализа.

которых добывалось приблизительно 10 млн тонн угля и работали около 1 000 человек, а объем выброса метана составлял 66,5 млн кубических метров (949 952 т CO_{2s}). В 2017 году работала лишь шахта «Вест Элк», на которой добывалось 4,8 млн коротких тонн, или 43,4 % объема угля, добываемого в штате, и выбрасывалось 26 млн кубических метров метана (441 938 т CO_{2s}) через ее системы вентиляции и дегазации. Шахта «Боуи» в настоящее время законсервирована в связи с выработкой угольных запасов, предусмотренных планом добычи в соответствии с действующим договором аренды. В результате пожара добыча на шахте «Элк Крик» была приостановлена и владелец начал ремонтно-восстановительные работы.

В настоящее время в Норт-Форкской долине имеется по меньшей мере 14 выведенных из эксплуатации шахт (таблица 9.2), которые в общей сложности занимают площадь размером приблизительно 5 600 гектаров, а общий объем выработанного пространства выведенных из эксплуатации шахт составляет 91 млн кубических метров, судя по общему объему угледобычи на

Рисунок 9.8 Карта действующих и выведенных из эксплуатации шахт Норт-Форкской долины



Источник: Raven Ridge, 2019, сборник неопубликованных данных и результаты анализа.

каждой шахте (рисунок 9.8). С закрытием шахты «Боуи», за которым последует закрытие шахты «Вест Элк» после того, как на ней будут выработаны ее запасы, совокупный объем пустотного пространства выведенных из эксплуатации шахт увеличится еще на 131 млн кубических метров.

Все угольные пласты, разрабатываемые на шахтах, перечисленных в таблице 9.2, являются газообильными, при этом на нескольких более крупных шахтах, на которых разработка ведется длинными забоями, требуется программа дегазации источников метановыделения в дополнение к вентиляционной системе, установленной в период эксплуатации шахт. Поэтому можно с уверенностью сказать, что метан в различных концентрациях занимает большую часть пустотного пространства закрытых шахт. Кроме того, утечки метана были обнаружены на герметизированных устьях штолен, вентиляционных трубах и ликвидированных скважинах.

ООО «Норт-Форк Энерджи», дочерняя компания корпорации «Весселс Коул Газ», реализует на выведенной из эксплуатации в 2016 году шахте «Элк Крик» проект по метану закрытых шахт, в рамках которого объем добычи составляет 8 000 кубических метров в день. Реализация проекта началась в 2012 году в период эксплуатации шахты, и на сегодняшний день было уничтожено приблизительно 70 млн кубических метров метана. Корпорация «Весселс», а также другие субъекты изучили иные варианты использования технологий дегазации источников метановыделения на ряде газообильных шахт в регионе, однако из-за отсутствия доступа к трубопроводам природного газа, а также вследствие весьма низких отпускных цен на электричество в регионе, факельное сжигание было признано экономически целесообразным методом борьбы с загрязнением окружающей среды. Вместе с тем корпорации «Весселс» удалось также заключить соглашение сроком на 15 лет о продаже 3 МВт электроэнергии местному коммунальному предприятию «Холи Кросс Энерджи» в рамках программы штата Колорадо по возобновляемой энергетике.

На этапе планирования находится еще один проект по факельному сжиганию; зарегистрированная в южной Флориде компания ООО «Хуббард Крик Коул Газ» предлагает сжигать в факелах шахтный метан, отводимый через вентиляционные скважины на законсервированной шахте «Боуи».

Все арендуемые участки для добычи угля в долине реки Норт-Форк расположены на землях, находящихся в федеральной собственности. Это означает, что регулирующим органом, осуществляющим надзор за эксплуатацией всех природных ресурсов, является Бюро землеустройства Соединенных Штатов (БЗСШ).

Имевшие место в Соединенных Штатах резонансные случаи заложили правовую основу для урегулирования вопросов, возникающих в связи с попытками получить права на каптирование и утилизацию ШМ и МЗШ. Два важных прецедента ставят под сомнение наличие у соответствующих органов власти полномочий и обязательств в отношении прав на аренду для разработки газовых ресурсов наряду с угольными ресурсами. В решении по первому знаковому делу (*АМОСО Production Company v. Southern Ute Tribe 526 U.S. 865, 875 (1999)*) Верховный суд Соединенных Штатов постановил, что выданные в соответствии с законами об угленосных землях 1909 и 1910 годов разрешения на использование арендуемых для разработки угольных месторождений земельных участков, не обеспечивают автоматически право на каптирование и утилизацию природного газа. Апелляционный совет по внутренним делам, представляющий собой апелляционную инстанцию Министерства внутренних дел, которая занимается разрешением споров в отношении использования государственных земель и их ресурсов и распоряжения ими, постановил, что использование земельных участков, арендуемых в целях добычи нефти и газа, не является надлежащим механизмом, регламентирующим каптирование такого газа, как метан. В своем решении административные судьи заявили, что такой газ, как метан, в частности ШМ и МЗШ, является непреднамеренным побочным продуктом угледобычи, а участки его скопления не являются месторождением и поэтому не могут передаваться в аренду на основе обычного соглашения об аренде земельных участков для разработки месторождений нефти и газа. В попытке исправить ситуацию БЗСШ выпустило инструктивный меморандум (ИМ) 2017-037, который разрешил каптирование и продажу этого попутного газа, называемого сбросным шахтным метаном (СШМ), путем внесения изменений в существующие договоры аренды участков угледобычи и включения этого механизма во вновь заключаемые договоры аренды участков угледобычи. К сожалению, ИМ 2017-037 был отменен посредством ИМ 2018-018 из опасения обременить угледобывающие компании ненадлежащими правилами, которые могут негативно сказаться на экономике угледобычи. Однако в этом ИМ не указывается на отсутствие у БЗСШ полномочий и утверждается, что действия по получению права на каптирование и утилизацию этих побочных газов являются допустимыми и добровольными.

