

УДК

Поздеев Е.Э.

Координатор газомоторных проектов – системный администратор,
Техническая дирекция АО «СУЭК-Кузбасс»

Международный опыт утилизации и перспективы использования шахтного дегазационного метана

В процессе добычи угля одним из побочных продуктов является шахтный метан, извлекаемый на поверхность дегазационными установками¹, системами вентиляции² и газоправления. Производственный цикл угледобывающих предприятий характеризуется эмиссией метана, снижение которой возможно путем применения газопутилизационных установок.

В рамках работы выполнен комплексный анализ международной практики и драйверов запуска проектов утилизации шахтного метана. [2, 3]

Ключевые драйверы запуска проектов утилизации шахтного метана – дорогие энергоресурсы, государственное субсидирование и наличие рынка углеводородных кредитов для продажи квот за утилизированный метан

Китай. Ключевой драйвер развития – локальный рынок углеводородных кредитов МЧР (механизм чистого развития) путем создания пилотных систем углеродной торговли в 7 развитых регионах.

Австралия. Ключевой драйвер развития - финансирование проектов утилизации в виде субсидий от правительственных источников, локальный рынок углеводородных кредитов, *цена оплаты за утилизацию - 12\$ за 1т эквивалента CO₂³*.

США и Канада. Ключевой драйвер развития - рынок углеводородных кредитов Carbon markets for California, RGGI (Regional Greenhouse Gas Initiative) and Canada, *цена оплаты за утилизацию – 15-17\$ за 1т эквивалента CO₂³*

Европа. Ключевой драйвер развития - рынок углеводородных кредитов EU Emissions Trading System (EU ETS), **Германия, Польша, Чехия** - субсидирование части стоимости генерации электроэнергии для поддержания конкурентоспособности

В таблице 1 и 2 рассмотрены основные способы утилизации шахтного метана [1].

Таблица 1 - Способы утилизации Шахтного Метана

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

При невозможности и нецелесообразности утилизации шахтного метана применяется факельное сжигание метана для генерации углеводородных кредитов за утилизацию метана. **Для безопасного сжигания и утилизации концентрация метана должна быть > 30%.**

Таблица 2 - Способы утилизации Шахтного Метана

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

Статистическая информация о международных проектах утилизации шахтного метана приведена на рисунке 1 [1].



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

Рисунок 1 - Информация о международных проектах утилизации шахтного метана

Утилизация вентиляционного метана концентрацией от 0,5 до 1% возможна для получения тепла и генерации электроэнергии. Стоимость проектов утилизации начинается от 4-5 млн \$ (280 - 300 млн. руб.) для одной вентиляционной выработки выпуска исходящей струи. Себестоимость электроэнергии и тепла в разы выше рыночной цены. **Основной источник дохода проекта утилизации вентиляционного метана** – генерация углеводородных кредитов.

В настоящее время промышленная применимость технологий, использующих МВС в качестве первичного источника топлива, зависит от доходов, обеспечиваемых углеродными квотами или какими-либо другими стимулами и субсидиями

Альтернативные путем использования дегазационного метана является вариант технологии производства газомоторного топлива из шахтного газа с концентраций метана от 30% для использования на грузовом транспорте.

Типовой компонентный состав шахтного кондиционного дегазационного газа метана приведен в таблице 4.

Таблица 4 - Типовой компонентный состав шахтного кондиционного дегазационного газа метана

CH ₄	Метан	30– 90 %
N ₂	Азот	5 – 60 %
O ₂	Кислород	0,6 – 13 %
CO ₂	Углекислый газ	до 3 %
CO	Угарный газ	до 0,0002 %
C ₂ H ₆	Этан	до 0,04 %
C ₃ H ₈	Пропан	до 0,02 %
IC ₄ H ₁₀	Изобутан	до 0,01 %
nC ₄ H ₁₀	Н-Бутан	до 0,003 %

Основные ограничения для производства газомоторного топлива заключаются в следующем:

-Высокая концентрация кислорода до 12% и нестабильный состав шахтного метана вызывают сложности в подготовке газа для дальнейшего использования

- Готовых к производству установок подготовки дегазационного метана не существует.

