

УДК 622.817.4

ЗАРУБЕЖНЫЙ ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МЕТАНА ИСХОДЯЩЕГО ВОЗДУХА ШАХТ

горн. инж., к.т.н. Кауфман Л.Л. (Нью-Йорк, США),
к.т.н. Лысиков Б.А., к.т.н. Лабинский К.Н. (ДонНТУ)

Представлено закордонний досвід перетворення метану, що викидається в атмосферу виходячої струї вентиляції шахт, в джерело енергії. Показані позитивні результати випробувань та промислові зразки обладнання даної проблеми

FOREIGN EXPERIENCE OF THE USE OF METHANE OF OUTGOING AIR OF THE MINES

Kaufman L.L., Lisikov B.A., Labinskiy K.N.

Foreign experience of conversion of the methane from outgoing airstream of mine ventilation to the energy is shown in this article. Positive results of the testing and the industrial models of the equipment are represented.

Каждый год подземные угольные шахты всего мира выбрасывают более, чем 16 млрд. м³ метана через свои вентиляционные системы. С точки зрения мирового потепления климата это количество эквивалентно почти 237 млн. т углекислого газа.

Поскольку метан в концентрации от 5% до 15% является взрывчатым, требования безопасности заставляют его разбавлять и удалять в ходе угледобычи. Для этой цели газовые шахты применяют большие вентиляционные системы.

Исходящий воздух шахт, выбрасываемый вентиляторами на поверхность, характеризуется большими потоками (4,7–470 м³/сек.) воздуха. Основное количество метана (88%) выделяется из шахт 12 стран. Только Китай ответствен за треть этого выделения, за ним следуют США, Украина, Россия и Австралия. От шахты к шахте концентрация метана в выбрасываемом шахтном воздухе варьируется и только в немногих случаях она превышает 1%. Обычно шахтный воздух содержит от 0,1% до 0,3–0,5% метана [1].

Целью развернутых в настоящее время исследований в США и Австралии является преобразование выбрасываемого из шахты метана в источник энергии вместо его улавливания и хранения, как это обычно рекомендуется для другого парникового газа – CO₂. Экономические расчеты показывают, что такое преобразование целесообразно использовать для количества метана шахтного воздуха, эквивалентного 172 млн. т CO₂.

Созданы промышленные образцы оборудования, показавшие положительные результаты испытаний [2].

Существуют следующие технологии использования метана, содержащегося в шахтном воздухе [3]:

- окисление в термальном реакторе с реверсируемым потоком метановоздушной смеси;
- сжигание в специально модифицированных турбинах;
- повышение концентрации метана;
- использование комбинации метана шахтного воздуха и распыленного угля;
- использование метана шахтного воздуха в качестве вспомогательного топлива.

Разработаны два типа термального реактора с реверсируемым потоком метановоздушной смеси, которые используют одинаковые принципы работы и отличаются отсутствием или наличием катализаторов, снижающих температуру процесса.

На рис. 1,а показана схема работы такого реактора. Он состоит из двух оснований – стальных рам, заполненных кварцевым гравием или гранулированной керамикой, которые обеспечивают оптимальный разогрев воздушно-го потока до нужной температуры. В центре оснований расположены электрические нагревательные элементы.