Отдел твердотопливных ресурсов БЗСШ осуществляет надзор за использованием участков для разработки угольных месторождений на протяжении всего жизненного цикла угледобычи: от выдачи разрешений на разработку и до выдачи разрешений на аренду участков угледобычи после прекращения добычи. Таким образом, единственным механизмом, который Отдел твердотопливных ресурсов может использовать для одобрения деятельности по каптированию шахтного метана является выдача разрешений на аренду участков угледобычи; однако в типовом федеральном договоре аренды участка угледобычи отсутствуют положения, касающиеся сжигания в факелах, борьбы с загрязнением окружающей среды или каптирования метана иным образом в процессе угледобычи. Поэтому арендатор участка угледобычи должен будет согласовать с БЗСШ дополнение или изменение к договору аренды. Вместе с тем сохраняется неопределенность в отношении того, каким образом БЗСШ будет регулировать каптирование метана или давать стоимостную оценку газа с точки зрения платы за недропользование.

После отказа арендатора от арендуемого участка угледобычи и официального закрытия шахты, возникает дополнительная неопределенность, так как у БЗСШ отсутствует официальная политика регулирования деятельности по МЗШ. Директор БЗСШ в штате Колорадо выпустил заявление о том, что разрешение на реализацию проекта по каптированию метана на выведенных из эксплуатации шахтах подпадает под сферу деятельности отдела БЗСШ по жидким полезным ископаемым, что

требует заключения договора аренды для разработки нефтяных и газовых ресурсов. В рамках этого процесса от инициатора проекта требуется предложить для сдачи в аренду участки для разработки нефти и газа, а затем БЗСШ проведет конкурс на сдачу в аренду участка для всех потенциальных коллекторов в пределах геологической формации, подстилающей предложенный участок. В целях получения участка в аренду инициатор проекта должен стать победителем конкурса. К сожалению, директор также высказал предположение о том, что штат Колорадо, возможно, располагает более широкими возможностями для регулирования деятельности по каптированию метана на выведенных из эксплуатации шахтах в рамках своих различных программ по обеспечению качества воздуха.

Отсутствие четкой политики и четкого курса в отношении способов управления шахтным метаном позволило горнодобывающим компаниям продолжать свою деятельность без решения проблем, связанных с выбросами метана, и стало препятствием для дальнейшего освоения этого значительного ресурса.

В 2017 году была сформирована Норт-Форкская рабочая группа по метану угольных шахт в целях разработки и реализации всеобъемлющей стратегии по просвещению в области шахтного метана, смягчению последствий выбросов и рациональному использованию метана угольных шахт в Норт-Форкской долине. Членами – учредителями этой группы являются полномочные представители органов власти округа, сотрудники расположенных в регионе шахт, члены Сената и Палаты представителей Соединенных Штатов от штата Колорадо, а также представители различных экологических групп, коммунальных электроэнергетических предприятий и различных соответствующих государственных учреждений Колорадо. В настоящее время группа проводит работу с региональным управлением БЗСШ по поощрению разработки официальных мер политики, содействующих использованию шахтного метана и/или смягчению последствий его выбросов.

В январе 2019 года г-н Беннет, член Сената Соединенных Штатов, и г-н Негус, член Палаты представителей Соединенных Штатов, от штата Колорадо внесли на рассмотрение проект закона об активном отдыхе и хозяйственной деятельности в штате Колорадо (H.R. 823), в который включены две статьи (статьи 305 и 306), посвященные аренде участков для разработки метана угольных шахт. Этот законопроект призывает разработать экспериментальную программу, стимулирующую каптирование, рациональное использование метана, смягчение последствий и/или сокращение неорганизованных выбросов метана на подземных угледобывающих предприятиях, расположенных на территории округов Гарфилд, Ганнисон, Дельта и Питкин в западной части Колорадо. Данный законопроект был представлен Конгрессу 6 июня 2019 года, рассмотрен, доработан и включен в список законопроектов, ожидающих дальнейших действий.

