

**Европейская экономическая комиссия****Комитет по устойчивой энергетике****Группа экспертов по шахтному метану
и справедливому переходу**

Девятнадцатая сессия

Женева, 18–19 марта 2024 года

Пункт 6 предварительной повестки дня

План работы на 2024–2025 годы

**Руководство по наилучшей практике переработки
метана вентиляционных струй (МВС)****Записка секретариата¹****I. Введение**

- В мире, проявляющем все большую приверженность сокращению выбросов парниковых газов, которое бы по необходимости носило широкомасштабный характер, минимизация выбросов метана из крупных точечных источников является одним из наиболее плодотворных способов достижения этой цели.
- Газ метан является побочным продуктом углеобразования. В процессе выемки угля происходит его выделение. В этой связи возникает проблема обеспечения эксплуатационной безопасности, поскольку в определенных концентрациях (от 5 % до 15%) в воздухе метан взрывоопасен. Количество метана, присутствующего на конкретном участке, определяется многими факторами, например газопроницаемостью и глубиной залегания угольного пласта.
- На большинстве открытых разработок метан либо мигрирует в атмосферу в процессе выемки угля, либо до начала производства горных работ требуется проводить дегазацию источников метановыделения и каптирование метана. Соответственно, деятельность по минимизации выбросов МВС осуществляется на шахтах.
- При добыче угля подземным способом через шахту необходимо пропускать достаточное количество вентиляционного воздуха с целью разбавления выделяющегося метана до безопасных уровней, находящихся ниже диапазона его

¹ Секретариат осуществлял руководство и оказывал помощь в процессе разработки настоящего документа. Его основным автором является член Группы экспертов ЕЭК ООН по шахтному метану и справедливому переходу г-н Ричард Маттус. Члены Бюро Группы экспертов г-н Дэвид Криди, г-н Раймонд Пилчер, г-н Кларк Толкингтон и г-жа Волха Рощанка рассмотрели этот документ и внесли в свой вклад в его подготовку. Кроме того, документ прошел рецензирование со стороны ряда экспертов как в рамках Группы экспертов, так и за ее пределами.



взрывоопасных концентраций, а затем обеспечивать его выведение на поверхность через вентиляционные стволы.

5. На угольных шахтах существует три основных пути, по которым происходит эмиссия метана:

- a) системы дегазации источников метановыделения;
- b) вентиляционные стволы; или
- c) сообщающиеся с поверхностью земли системы трещин.

6. Если в газе дегазации концентрация метана обычно колеблется в пределах 30–60 % (в крайних случаях она достигает 100 %), то его содержание в вентиляционных струях (метан вентиляционных струй (МВС)) обычно не доходит до 1 % (в среднем 0,3–0,7 %). Страны придерживаются разных подходов к введению законодательных ограничений на концентрации МВС, и в некоторых из них при определенных условиях допускается концентрация, которая даже превышает 1 %.

7. При предельно низкой концентрации МВС деструкция метана и его преобразование в CO_2 , который является гораздо менее мощным (с точки зрения потенциала глобального потепления) парниковым газом, является затруднительной задачей без использования дополнительного источника топлива.

8. Как правило, на долю МВС приходится около 70 % общих выбросов метана угольных шахт. Однако в некоторых исследованиях содержатся указания на значительно большую долю МВС.

9. Через вентиляционный ствол крупной угольной шахты может выходить около 1 млн кубических метров в час ($\text{м}^3/\text{ч}$) или примерно 634 тыс. кубических футов в минуту ($\text{фт}^3/\text{мин}$) шахтного воздуха, в котором содержится 0,8 % метана. В годовом исчислении этот объем эквивалентен эмиссии из одного источника около 50 000 метрических тонн метана.

II. Потенциальный выигрыш с точки зрения климата

10. Парижское соглашение подписали почти 200 стран, которые тем самым приняли на себя обязательство существенно снизить выбросы парниковых газов. Несмотря на это, рост глобальных выбросов парниковых газов продолжается. Согласно данным Международного энергетического агентства (МЭА) начиная с 1990 года мировое производство энергии увеличилось примерно на 65 %. За этот же период произошел аналогичный рост предложения энергии, вырабатываемой на основе угля, нефти и природного газа. Соответственно, несмотря на все предпринятые усилия, в настоящее время в мировом энергобалансе на ископаемые источники энергии приходится та же доля, равная примерно 80 %, которая приходилась на них 30 лет назад, т. е. до подписания Киотского протокола.