Выполнен ряд поисково–исследовательских работ по технологиям удаления кислорода из метано-воздушных смесей на основании которых сформированы основные способы удаления кислорода и возможности их использования для метано-воздушных смесей:

1. Удаление кислорода методом адсорбции. Основной недостаток – возможность создания в реакторе взрывоопасно метано-воздушной смеси, так как полностью удалить кислород из адсорбера в процесса регенерации не получается.

2. Удаление кислорода в процессе сжижения. За счет разных температур сжижения газов имеется возможность разделить метана и кислород в процессе сжижения

Основной недостаток – наличие газообразного кислорода в СПГ и возможность получения взрывоопасных концентраций метана и кислорода в парогазовой фазе.

3. Удаление кислорода окислением на коксовом газе. В данной технологии к продуктовому газу добавляется оксид углерода, который вступает в окислительную реакцию на катализаторе. В результате удаляется кислород, но появляется оксид и диоксид углерода, который необходимо удалять на систем подготовки газа. Опыт применения таких технологий для обогащения метана неизвестен.

4. Каталитическое удаления кислорода (oxidation). В представленной технологии происходит реакция окисления метана и кислорода с образованием углекислого газа и воды. Чем больше

концентрация кислорода, тем больше уходит метана на окисление (одна молекула метана на две молекулы кислорода). Самый перспективный и широко используемый метод промышленного удаления кислорода из метано-воздушных смесей.

Заключение

В части производства газомоторного топлива из дегазационного метана технологии удаления легких углеводородов, азота, окиси и диоксида углерода отработаны и позволяют обогащать типовой состав дегазационного метана. Основной проблемой производства ГМТ из шахтного дегазационного газа является наличие кислорода до 12 - 13%. Технология Каталитического удаления кислорода для метано-воздушных смесей от кислорода используется в США, Китае и Польше, но при концентрации метана от 50-55%

Проведённая работа по иску возможных поставщиков оборудования для обогащения МВС с концентрацией CH₄ от 25% показала, что японские, американские и китайские специалисты не владеют технологиями для удаления таких высоких концентраций кислорода

В части утилизации шахтного метана и производства электроэнергии расчеты показывают, что без субсидирования и функционирования рынка углеводородных кредитов для продажи квот, проекты утилизации нерентабельны и имеют дисконтированный срок окупаемости более 10 лет. Для коммерческой привлекательности проектов необходима выплата квот за утилизацию в размере не менее 600 – 800 (8-11\$) руб. за 1 т CO₂ эквивалента.

Список литературы

1. Best practice guidance for effective methane drainage and use in coal mines, ECE ENERGY SERIES no. 47 second edition december 2016, UNECE
2. Coal mine methane recovery at active and abandoned U.S. Coal mines: current projects and potential opportunities updated july 2019 (www.Epa.Gov/сmor)
3. A 2012 update on the world VAM oxidizer technology market, 14th united states/north american mine ventilation symposium, 2012 – calizaya & nelson © 2012, university of utah, dept. Of mining engineering
4. Ventilation air methane projects in the united states: barriers and potential opportunities, united states environmental protection agency (EPA) coalbed methane outreach program webinar, february 27, 2020
5. U.S. Underground coal mine ventilation air methane exhaust characterization 2011-2015, U.S. Environmental protection agency august 2017

Информация об авторах:

Поздеев Евгений Эдуардович, Координатор газомоторных проектов – системный администратор, Техническая дирекция АО «СУЭК-Кузбасс», 652507, Россия, Кемеровская обл., г. Ленинск-кузнецкий ул. Васильева, 1, PozdeevEE@suek.