Пример 5. Соединенные Штаты – Проект по добыче метана на лицензионном участке выведенной из эксплуатации шахты «Элк Крик»

Проект по добыче метана на лицензионном участке выведенной из эксплуатации шахты «Элк Крик» (Проект) реализуется на территории округа Ганнисон штата Колорадо (США). Открытая в 2001 году шахта «Элк Крик» была самым крупным в Соединенных Штатах предприятием по добыче угля подземным способом для производства электроэнергии из МУШ, начавшегося в 2012 году. Проект был разработан и до сих пор реализуется корпорацией «Весселс Коул Газ» (ВКГ). В феврале 2016 года шахта была закрыта и выведена из эксплуатации, и проект по ШМ был преобразован в проект по добыче МЗШ на нескольких шахтах, включая шахту «Элк Крик» и четыре ближайших выведенных из эксплуатации шахты – «Санборн Крик», «Хоукс Нест Ист», «Хоукс Нест Вест» и «Сомерсет». Шахта «Санборн Крик» была закрыта в 2003 году, а остальные три шахты –

Рисунок 9.9 Проект по МЗШ для производства электроэнергии на шахте «Элк Крик»



Источник: Coté, M., 2016.

в 1980-е годы. В период эксплуатации все шахты из данной группы считались газообильными, особенно шахты «Элк Крик» и «Санборн Крик», объем выбросов метана на которых в среднем составлял 144 000 и 150 000 кубических метров в день соответственно.

Проект изначально представлял собой уникальное партнерство разнопрофильных компаний. В 2012 году в рамках проекта по ШМ (стоимостью 6 млн долл. США) свои усилия объединили корпорация «Весселс Коул Газ» и компании «Оксбоу Майнинг» (оператор угольных шахт), «Холи Кросс Электрик» (коммунальная электроэнергетическая компания) и «Аспен Скиинг» (конечный потребитель и финансовая организация). Поскольку оптовые цены на электроэнергию в регионе низкие (0,03 долл. США/кВт·ч), что типично для рынков Соединенных Штатов, в целях обеспечения финансовой жизнеспособности Проекта потребовались дополнительные доходы от реализации продукции с экологически удовлетворительными характеристиками.

Помимо продажи электроэнергии сельской электроэнергетической компании, Проект получает финансовую выгоду в рамках двух действующих в штате отдельных политических мер стимулирования, на которые он имеет право: зачеты в порядке компенсации выбросов углерода в соответствии с Калифорнийской программой компенсационных выплат за соблюдение экологического законодательства и квоты за использование возобновляемых источников энергии (КВИЭ), одобренные Комиссией штата Колорадо по коммунальным услугам. Зачеты в порядке компенсации выбросов углерода имеют решающее значение для экономической жизнеспособности Проекта в связи с низкими ценами на электроэнергию. В период 2016–2018 годов в рамках Проекта удалось сократить выбросы CO_2 на более чем 500 000 тонн (в рамках компенсации выбросов углерода), что эквивалентно удалению 36 000 автомобилей с автомагистралей Соединенных Штатов. В 2018 году объемы сокращенных выбросов углерода засчитывались по цене приблизительно 13 долл. США/тонну CO_2 , а КВИЭ дополнительно по цене 0,01 долл. США/кВт·ч.

Содержащиеся в верхнемеловых пластах высоколетучие битуминозные угли марок А и В добываются на Сомерсетском угольном месторождении с конца 1800-х годов из четырех угольных пластов на глубине 150–850 метров. Мощность отдельных угольных пластов составляет 2–5 метров, а общая мощность угольного массива в пределах этого района – приблизительно 13 метров. Содержание газа, в значительной степени зависящее от мощности перекрывающих пород, достигает в горных районах с глубокозалегающими угольными пластами 10 м³/тонну. Все заброшенные горные выработки пяти шахт частично перекрывают друг друга, создавая зону влияния МЗШ, который может извлекаться на двух основных участках. В результате метан извлекается из скважин, расположенных только на двух шахтах – «Элк Крик» (включает шахтный

газ из Сомерсетского месторождения) и «Санборн Крик» (включает шахтный газ из шахт «Хоукс Нест»).

После закрытия шахты «Элк Крик» корпорация ВКГ продолжает эксплуатировать электростанцию мощностью 3 МВт наряду с закрытой факельной системой, что позволяет извлекать около 50 000 кубических метров метана в день. МЗШ добывается из подземных горных выработок и подается на технологические установки, обеспечивающие уничтожение/конечное использование метана, с помощью газовых воздуходувок, действовавших в период добычи полезных ископаемых. В рамках Проекта для производства электроэнергии используются три газогенераторные установки Guascor мощностью 1 МВт (1 500 л.с.), работающие на обедненной смеси, и система факельного сжигания Abutec. От расположенной на площадке электроподстанции электроэнергия подается в сеть напряжением 46 кВ и далее по линиям электропередач в энергосистему общего пользования и к лыжным трассам. Надежность Проекта в плане поставки электроэнергии в сеть была высокой (средний цикл бесперебойной работы 90–95% в год) как на этапе эксплуатации шахт, так и на этапе их вывода из эксплуатации.