11. Уголь является ископаемым топливом, оказывающим наиболее негативное воздействие на окружающую среду, при этом за счет угля по-прежнему обеспечивается формирование 25–30 % всего энергобаланса. Мир должен ускорить переход от использования угля в качестве топлива, однако, поскольку отказ от угля может занять определенное время, в настоящее время необходимо предпринять серьезные усилия для минимизации выбросов парниковых газов, связанных с его добычей и использованием.

12. После попадания метана в атмосферу время его жизни (время пребывания) в атмосфере составляет около 12 лет, после чего он окисляется до CO_2 . Однако на временном отрезке в 100 лет активность метана как парникового газа в 30 раз превышает активность CO_2 . При сравнении на отрезке в 20 лет это соотношение возрастает до 82. Следовательно, сокращение выбросов метана может оказать немедленное и чрезвычайно мощное воздействие на замедление темпов глобального потепления.

13. Решение проблемы выбросов МВС создаст возможность для сохранения климата. С учетом объемов и параметров этих выбросов, обусловленных точечным характером их источников, найдены соответствующие варианты их минимизации, которые могут помочь добиться быстрого выигрыша с точки зрения климата. Например, один вентиляционный ствол крупной угольной шахты, выбрасывающий 50 000 метрических тонн метана, вызывает такой же эффект потепления, как и выбросы метана 1 млн голов крупного рогатого скота или выбросы CO₂ угольной электростанции мощностью 500 МВт либо выбросы 2 млн легковых автомобилей с двигателями внутреннего сгорания (в последних двух примерах сравнение проведено на основе пересчета метана в эквивалент CO₂ (CO₂э) на 20-летнем временном отрезке) (см. приложение I).

III. Варианты технологий переработки МВС

14. В целях безопасности следует избегать взрывоопасного диапазона концентраций метана (от 5 % до 15 %). Газ дегазации с концентрациями, безопасно превышающими этот порог, может быть использован для обеспечения работы газовых двигателей, выработки электроэнергии и/или (при очень высокой концентрации) для подачи в сеть природного газа. Другим вариантом смягчения последствий является сжигание в факелах, безопасность которого может быть обеспечена при концентрациях, не превышающих 20 %.

15. Вместе с тем переработка МВС затруднена по двум причинам:

- a) объемы воздуха вентиляционных струй, который необходимо переработать (для очистки от метана), огромны; и
- b) концентрации метана, подлежащего нейтрализации (минимизации/окислению), крайне малы.

16. На настоящее время, т. е. до 2023 года, в масштабной переработке МВС успешно зарекомендовала себя только одна технология, а именно регенеративное термическое окисление (РТО). Эта технология была разработана в 1970-х годах для очистки поступающих в атмосферу промышленных выбросов от углеводородных газов низких концентраций.

17. За прошедшие годы были установлены десятки тысяч установок РТО, успешно перерабатывающих выбросы в различных отраслях промышленности в целях борьбы с неприятными запахами, их очистки от растворителей, используемых в процессах печати и покраски, а также выбросы в химической, нефтехимической и фармацевтической промышленности, на нефтебазах, при производстве биогаза и во многих других сферах.

18. В некоторых случаях применения установок РТО речь идет о таких веществах, как эфир, водород и другие легковоспламеняющиеся/взрывоопасные газы, в связи с которыми предъявляются весьма высокие требования к безопасности, и поэтому в конструкции систем РТО были предусмотрены усиленные меры с точки зрения охраны труда и техники безопасности.

19. Поставщики систем РТО обратились к переработке МВС в 1990-х годах. Были проведены их длительные испытания, а также приняты меры по их адаптации. В начале XXI века были изготовлены и поставлены первые крупные промышленные установки, которые могут успешно работать в течение длительного времени.