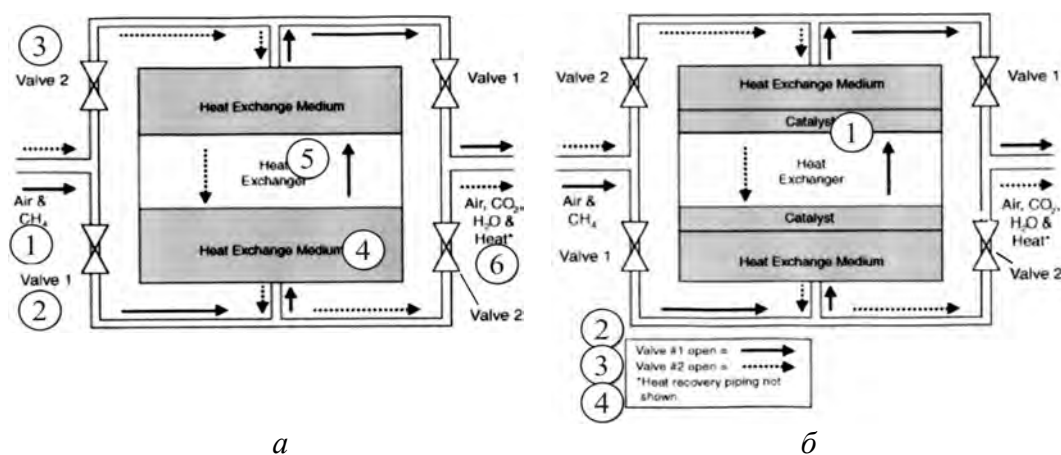


Рис. 1. Схемы работы термального реактора: *а* – с реверсируемым потоком метановоздушной смеси (шахтного воздуха); 1 – воздух и метан, 2 – клапан 1, 3 – клапан 2, 4 – нагревающее основание, 5 – теплообменник, 6 – воздух, CO₂, вода, тепло; *б* – с катализаторами; 1 – катализаторы, 2 – клапан 1 открыт, 3 – клапан 2 открыт, 4 – трубы теплообменника условно не показаны

Для того, чтобы начать окисление метана, эти элементы предварительно разогревают основание до температуры самозажигания метана (более 1000°С). Шахтный воздух, содержащий метан, под давлением компрессора входит в реактор с исходной (шахтной) температурой и с помощью гидравлического клапана 1 направляется к одному из нагревающих оснований. Здесь метан шахтного воздуха воспламеняется и за счет его сгорания выделяется дополнительное количество тепла, извлекаемое в теплообменнике в центре реактора.

Потерявший дополнительное тепло поток движется ко второму основанию, разогревает его и выбрасывает через клапан 1 в атмосферу с температурой большей, чем при входе. Когда это второе основание достаточно разогрето, реактор автоматически реверсирует направление входящего метано-воздушного потока, который теперь поступает через клапан 2 ко второму основанию, где также разогревается до температуры samozажигания метана. Отдав теплообменнику дополнительное тепло, полученное от сгорания метана, воздух уходит через клапан 2. Процесс повторяется каждые 2 минуты.

Уровень окисления метана составляет 95%, окислы азота в ходе процесса не образуются.

Программируемым контроллером обеспечивается мониторинг логики и последовательности операций, контроль температуры нагревательных оснований и выбрасываемого воздуха, давления, создаваемого компрессором, концентрации метана в шахтном воздухе и режима его поступления. В случае опасности реактор изолируется от шахтного вентилятора глухими задвижками.

Поскольку реактор имеет жесткую конструкцию, немного подвижных частей и усовершенствованную схему управления, система требует незначительных усилий по поддержанию и ремонту.

На рис. 1,б показана схема работы термального реактора, оборудованного катализаторами, позволяющими снизить температуру samozажигания метана до 350-800°. Схема работы такого реактора подобна описанной выше технологии без катализаторов (рис. 2) [4]. Внешний вид реактора показан на рис. 3.

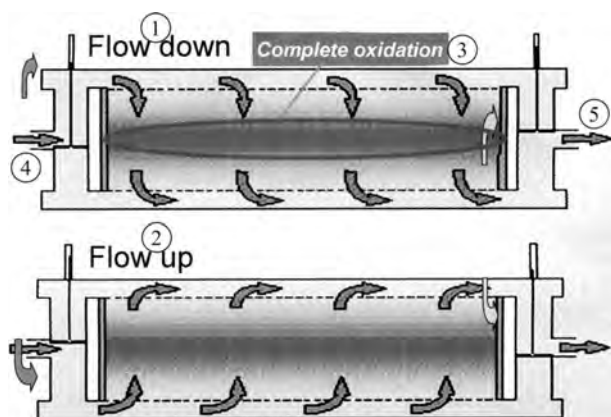


Рис. 2. Схема работы термального реактора: 1 – поток вниз; 2 – поток вверх; 3 – зона полного окисления; 4 – шахтный воздух с метаном; 5 – шахтный воздух без метана

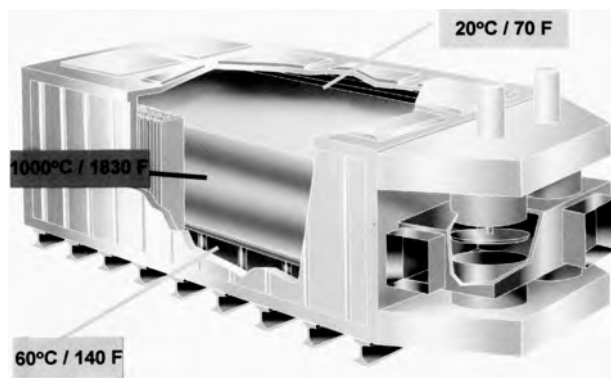


Рис. 3. Внешний вид термального реактора

Существует два основных метода преобразования полученного в реакторе тепла в наиболее потребляемую форму энергии – электрическую:

– использование воды, как рабочей жидкости. Вода под давлением проходит через теплообменник, где она закипает и преобразуется в пар, поступающий в турбину-генератор;

– использование воздуха в качестве рабочего газа. Воздух, сжатый компрессором, направляется в теплообменник, где нагревается от сгорающего метана и затем непосредственно поступает в комплекс турбина-генератор.

Комплекс оборудования по использованию метана шахтного воздуха показан на рис. 4, схема его работы – на рис. 5.



Рис. 4. Комплекс шахтного главного вентилятора и оборудования по окислению метана исходящего воздуха

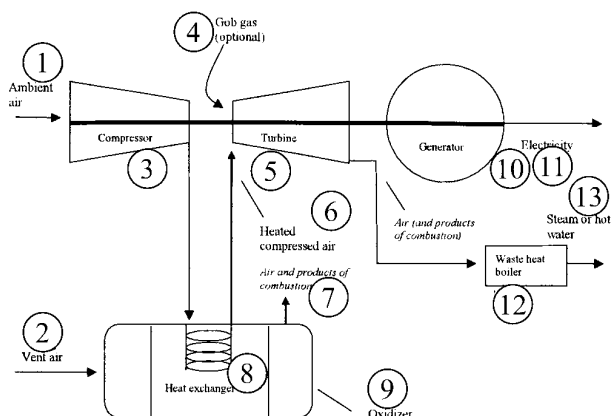


Рис. 5. Схема комплекса оборудования по использованию метана шахтного воздуха: 1 – наружный воздух, 2 – шахтный воздух, 3 – компрессор, 4 – метан выработанного пространства, 5 – турбина, 6 – нагретый сжатый воздух, 7 – воздух и продукты сгорания, 8 – теплообменник, 9 – окислитель, 10 – генератор, 11 – электричество, 12 – бойлер избытков тепла, 13 – пар или горячая вода

За рубежом делаются попытки модифицировать газовые турбины для непосредственного использования в них шахтного воздуха или его комбинации с распыленным углем. Техническое описание конструкции таких турбин выходит за рамки данной книги.

В течение последних 10 лет увеличился интерес к применению концентраторов, позволяющих повысить содержание метана в исходящей из шахты струе воздуха до 20%. Шахтный воздух с повышенной концентрацией метана может быть более эффективно использован в турбинах, возвратно-поступательных механизмах и др. Промышленные испытания проведены с различными типами концентраторов, из которых наибольшие перспективы ожидаются у конструкций с жидким основанием, состоящим из серии пер-

форированных плит или поддонов, поддерживающих адсорбирующее средство (гранулы активированного угля). Исходящая из шахты струя воздуха проходит снизу вверх через поддоны, насыщая органическими соединениями (главным образом, метаном) адсорбирующее средство, которое становится из-за этого тяжелее и погружается на дно основания для последующей десорбции. Здесь температура насыщенного средства увеличивается, что заставляет органические соединения высвободиться, создавая струю газа с повышенным содержанием этих соединений, в частности, метана. Адсорбирующее средство затем возвращается для повторного использования. Внешний вид концентратора показан на рис. 6.