Для непрерывного измерения объема метана, уничтоженного в ходе работ по Проекту, используются газовые расходомеры и анализаторы метана. Кроме того, в целях обеспечения уничтожения газа и соблюдения условий программы компенсации выбросов углерода постоянно контролируется время безотказной работы генератора и температура факела. Все данные собираются с помощью программируемого логического контроллера (ПЛК) на объекте, фиксируются и хранятся на компьютерах за пределами объекта.

Ожидается, что осуществление проекта продлится до конца 2026 года. В 2019–2020 годах ВКГ планирует включить в Проект другие участки выведенных из эксплуатации шахт, которые в настоящее время не вносят вклад в объем извлекаемого метана. Мощность подстанции позволяет нарастить передачу электроэнергии в сеть до 9 МВт.

Корпорация «Весселс Коул Газ» отметила ряд уроков, извлеченных в ходе разработки Проекта, получения разрешений и эксплуатации в течение шести лет, а именно:

- необходимость учета требований разрешительной документации, устанавливающей предельные критерии для загрязняющих веществ, образующихся в результате сжигания ШМ (т. е. NO, CO) в оборудовании для конечного использования или уничтожения;
- необходимость просвещения и информирования сотрудников регуляторных органов всех уровней в целях формирования понимания по вопросам, касающимся выбросов ШМ и МЗШ и углеродной нейтральности отдельных проектов;
- необходимость признания неопределенности прогнозов о добыче метана и учета в экономических оценках случаев с высоким, средним и низким объемом добычи;
- представляя Проект, важно отметить вторичные экологические выгоды, в частности сокращение выбросов метана, являющегося прекурсором летучих органических соединений и озона, а также парниковым газом;
- важно отметить выгоды от сокращения выбросов нестойких климатических загрязнителей, в том числе метана, ПГП которого составляет 86 (в течение 20 лет), согласно пятому Докладу об оценке;
- целесообразность привлечения к разработке проекта местных заинтересованных сторон и компаний.

Приложения

Приложение 1. Режимы испытаний для определения характеристик коллектора МЗШ

ХАРАКТЕРИСТИКА КОЛЛЕКТОРА	ИСПЫТАНИЯ	РЕЗУЛЬТАТЫ
Уровень и приток воды	<ul style="list-style-type: none"> ■ Мониторинг уровня воды в ключевых точках подземного коллектора. Помимо существующих средств мониторинга, могут понадобиться исследовательские скважины ■ Изменение существующих программ осушения в целях оценки степени притока во всех частях выработок ■ Анализ качества воды 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Подтверждение уровня воды или (в некоторых случаях) подтверждение того, что уровень воды не поднялся до определенного уровня ■ Уточнение показателей притока воды ■ Определение степени проводимости в подземных выработках ■ Рассмотрение вопросов качества воды и вариантов сброса
Открытое пустотное пространство	<ul style="list-style-type: none"> ■ Мониторинг газоотводящей системы для наблюдения за изменениями давления газа и температуры в динамике по времени 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Результаты могут указывать на объем коллектора МЗШ, но без учета десорбции газа из угольных пластов ■ Резкие колебания давления при низких показателях расхода могут указывать на минимальный объем пустотного пространства и, соответственно, на высокую сопротивляемость системы или затопление
Приток воздуха	<ul style="list-style-type: none"> ■ Активные пробные откачки газа для контроля концентрации кислорода в добываемом газе ■ Зондирование грунта и отбор проверочных проб на небольших глубинах вокруг бывших шахтных входов в целях выявления утечек шахтного газа на поверхность ■ Испытания дымовым методом вблизи входов в шахту ■ Взаимодействие между станциями мониторинга для определения путей миграции 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Обнаружение кислорода в добываемом газе указывает на приток воздуха в коллектор МЗШ ■ Может потребоваться проведение дальнейших испытаний для определения вероятного источника утечки ■ Приток воздуха разбавляет газ и сокращает величину давления всасывания, которое может быть приложено к шахте ■ Необходимость проведения инженерно-ремонтных работ по обустройству бывших шахтных входов ■ Потенциальные проблемы с вытяжным трубопроводом ■ Результаты могут использоваться для демонстрации эффективности инженерно-ремонтных работ
Сообщаемость между поверхностью и подземным пространством	<ul style="list-style-type: none"> ■ Измерение потери давления между поверхностью и подземным пространством; для уточнения результатов могут использоваться активные пробные откачки ■ Для подтверждения ненарушенности путей сообщения могут использоваться активные пробные откачки газа 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Можно рассчитать сопротивление на участке, соединяющем поверхность с подземным пространством; это значение может быть подтверждено полевыми испытаниями ■ Чрезмерная потеря давления может указывать на плохую сообщаемость с подземным пространством, что будет препятствовать добыче газа и достижению расчетных показателей
Проводимость подземных выработок	<ul style="list-style-type: none"> ■ Активные пробные откачки в целях извлечения газа из выработок ■ Использование станций мониторинга, расположенных на некотором расстоянии от пункта добычи газа, для подтверждения диапазона давления всасывания. Это испытание может проводиться перед закрытием с использованием шахтного вентилятора 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Подтверждение проводимости выработок. Резкий рост давления всасывания и снижение расхода могут указывать на частичное загромождение или минимальный объем пустотного пространства ■ Подтверждение состояния и проводимости основных шахтных штреков