Принцип использования РТО для нейтрализации выбросов МВС на угольных шахтах?

Основная функция технологии РТО заключается в пропускании вентиляционного воздуха через слой керамической среды, предварительно нагретой до нормальной температуры окисления метана (850–900 °С), в результате чего последний окисляется и отдает свою энергию окисления в среду слоя.

Поскольку теплообмен в технологии РТО чрезвычайно эффективен, для поддержания процесса деструкции (окисления) метана требуемая концентрация МВС составляет всего 0,2 %. Энергия сгорания при концентрациях, превышающих указанное значение, может быть использована для нагрева, охлаждения и/или выработки электроэнергии.

20. В силу особенностей конструкции многие поставщики устанавливают для переработки МВС предельную концентрацию, равную около 0,7 %. Специальные конструкции установок РТО, допускающие высокие концентрации метана, могут работать при концентрациях до 1 % или даже 1,2 %, но при значениях, приближающихся к этому уровню, применяемые на большинстве рынков национальные законодательные нормы в области безопасности (обеспечивающие достаточный запас по взрывоопасности), становятся лимитирующим фактором при проектировании.

21. Осознание большого рыночного потенциала переработки МВС побудило к опробованию ряда других технологий. К их числу относятся применение катализаторов (которые могут снизить необходимую температуру окисления, но метан с трудом поддается катализу), газотурбинные установки, работающие на газе с низкой теплотворной способностью (эффективность которых в настоящее время обеспечивается только при концентрациях не менее 2–3%), концентраторы (с трудом выделяют молекулы метана) и многие другие технологии.

22. Ввиду больших проблем, возникающих при переработке огромных объемов воздуха с крайне низкими концентрациями метана, большинство технологий для минимизации выбросов МВС, за исключением РТО, не вышли за пределы лабораторной или пилотной стадии.

23. Хотя в будущем могут быть разработаны и другие технологии переработки МВС, пригодные для использования в промышленных установках, по состоянию на 2023 год только технология РТО доказала свою эффективность и готовность к применению.

IV. Затратоэффективность имеющихся решений

24. Для предельной минимизации выбросов МВС требуется оборудование, способное перерабатывать весь объем выводимого из шахты вентиляционного воздуха. Капитальные затраты на переработку МВС в основном зависят от объемов перерабатываемого (вентиляционного) воздуха; их зависимость от концентраций метана проявляется в гораздо меньшей степени. Соответственно, для стволов с более высокими концентрациями характерны не только большие объемы выбросов, но и более низкие затраты на минимизацию выбросов, приведенных к единице выбросов; по этой причине именно они должны быть в первую очередь оборудованы установками по переработке МВС.

25. Средний срок службы вентиляционного ствола варьируется в пределах от 5 до 15 лет, поскольку активные участки горных работ удаляются от вентиляционной инфраструктуры с разной скоростью в зависимости от условий шахтного поля, в пределах которого они производятся. Со временем горнодобывающие компании строят новые вентиляционные стволы.

26. Общие инвестиционные затраты (капитальные вложения) на установку по переработке МВС для минимизации выбросов метана, содержащегося в воздушном потоке вентиляционной системы объемом 500 тыс. м³/ч составляют около 14 млн долл. США +/-15 %, если допустить, что ее эксплуатация происходит в несложных условиях. Хотя эта сумма может показаться высокой, она, тем не менее, весьма конкурентоспособна по сравнению с другими вариантами сокращения выбросов.

27. Технический срок службы установки по минимизации выбросов МВС обычно составляет около 20 лет, но, учитывая особенности переработки МВС, он зависит от срока эксплуатации обслуживаемого ей вентиляционного ствола. Однако, если

ключевые элементы установки по минимизации выбросов МВС сконструированы по модульному принципу, то они поддаются разборке и могут быть перемещены на новое место для их дальнейшего использования.

28. Кроме того, там, где это возможно, следует поощрять использование энергии, выделяемой в качестве побочного продукта в процессе переработки МВС. Экономический эффект от использования этой энергии для нагревания или охлаждения в промышленных процессах либо для выработки электроэнергии, повышает рентабельность инвестиций.