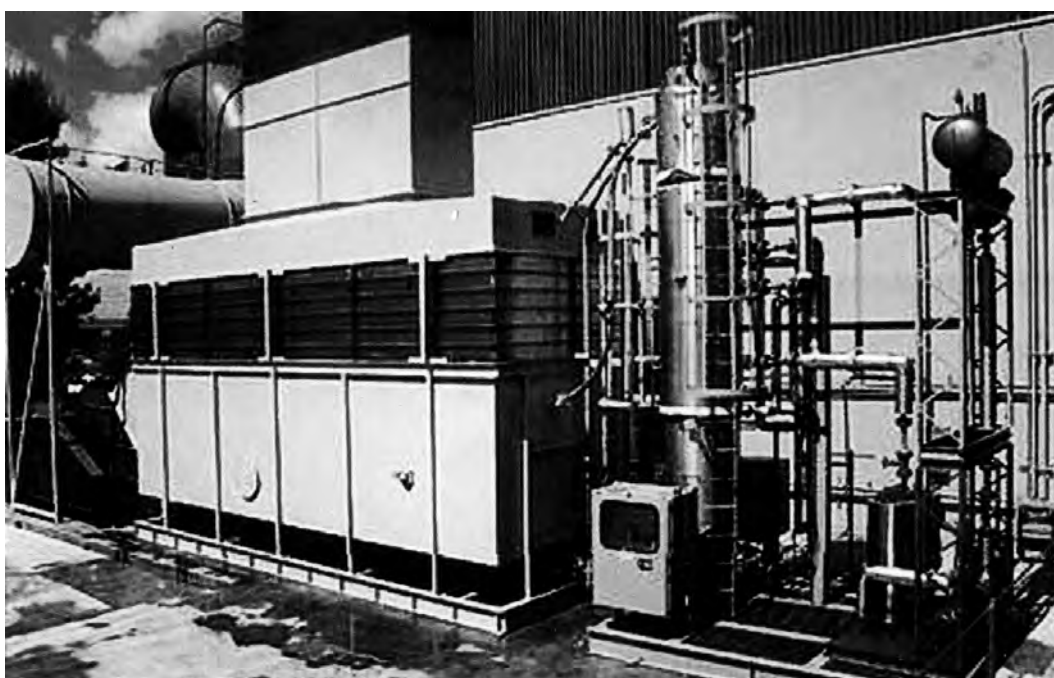


Рис. 6. Внешний вид концентратора

В Австралии развиваются системы, в которых генерация электричества осуществляется комбинацией метана шахтного воздуха и распыленного угля [5]. Построена пилотная установка мощностью 1,2 MW, где теплота сгорания комбинированного топлива через теплообменник передается воздуху, поступающему к газовой турбине. В зависимости от местных потребностей и экономических условий метан шахтного воздуха при концентрации 1% обеспечивает от 15% до более 80% объема необходимого топлива, остальным топливом служит распыленный уголь.

Шахтный воздух и распыленный уголь входят в установку в одном направлении. Тепло сгорания угля зажигает метан и большая доля этого тепла передается в теплообменник, работающий при температуре 900⁰С. Внешний воздух, сжатый компрессором, проходит через теплообменник и нагревается до его температуры. Затем нагретый воздух, расширяясь, проходит через силовую турбину, вырабатывающую электроэнергию.

Аналогичные исследования [6] проводятся и в Украине на шахте им. Засядько А.Ф. и «Комсомолец Донбасса» с целью обеспечения топливом генератора электрической энергии, что представляет интерес как с точки зрения повышения газовой безопасности шахт, так и с позиции экономической эффективности.

Метан шахтного воздуха, как вспомогательное топливо, используется в тех случаях, когда основное топливное дутье способно его принять, как составную часть. Пример наибольшего применения такого способа имеется в Австралии, где на шахтах компании Appin Colliery, работают 54 генератора мощностью по 1 MW.

Ожидается, что срок окупаемости технологии использования метана шахтного воздуха составит 3–7 лет.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ventilation Air Methane. <http://www.epa.gov/cmop/vam.html>
2. Capture and Use of Coal Mine Ventilation Air Methane. <http://www.netl.doe.gov/publications/factsheets/project/Proj248.pdf#search=%22ventilation%20air%20methane%22>
3. P.Carothers. Mitigation of Methane Emissions from Coal Mine Ventilation Air: 0An Update. <http://www.irgltd.com/Resources/Publications/US/2003-05%20Mitigation%20of%20Methane%20Emissions%20from%20%20Coal%20Mine%20Ventilation%20Air%20Update.pdf#search='ventilation%20air%20methane'>
4. H.Sapoundjiev. Catalytic Flow Reversal Reactor Technology: An Opportunity for Heat Recovery and Greenhouse Gas Elimination from Mine Ventilation Air. <http://cetcvaennes.nrcan.gc/fichier.php/codectec/En/1999-51/1999-51e.pdf>.
5. C.Malett. Progress in Developing Ventilation Air Methane Mitigation and Utilization Technologies. <http://www.coalinfo.net.cn/coalbed/meeting/2203/papers/coal-mining/CM003.pdf#search=%22ventilation%20air%20methane%22>
6. Бокий В.В. Извлечение и использование шахтного метана // Уголь Украины. – 2006, – №5. – С. 3-7.