Характеристика коллектора	Испытания	Результаты
Состав газа	<ul style="list-style-type: none"> ■ Использование переносных приборов для мониторинга изменений газового состава с течением времени Обнаружение: <ul style="list-style-type: none"> ■ метана ■ диоксида углерода ■ кислорода ■ высших углеводородов ■ сероводорода ■ других газов ■ Измерения расхода ■ Измерения давления 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Определение теплотворности газа (не только метана) по результатам мониторинга и анализа газа ■ Единицы измерения теплотворности или теплоты сгорания должны использоваться при проведении финансовой оценки ■ Выявление потенциальных загрязнителей, которые могут вызвать проблемы при эксплуатации/проведении технического обслуживания или недопустимые выбросы в окружающую среду ■ Выявление неконтролируемого притока воздуха ■ Общие характеристики коллектора, влияющие на извлечение газа

Приложение 2. Основные элементы предварительного технико-экономического обоснования проектов по МЗШ

- Описание предлагаемого проекта и его местоположения, график проведения изысканий, разработки и добычи с указанием предварительных сроков этапов принятия решений.
- Результаты любого мониторинга дебита газа на шахте до и после закрытия, сведения о дегазации в прошлом, дата закрытия (если уже закрыта). Ценную информацию о возможностях добычи газа после ее закрытия можно получить в ходе изысканий, проводимых в период эксплуатации шахты. К ним относятся измерения содержания газа в пластах, интенсивности дегазации, потока газа в системе вытяжной вентиляции и степени влияния главного вентилятора как показателя взаимосвязи с неглубокими, старыми выработками.
- Предварительная оценка газовых ресурсов на основе данных об объеме оставшегося на месте разгруженного угольного пласта над выработками и содержании газа в угольных пластах. Для этого требуется репрезентативный геологический разрез с описанием всех разработанных или неразработанных угольных пластов. Следует сделать поправки на приток воды и давление, которое может быть достигнуто в процессе добычи при достижении расчетного значения вероятного объема извлечения газа (запасы МЗШ).
- Определение количества, расположения и особенностей зарегистрированных шахтных входов (стволы, бремсберги, галереи или вспомогательные скважины).
- Оценка возможности наличия незарегистрированных шахтных входов.
- Расходы на герметизацию стволов и штолен в соответствии со стандартом воздухопроницаемости, пригодным для добычи МЗШ; эти мероприятия принципиально отличаются от обычной практики герметизации во многих развивающихся странах. Следует рассмотреть вопрос о глубине залегания крепких пород в поперечном сечении входа в шахту и любых подлежащих сносу существующих наземных сооружений. Опыт проектов по МЗШ говорит о том, что зачастую проблемы связаны с притоком воздуха вследствие ненадлежащего проведения инженерно-технических мероприятий по герметизации.
- Сведения о предлагаемой программе эксплуатационных испытаний, которые должны быть проведены для подтверждения адекватности герметизации, а также объемов и качества добываемого газа.
- Подземные инженерно-технические мероприятия, которые должны быть проведены до закрытия в целях создания оптимальных условий для доступа к газу (например, путем перенаправления потоков воды и прокладки трубопроводов и использования существующих трубопроводов), с тем чтобы обеспечить передачу газа через пониженные участки, которые могут быть затоплены, путем устройства изолирующих перемычек в стволах.
- Сведения об источниках и объемах поступающей в шахту воды и варианты контроля притока воды после закрытия. К их числу может относиться информация об установке и использовании системы осушения, расходы на которую будут понесены в ходе реализации проекта по МЗШ.
- Выявление любых существующих объектов поверхностной инфраструктуры, подъездных путей и расходов по очистке и подготовке площадки.
- Оценка вариантов утилизации газа, существующего газохранилища и распределительной инфраструктуры, возможных промышленных и коммерческих потребителей и текущих местных цен на электроэнергию и газ с низкой и средней теплотворной способностью. В исследовании должны также содержаться сведения о потребностях и расходах, связанных с требованиями в отношении новых объектов инфраструктуры.
- Варианты использования газа из альтернативных источников для дополнения поставок, например ШМ или природного газа.