29. Затраты на переработку МВС (операционные расходы), рассчитанные на 10 лет эксплуатации установки, в настоящее время составляют менее 9 долл. США за т CO₂э с учетом потенциального вклада метана в потепление на 100-летнем временном отрезке и менее 3 долл. США за т CO₂э с учетом потенциального вклада метана в потепление на 20-летнем отрезке времени.

30. Технологическая установка по переработке МВС состоит из нескольких блоков РТО, каждый из которых перерабатывает часть воздушного потока. Необходимость удвоения мощности переработки воздуха означает необходимость удвоения количества установок РТО. Стоимость некоторых основных элементов установки РТО для переработки МВС имеет достаточно линейный характер, поэтому можно предположить, что стоимость переработки половины объема, указанного в предыдущем пункте, т. е. 250 тыс. м³/ч, составит около 8 млн долл. США (+/-15 %), а стоимость переработки вдвое большего объема, т. е. 1 млн м³/ч, — около 25 млн долл. США (+/-15 %). Однако следует учесть, что это лишь приблизительные данные. Для точного определения фактических затрат необходимо проводить тщательную оценку конкретных условий на каждом конкретном объекте.

31. Третьим важным элементом затрат, который необходимо учитывать помимо капитальных вложений и операционных затрат, является финансовая отдача от установки по переработке МВС. Осуществление инвестиций в переработку МВС зависит от возможности компенсации затрат полученной экономической пользой от достигнутого сокращения выбросов парниковых газов. Такая польза может принимать форму затрат, которых удалось избежать (например, в виде налогов/штрафов), или доходов (например, в виде кредитов на сокращение выбросов углерода). Без такого механизма инвестиции в переработку МВС не будут экономически оправданы. К сожалению, такие финансовые факторы оказались задействованы лишь в редких случаях, что послужило основной причиной, по которой инвестиции в установки для переработки МВС не получили более широкого распространения.

32. Альтернативным вариантом сокращения выбросов парниковых газов является технология улавливания и хранения углерода (УХУ), которая обычно используется для сбора CO₂ из таких крупных источников выбросов, как электростанции, работающие на ископаемом топливе, цементные заводы и сталелитейные предприятия, и его закачивания в подземные хранилища. Однако стоимость этой технологии все еще весьма высока и по состоянию на декабрь 2023 года она составляет 100–150 долл. США за тонну CO₂ (рассчитана, исходя из 25-летнего жизненного цикла проекта), что значительно превышает затраты на рассмотренные выше технологии по переработке МВС.

Преодоление препятствий

33. Несмотря на эффективность проектов по переработке МВС, расширению масштабов их реализации мешают следующие основные препятствия: затраты, недостаточная осведомленность и опасения в отношении эксплуатационной безопасности.

1. Затраты

34. Масштабная реализация проектов по переработке МВС сопряжена с инвестированием и наличием финансовой мотивации. Чтобы это произошло,

угледобывающим компаниям всего мира необходимо начать уделять первоочередное внимание инвестициям в переработку МВС, которая, однако не связана напрямую с добычей угля, являющейся основным направлением их хозяйственной деятельности. Эта проблема поддается решению благодаря инвестициям в установки по переработке МВС, которые бы могли оказаться привлекательными для третьих сторон и которые, соответственно, могли бы стать инвесторами и разработчиками проектов. К сожалению, в отсутствие возможности задействовать упомянутые выше финансовые факторы лишь немногие угольные компании и внешние стороны имеют стимулы для того, чтобы направлять свои инвестиции в этом направлении.

35. Еще одним вариантом сокращения выбросов МВС является улучшение газоочистки, которая позволяет уменьшить количество газа, выбрасываемого шахтной вентиляционной системой.

36. При дегазации источников метановыделения обычно образуется поток с достаточно высокой концентрацией метана, который может быть непосредственно использован в газовых двигателях на теплоэлектростанциях, в промышленных горелках, котлах и на других подобных установках, или продан для закачки в распределительные или магистральные газопроводы. Проведение дегазации до начала добычи, а не во время ее проведения позволяет дополнительно снизить затраты (в силу снижения объемов выделяемого метана и соответствующего снижения объемов необходимого вентиляционного воздуха, благодаря чему обеспечивается экономия энергии на работу вентиляторов). Однако дегазация шахты до начала добычи угля не всегда возможна в силу определенных геологических условий, которые, в частности связаны с низкой проницаемостью угольных пластов.