- Возможные социальные последствия в плане создания/потери рабочих мест и стимулирования экономического развития района; программы по МЗШ могут быть первым проектом по реконструкции на закрытой шахте.
- Экологические последствия и выгоды, связанные с регулированием выбросов газа на поверхности и в атмосферу.
- Вопросы безопасности.
- Получение разрешений и доступ к земельным ресурсам, право собственности на полезные ископаемые и газ.
- Предварительная финансовая оценка и сметная стоимость полного технико-экономического обоснования, включая любые общестроительные работы и программы испытаний.
- Выявление факторов неопределенности и пробелов в знаниях.
- Предлагаемые стратегии проведения изысканий и мониторинга.

Приложение 3. Инженерно-технические варианты обустройства шахтных входов после закрытия шахты

ВАРИАНТ	СЛОЖНОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ	АСПЕКТЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ
Сооружение полка перекрытия ствола на отметке крепких пород	<ul style="list-style-type: none"> ■ Глубина сооружения полка ограничена возможностями выемки грунта с поверхности. Кроме того, для доступа техники требуется укрепление выемки на глубине ■ Рабочая площадка должна быть приспособлена для земляных работ ■ Геолого-технические свойства пород на отметке устройства полка 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Обеспечить выемку грунта до отметки коренных пород ■ Устроить полки с опорой на крепкие породы во избежание просадки ■ Обеспечить сцепление полка с породой для надежной изоляции ствола. Во избежание утечек из-под полка возможно применение дополнительного герметизирующего материала ■ При необходимости предусмотреть устройство низкопроницаемого барьера по периметру полка
Сооружение полка перекрытия с опорой на крепь ствола при глубокой засыпке	<ul style="list-style-type: none"> ■ Геолого-технические свойства и глубина уровня закладки ■ Устойчивость крепи ствола для устройства полка ■ Доступ в целях герметизации каналов для инженерных коммуникаций 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Рассмотреть целесообразность опоры на крепь ствола и возможную усадку полка и закладки ■ Выемка грунта требуется на небольшую глубину ■ Обеспечить дополнительный барьер по периметру полка ствола с опорой на крепь ствола для надежной изоляции ■ Перекрыть каналы для инженерных коммуникаций
Возведение опорных бетонных пробок в стволе	<ul style="list-style-type: none"> ■ Геолого-технические свойства и глубина уровня закладки ■ Устойчивость бетонной пробки ■ Сохранение доступа к каналам для инженерных коммуникаций ■ Глубина и высота бетонной пробки ■ Необходимость закладки ствола под опалубку для бетонной пробки 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Обеспечить возведение бетонной пробки без снижения проницаемости закладки ствола ■ Вывести трубопроводы через пробку ■ Обеспечить дополнительное крепление по периметру крепи ствола в целях удержания пробки ■ Рассмотреть варианты устройства дополнительного защитного барьера и перекрытия каналов для инженерных коммуникаций
Герметизация устьев штолен перемычками	<ul style="list-style-type: none"> ■ Глубина залегания крепких пород и геолого-технические свойства закладочного материала ■ Метод возведения портала ■ Контроль притока поверхностных вод ■ Доступ к сужениям 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Обеспечить сцепление стенок перемычки с породой для обеспечения устойчивой опоры и надежной изоляции ствола ■ Определить высоту перемычки или тип закладочного материала ■ Предотвратить скопление воды у стенки перемычки ■ Выполнить тампонаж пространства между перемычкой и породой ■ Вывести трубопроводы через перемычку

Приложение 4. Оборудование и работы, необходимые для строительства и эксплуатации объектов в рамках проектов по МЗШ

ОБОРУДОВАНИЕ/ТЕХНОЛОГИИ	РАБОТЫ/МЕРОПРИЯТИЯ
<ul style="list-style-type: none"> ■ Бурение дегазационных скважин с поверхности, в том числе методом направленного бурения и бурения на обсадных трубах. ■ Газовые мембраны-перекрытия и другие изделия и технологии для надежной изоляции шахтных входов. ■ Нагнетание тампонажного раствора. ■ Водоотливные насосы, трубная обвязка и системы управления. ■ Ограничение водопритока. ■ Наземные дегазационные вакуум-насосы и системы управления. ■ Стационарные и переносные средства контроля. ■ Сборный газопровод и регулирующая арматура. ■ АСУ ТП и система контроля безопасности с дистанционной сигнализацией. ■ Газокомпрессорная установка. ■ Коммутационная аппаратура. ■ Средства дистанционной передачи информации. ■ Измерение состава (теплотворной способности) и дебита извлекаемого газа. ■ Измерительные приборы и оборудование. ■ Процессы подготовки и очистки газа. ■ Придание газу запаха газа перед транспортировкой в целях обнаружения утечек. ■ Оборудование для утилизации газа. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Определение требований к эксплуатационным характеристикам схемы дегазации. ■ Технические характеристики оборудования. ■ Подготовка проектов строительных работ, работ по обустройству шахтных входов, подготовке и обустройству площадки, монтажу комплекса по добыче МЗШ и соответствующих объектов инфраструктуры. ■ Подготовка договоров. ■ Оценка конкурсных заявок на подряд. ■ Контроль выполнения работ на площадке. ■ Подготовка плана мероприятий по охране труда и технике безопасности. ■ Анализ информации. ■ Пусконаладочные работы и устранение недостатков и ошибок. ■ Положение об охране труда и технике безопасности и соответствующие планы. ■ Соглашения о купле-продаже газа и электроэнергии. ■ Определение организационной структуры предприятия. ■ Технологические регламенты. ■ Планы мероприятий в аварийной обстановке (включая порядок экстренного сбора). ■ Политика в области аудита и экспертизы. ■ Экологический контроль. ■ График технического обслуживания. ■ Управление проектом. ■ Техническая поддержка. ■ Взаимодействие с заказчиком. ■ Развитие хозяйственной деятельности. ■ Финансовый контроль.