37. С учетом экономической ценности энергии, получаемой из каптированного газа, и того, что соответствующие проекты вносят непосредственный вклад в повышение эксплуатационной безопасности шахты (поскольку газ обычно извлекается через закрытую сеть труб, которые отделяют его от персонала и источников возгорания), они, как правило, нуждаются в меньшей финансовой мотивации, чем аналогичные проекты по переработке МВС.

38. В отсутствие возможностей выгодно использовать каптированный газ, в крайнем случае его можно сжечь в факеле. Этот метод, как и переработка МВС заключается в предварительном окислении метана (до CO_2) перед его выбросом в атмосферу и тем самым в ослаблении потенциала глобального потепления (ППП) остаточных выбросов.

39. Вместе с тем вариант с газоочисткой не всегда поддается осуществлению. Более того, даже при масштабном газоотводе выбросы МВС, как правило, остаются основным видом выбросов угольной шахты. Именно поэтому для эффективного сокращения выбросов метана угольной шахты необходимо решить проблему МВС.

40. По мере того, как этот вывод становится все более очевидным и приводит к повышению заинтересованности в минимизации выбросов МВС, появляются новые поставщики с соответствующим опытом, почерпнутым в других промышленных секторах, которые приобретают необходимый опыт и специфические компетенции и тем самым вносят вклад в развитие многообразия и конкуренции на рынке.

2. Осведомленность

41. Угольные шахты должны отводить метан из выработок на поверхность для обеспечения безопасности работников и производства. Поскольку во многих юрисдикциях нет стимулов для ограничения прямых выбросов метана в атмосферу, операторы шахт зачастую допускают свободный выход шахтных газов из вентиляционных стволов и систем газоотвода и не предпринимают никаких усилий для их предотвращения или минимизации.

42. Поскольку операторы шахт не были экономически заинтересованы в решении или даже признании проблемы, они не только не осведомлены о существующих решениях по минимизации выбросов, но и не заинтересованы в получении

соответствующей информации. Такое отношение помогло бы изменить создание финансовых стимулов («кнутов и пряников»).

3. Эксплуатационная безопасность

43. Связанный с метаном риск аварий в горных выработках заставляет операторов угольных шахт рассматривать обеспечение эксплуатационной безопасности в качестве своего главного приоритета. Добавление новой задачи (по переработке МВС) в непосредственной близости от вентиляционного ствола шахты вызывает серьезную обеспокоенность многих шахтеров.

44. Во избежание возгорания и взрыва концентрацию метана в воздухе необходимо постоянно поддерживать на безопасном уровне, не позволяя ей приближаться к взрывоопасному диапазону, составляющему 5–15 %. Как правило, концентрация газа дегазации значительно превышает этот диапазон (обычно она составляет более 25 %), в то время как концентрация МВС находится на гораздо более низком уровне (0,5–1 %).

45. Для установок по переработке МВС эксплуатационная безопасность является главным критерием проектирования. Он применяется ко всем элементам установки (воздуховоды и оборудование), которые соприкасаются с потоком МВС. Проблемы поддержания безопасности в шахтах весьма сходны с проблемами, связанными с использованием технологии РТО для минимизации выбросов газов, образующихся в результате промышленных процессов, когда существует риск, что газовая смесь может достичь диапазона взрывоопасных значений. Опытные поставщики РТО, вынужденные считаться этими рисками на протяжении десятилетий, вполне способны справиться с ними.