Справочные материалы

- A-TEC ANLAGENTECHNIK. Data provided on Lohberg mine and power generation station.
- A-TEC ANLAGENTECHNIK. Data provided on AMM Projects in the Ruhr Valley.
- ROBINSON, A., Chief Operations Officer, Arevon Energy. Data provided on Harworth Mine Emissions Forecast (Estimated Curve Showing Bonus Peak Gas).
- BACKHAUS, C., (2017). Experience with the utilization of coal mine gas from abandoned mines in the region of North-Rhine-Westphalia, Germany. Presentation at Workshop on Coal Mine Methane and Abandoned Mine Methane in the context of Sustainable Energy. United Nations Economic Commission for Europe. Geneva, Switzerland. Available at: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/se/pdfs/cmm/cmm12/Workshop_2017/7.Mr._Backhaus.pdf.
- BUTLER, N., HEL-East Ltd. Data on, and pictures of Stillingfleet Mine and Harworth Colliery.
- CEC, (1998). Practical control of gas emission risks to the surface environment following mine closure. Draft Final Report on ECSC Research Project 7220-AF/014.
- COTÉ, M., R. COLLINGS AND C. TALKINGTON, (2003). Methane Emissions Estimates & Methodology for Abandoned Coal Mines in the United States, in 2003 International Coalbed Methane Symposium Proceedings, May 5-9, 2003.
- COTÉ, M., (2016). Coal Mine Methane in Colorado Market Research Report, Retrieved from https://www.colorado.gov/pacific/sites/default/files/atoms/files/Coal%20Mine%20Methane%20Report%202016%20FINAL%203_2016.pdf, p.7.
- COTÉ, M., (2018a). Maximizing Value of Abandoned Mine Methane, Global Methane Forum, Toronto, Canada, 17 April 2018.
- COTÉ, M., (2018b). Significance of Abandoned Mine Methane Emissions and Preparing for Projects, Global Methane Forum UNECE Side Event, Toronto, Canada, 16 April, 2018.
- COTÉ, M. (2018c). Maximizing the value of abandoned mine methane [slide 15, PowerPoint presentation]. Retrieved from: <https://www.globalmethane.org/gmf2018/presentations/0417MaximizingValueofAMM.pdf>.
- CREEDY, D.P. AND KERSHAW S. (1988). Firedamp prediction – a pocket calculator solution. The Mining Engineer. Inst of Mining Engineers, Vol. 147, No. 317, Feb., pp. 377-379.
- CREEDY, D.P (1985). The origin and distribution of firedamp in some British coalfields. University of Wales, Dec 1985.
- CREEDY, D. P. AND K. GARNER (2002). Coal Mine Methane Extraction and Utilisation from Abandoned Coal Mines Workshop, UK-China Cleaner Coal Technology Transfer, UK Department of Trade and Industry, 21 May 2002, Beijing.
- DEMIR, I, D. MORSE, S. D. ELRICK, AND C. A. CHENOWETH, (2004). Delineation of the coalbed methane resources in Illinois: Illinois State Geological Survey Publication, Circular 564, p. 66.
- DENYSENKO A., M. EVANS, N. KHOLOD, N. BUTLER, V. ROSHCHANKA, (2019). Legal and Regulatory Status of Abandoned Mine Methane in Selected Countries: Considerations for Decision Makers. EPA Publication No 430R19003. March 2019.
- DODT, J. AND M. DRECKER, (2018). Multimedia Documentation of the Coal-Mines in the Ruhr District, International Cartographic Association, ICC Proceedings, p. 8.
- EPA, (2015). Coal Mine Methane Country Profiles, Global Methane Initiative. Available at https://www.globalmethane.org/documents/Toolsres_coal_overview_fullreport.pdf.
- EPA, (2017). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 – 2015., U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. Available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2017-02/documents/2017_complete_report.pdf.