46. В то же время каждый вид применения РТО сопряжен со своими специфическими проблемами, которые необходимо решать; в свою очередь также не допустимо пренебрежительное отношение к особенностям переработки МВС. Например, нельзя допускать, чтобы установка по переработке МВС мешала работе шахтного вентилятора; кроме того, должны быть предусмотрены достаточные меры предосторожности для недопущения попадания опасных по воспламенению концентраций метана на установку по переработке МВС. Наряду с этим температура окисления шахтного метана может оказаться выше, чем, например, природного газа (что требует внесения в систему РТО особых конструктивных решений). Более того, в вентиляционном воздухе возможно присутствие угольной пыли и других веществ, которое необходимо учитывать при проектировании системы воздуховодов и внутренней конструкции РТО. Все это реальные риски, присущие переработке МВС, но они далеко не редки в случае многих других видов применения РТО в промышленности. Поэтому крайне важно, чтобы ими занимались опытные поставщики, чьи установки разработаны с учетом соответствующих требований и имеют проверенную историю успешной долгосрочной эксплуатации.

V. Этапы подготовки к разработке проекта по переработке МВС

47. Необходимые этапы охватывают три основные области:

а) сбор внутренней информации об основных параметрах: концентрации МВС, местонахождении установки и наличии газа дегазации, который может быть направлен на установку МВС;

б) сбор внешней информации о потенциальной экономической пользе планируемого сокращения выбросов, а также о новейших разработках в области технологии МВС;

в) нахождение потенциальных партнеров, которые бы могли быть привлечены к финансированию будущего проекта, например разработчиков проекта и поставщиков систем переработки МВС.

48. До того, как появится возможность для успешного запуска проект по переработке МВС, необходимо рассмотреть восемь этапов:

a) *Отслеживание концентраций МВС.* Отслеживание соответствующих концентраций МВС на протяжении как можно более длительного периода времени. Это упрощает принятие решений о фактических условиях проектирования будущей установки МВС.

b) *Определение местонахождения.* Изучение возможных мест размещения установки по переработке МВС, с тем чтобы она находилась в непосредственной близости от диффузора (рассматривается привязка к вентиляционному стволу шахты).

c) *Оценка ситуации с газом дегазации.* Изучение возможности закачивания газа дегазации в вентиляционный воздух до места переработки либо для сбалансирования концентрации МВС на постоянном уровне (если рассматривается возможность выработки электроэнергии), либо для доведения до оптимальных параметров энергетического уровня системы и количества метана, выбросы которого должны быть минимизированы.

d) *Определение экономической пользы от минимизации выбросов.* Определение экономической пользы от сокращения выбросов метана (проверка возможностей для получения любых углеродных кредитов или углеродных компенсаций, а также избежания штрафов), которая должна быть получена благодаря реализации проекта по переработке МВС.

e) *Обеспечение финансирования.* Определение потенциальных инвесторов и обеспечение финансирования проекта.

f) *Выбор разработчика проекта.* Определение разработчика проекта (шахта или третья сторона).

g) *Выбор поставщика системы переработки МВС.* Определение поставщика системы переработки МВС. Выбор одного из следующих вариантов:

i) поставщика РТО с успешным и длительным опытом переработки МВС;

ii) поставщика РТО с опытом работы в других соответствующих областях промышленных; или

iii) поставщика, разрабатывающего технологию и занимающегося поиском подходящей площадки для крупномасштабной демонстрации.

h) *Сбор обновленной информации.* Ознакомление с состоянием технологии МВС и отслеживание ее развития.

VI. Выводы

49. *Метан в сравнении с CO₂:* по сравнению с усилиями по сокращению выбросов CO₂, сокращение выбросов метана создает возможность добиться немедленного и весомого эффекта. С точки зрения климата это способ «выиграть время», необходимое до того, как будет осуществлено глубокое сокращение выбросов CO₂.

50. *Размер источника выбросов:* при принятии конкретных мер по сокращению выбросов того или иного парникового газа важен размер источника его выбросов. Вентиляционный ствол угольной шахты является крупным источником выбросов метана. Соответственно, минимизация выбросов МВС из большого вентиляционного ствола может оказать весьма значительное позитивное воздействие на глобальное потепление (см. приложение I).

51. *Необходимость определения экономической пользы от сокращения выбросов:* для запуска проектов, направленных на сокращение выбросов МВС, необходимо определить экономическую пользу от их минимизации. Для стимулирования инвестиций в борьбу с МВС, необходимо определить затраты, связанные с выбросами метана, или добавленную стоимость, которая появится от сокращения его выбросов.