- EPA, (2019). Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990 – 2017., U.S. Environmental Protection Agency. Washington, DC. Available at: <https://www.epa.gov/ghgemissions/inventory-us-greenhouse-gas-emissions-and-sinks-1990-2017>.
- EPA, (2019). Legal and Regulatory Status of Abandoned Mine Methane in Selected Countries: Considerations for Decision Makers. U.S. Environmental Protection Agency. Washington, D.C. EPA Publication No: 430R19003. March 2019. Available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2019-03/documents/legal-regulatory-status-amm_epa.pdf.
- FERNANDO, S., (2011). Update of Estimated Methane Emissions from UK Abandoned Coal Mines, WSP Environment and Energy, Department of Energy and Climate Change, 25th May 2011.
- GLOBAL METHANE INITIATIVE (2016). International Coal Mine Methane Projects List, Global Methane Initiative. Available at <https://globalmethane.org/sectors/index.aspx?s=coal>.
- 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, IPCC, Geneva, Switzerland, p. 151
- INERIS, Colletif, (2006). L'élaboration des Plans de Prévention des Risques Miniers. Guide Méthodologique. Volet technique relatif à l'évaluation de l'aléa. Les risques de mouvements de terrain, d'inondations et d'émissions de gaz de mine. INERIS-DRS-06-51198/R01, Available at <http://www.ineris.fr/guide-pprm>.
- INERIS, 2019. Post-Mining Hazard Evaluation and Mapping in France. Ineris- DRS-19-178745-02411A, www.ineris.fr/en/post-mining-hazard-evaluation-and-mapping-france.
- KERHAW. S., (2005). Development of a methodology for estimating emissions of methane from abandoned coal mines in the UK, White Young Green for the Department for the Environment, Food and Rural Affairs, (GA01039), 2005.
- KHOLOD N., M. EVANS, R. C. PILCHER, M. COTÉ, R. COLLINGS, (2018). Global CMM and AMM Emissions: Implications of Mining Depth and Future Coal Production, Pacific Northwest National Laboratory; Raven Ridge Resources; Ruby Canyon Engineering, Global Methane Forum, Toronto, 16 April 2018.
- LIU, W., (2018). Status and Potential of AMM Project Development in China, Global Methane Forum, Toronto, 16 April 2018.
- MARSHALL, J., 2019. Data provided on AMM Projects in the Ruhr Valley modified after data provided by Mingas-Power GmbH and A-TEC Anlagentechnik GmbH and compiled by C. Backhaus.
- MARSHALL, J., 2019. Unpublished data compilation and analysis (data provided by Mingas-Power GmbH and A-TEC Anlagentechnik GmbH and compiled by C. Backhaus).
- MINGAS-POWER. Data provided on Lohberg mine and power generation station.
- MOULIN, J., (2019). Personal interview with R.C. Pilcher, 2 July 2019.
- PILCHER, R.C., (2019). Unpublished data modelling and analysis.
- UNECE, (2016). Best Practice Guidance for Effective Methane Drainage and Use in Coal Mines. 2nd edition. ECE ENERGY SERIES No. 47. United Nations Economic Commission for Europe. Geneva, Switzerland. Available at: https://www.unece.org/fileadmin/DAM/energy/cmm/docs/BPG_2017.pdf.
- UNFCCC, (2017). Greenhouse Gas Inventory Data - Detailed data by Party, United Nations Framework Convention on Climate Change. Available at: http://di.unfccc.int/detailed_data_by_party.
- RAVEN RIDGE, 2019. Unpublished data compilation and analysis
- ОСТАПОВ, К., (2008). "Consequences of Closure of Unprofitable Mines of the Karaganda Coal Basin for the Purposes of Ecologic and Technical Safety// Последствия закрытия убыточных шахт Карагандинского угольного бассейна в целях экологической и технической безопасности." К.Н. Оспанов // Охрана труда Казахстана. – 2006. – №6(6). – С.38-41.

WEATHERSTONE, N., (2008). International Standards for Reporting of Mineral Resources and Reserves - Status, Outlook and Important Issues. World Mining Congress & Expo 2008. Available at: http://www.criresco.com/isr_mineral_resources_reserves0908.pdf.

Руководство по наилучшей практике эффективного извлечения и утилизации метана на выведенных из эксплуатации угольных шахтах

Уголь имеет первостепенное значение в обеспечении энергетической безопасности многих стран и играет значительную роль в смягчении проблемы дефицита энергоресурсов во всем мире. По мере истощения запасов угля или в связи с изменениями в энергетическом секторе экономики шахты неизбежно закрываются и выводятся из эксплуатации. Закрытие шахт может обеспечить небольшую, но важную возможность использования такого экологически чистого источника энергии, как метан закрытых шахт (МЗШ), который существующие технологии позволяют добывать и утилизировать. Излагаемые в настоящем документе принципы не заменяют и не отменяют, а дополняют существующую нормативно-правовую базу. Цель настоящей публикации заключается в том, чтобы служить руководством и подспорьем при разработке проектов, реализуемых после прекращения добывающей деятельности и направленных на сокращение в целом выбросов, характерных для жизненного цикла угледобычи, путем оптимизации извлечения и утилизации метана, которые в противном случае попадали бы в атмосферу.

Information Service
United Nations Economic Commission for Europe

Palais des Nations
CH - 1211 Geneva 10, Switzerland
Telephone: +41(0)22 917 12 34
E-mail: unece_info@un.org
Website: <http://www.unece.org>