52. *Затраты:* с точки зрения затрат на снижение выбросов одной тонны CO₂э по сравнению с другими альтернативными вариантами сокращения выбросов ПГ, например по сравнению с УХУ, на переработку МВС приходится лишь их малая часть.

Приложение I

Эффект глобального потепления от выбросов из разных источников

1. Выбросы МВС из вентиляционного ствола крупной угольной шахты

1. Вентиляционный ствол крупной шахты, обеспечивающий выход 1 млн м³/ч воздуха с концентрацией МВС, равной 0,8 %, является источником выбросов около 50 000 тонн метана в год. Если допустить, что эффективность очистки составляет 98 %, уровень работоспособности — 96 %, плотность — 0,71, а результирующее значение CO₂ — 1,95, то соответствующие ежегодные выбросы, рассчитываемые как CO₂э составят около 1 500 000 т при сопоставлении на 100-летнем временном отрезке (коэффициент глобального потепления (КГП) — 30) и около 4 100 000 т при сопоставлении на 20-летнем отрезке (КГП — 82).

2. Результирующая эмиссия имеет линейный характер, т. е. половинный объем воздуха с той же концентрацией МВС дает половину объема выбросов, а половинная концентрация МВС при том же объеме также дает половину результирующей эмиссии.

2. Вентиляционный ствол крупной угольной шахты в сравнении с крупным рогатым стволом

3. По данным Агентства по охране окружающей среды США (АООС США), на одну голову крупного рогатого скота ежегодно приходится от 60 до 120 кг выделений метана. Соответственно, 50 тыс. т метана (среднегодовой выброс МВС из вентиляционного ствола крупной угольной шахты) соответствует выбросам метана, производимым примерно 1 млн голов крупного рогатого скота.

3. Вентиляционный ствол крупной угольной шахты в сравнении с угольной электростанцией

4. По данным Управления энергетической информации США (УЭИ), угольная электростанция выбрасывает в атмосферу 2,3 фунта CO₂ на кВт/ч(эл). Этот показатель равен 1,04 кг CO₂ на кВт/ч.

5. По данным МГЭИК (доклад об оценке № 6 от 2023 года) на 20-летнем временном отрезке воздействие одной тонны метана в атмосфере в 82 раза превышает негативное воздействие на окружающую среду, оказываемое одной тонной CO₂.

6. Допустим, что уровень работоспособности электростанции составляет 90 %.

7. $50\,000 \cdot 82 / 1.04 / (24 \cdot 365 \cdot 0,90) = 500$ МВт электрической энергии (МВт(эл)).

8. В результате минимизация выбросов МВС из вентиляционного ствола крупной угольной шахты оказывает на глобальное потепление (на 20-летнем временном отрезке) эффект, аналогичный закрытию угольной электростанции мощностью около 500 МВт(эл).

4. Вентиляционный ствол крупной угольной шахты в сравнении с легковыми автомобилями

9. Легковые автомобили с двигателем внутреннего сгорания являются источником выбросов CO₂.

10. При среднем выбросе 150 г CO₂ на один километр и среднегодовом пробеге в 14 000 км легковой автомобиль с двигателем внутреннего сгорания выбрасывает около 2,1 т CO₂ в год.
11. По данным МГЭИК (доклад об оценке № 6 от 2023 года), на временном отрезке в 20 лет воздействие одной тонны атмосферного метана в 82 раза превышает негативное воздействие на окружающую среду, оказываемое одной тонной CO₂.
12. Выход 1 млн м³/ч вентиляционного воздуха с содержанием 1% метана в нем на 20-летнем промежутке времени явится источником выбросов в атмосферу 4,1 млн т CO₂ в год. (На временном отрезке в 100 лет соответствующие выбросы составят 1,5 млн т).
13. При сравнении выбросов МВС, равных 4,1 млн т CO₂э, с ежегодными выбросами одного легкового автомобиля с двигателем внутреннего сгорания, которые составляют 2,1 т CO₂, можно сказать, что решение проблемы выбросов МВС с точки зрения воздействия на окружающую среду соответствует удалению с улиц около 2 млн легковых автомобилей (на временном отрезке в 20 лет). (На временном отрезке в 100 лет соответствующее количество автомобилей составляет около 720 000).

Приложение II

Примеры из практики и их тиражирование

1. Первые успешные примеры демонстрации на промышленных объектах технологии РТО для переработки МВС относятся к 1990-м годам.

2. Первые три промышленных проекта по переработке МВС были реализованы в первом десятилетии XXI века:

а) 2007 год: в Австралии поставщик MEGTEC (Швеция) ввел в эксплуатацию специальную электростанцию, оснащенную четырьмя блоками РТО, работавшими по принципу топки котла с использованием МВС концентрацией около 1 % и вырабатывавшими пар для обычной паровой турбины мощностью 6 МВт. Установка перерабатывала около 20 % (250 000 м³/ч) всего объема воздуха, подаваемого на вентиляционный ствол, и находилась в эксплуатации 10 лет. Проект был остановлен, так как подземная выемка (лавами) была перемещена (в соответствии с планом), что привело к снижению концентрации МВС;

б) 2008 год: в Китае поставщик MEGTEC ввел в эксплуатацию одноблочную установку РТО для переработки части потока вентиляционного воздуха в объеме около 60 000 м³/ч и выработки горячей воды для отопления жилых домов. Проект финансировался в рамках программы МЧР. Установка по переработке МВС действовала в течение нескольких лет, после чего была остановлена из-за более низкой, чем ожидалось, концентрации МВС, подаваемого на вентиляционный ствол;

в) 2009 год: в США поставщик Biothermica (Канада) ввел в эксплуатацию одноблочную установку РТО для переработки около 50 000 м³/ч вентиляционного воздуха, которая эксплуатировалась в течение четырех лет. Проект был остановлен, поскольку концентрация МВС снизилась, и на шахте было решено закрыть вентиляционный ствол.

3. Среди других примеров успешной эксплуатации установок по переработке МВС можно назвать следующие:

а) 2012 год: в США поставщик DÜRR (США, Германия) ввел в эксплуатацию три установки РТО, общей объем перерабатываемого вентиляционного воздуха которыми составляет 250 000 м³/ч. В 2023 году после более чем 10 лет эксплуатации установка по переработке МВС была остановлена в связи с низким содержанием метана. Установка находится в процессе подготовки к смене месторасположения. Этот проект указывает на одно из преимуществ установок РТО — возможность переноса оборудования на новый ствол при снижении концентрации метана ниже пределов технической или экономической целесообразности;

б) 2014 год: в Китае поставщик DÜRR (США, Германия, Китай) ввел в эксплуатацию установку по переработке МВС с десятью блоками РТО, общей объем перерабатываемого вентиляционного воздуха которыми составляет 1 020 000 м³/ч. Концентрация метана на входе в перерабатывающую установку регулируется до примерно 1,1 % путем добавления газа газоочистки. Воздуховоды для горячего газа подсоединены к котлу, питающему паровую турбину мощностью 30 МВт. Спустя девять лет эта установка все еще находится в эксплуатации;

в) 2016 год: в Китае поставщик Anguil (США) ввел в эксплуатацию установку из шести блоков РТО, перерабатывающих 540 тыс. м³/ч вентиляционного воздуха и вырабатывающих электроэнергию установленной мощностью 15 МВт. Спустя семь лет эта установка все еще находится в эксплуатации;

г) 2022 год: в США поставщик Biothermica ввел в эксплуатацию установку РТО для переработки МВС мощностью 245 тыс. м³/ч вентиляционного воздуха.

4. Десятилетия успешного применения переработки МВС на установках поставщиков РТО, накопивших соответствующий опыт их применения в других отраслях промышленности, позволили этому методу хорошо зарекомендовать себя. Реализованные в разных странах многочисленные проекты продемонстрировали жизнеспособность решения проблемы выбросов МВС в рамках крупномасштабной и эффективной стратегии по их минимизации. Там, где это целесообразно, рекуперация энергии на установке по переработке МВС может послужить дополнительному увеличению сопутствующих выгод от мер по борьбе с изменением климата и производству энергии.
