

4. С у р ж и к о в Д.В., П а в л о в и ч Л.Б. и др. Загрязнение приземной атмосферы как экологический фактор риска для здоровья // Вестник Карагандинского университета. Серия биология, медицина, география. 2013. № 2. С. 64 – 70.
5. М а к а р о в А.В., Р а д а е в А.В. Расчет экологического риска от организованных источников выбросов агломерационного производства / Науч. рук. С.Г. Коротков // Наука и молодежь: проблемы, поиски, решения. Труды Всероссийской научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, 13 – 15 мая 2014 г. – Новокузнецк : изд. СибГИУ, 2014. Вып. 18. Ч. 2 : Технические науки. С. 82 – 84.
6. П а в л о в и ч Л.Б., Ш у б и н а А.О. Оценка экологического риска от выбросов в атмосферу аглоизвесткового производства // Вестник СибГИУ. 2014. № 1. С. 47, 48.
7. П а в л о в и ч Л.Б., С а д ы х о в а В.В., Ш а д р и н ц е в а Д.А. Оценка экологического риска от выбросов в атмосферу литейного производства // Вестник СибГИУ. 2014. № 1. С. 47, 48.
8. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки (Р. 2.2.1766-63). – М.: Гигиена труда, 2003. – 12 с.
9. Методика расчета концентраций в атмосферном воздухе вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий. ОНД-86. – М. – Л.: Гидрометеиздат, 1987. – 97 с.
10. Бланк инвентаризации источников загрязнения атмосферного воздуха промплощадки ОАО «ЗСМК». – Новокузнецк: изд. ЗСМК, 1987. – 97 с.
11. Основы оценки риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду / Г.Г. Онищенко, С.М. Новиков, Ю.А. Рахманин и др. – М.: НИИЭЧиГОС, 2002. – 408 с.
12. А б а с е е в В.К. Термическое и каталитическое обезвреживание отходящих газов, содержащих бенз[а]пирен // Химическая промышленность. 1973. № 1. С. 25, 26.
13. С и г а л И.Я. Защита воздушного бассейна при сжигании топлива. – Л.: Недра, 1988. – 312 с.

© 2015 г. Л.Б. Павлович, А.М. Каневская  
Поступила 5 октября 2015 г.

УДК 669.18

**С.Г. Коротков, Н.Е. Козлова**

**Сибирский государственный индустриальный университет**

## **ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ДОБЫЧИ И УТИЛИЗАЦИИ ШАХТНОГО МЕТАНА**

Подземная разработка угольных месторождений осложняется, наряду с другими факторами, ростом газообильности пластов и вмещающих пород, что сдерживает добычу угля, повышает его себестоимость, создает угрозу безопасности труда шахтеров.

Угленосные формации – крупнейшие источники и места накопления метана в земной коре. С одной стороны, метан угольных пластов – это самостоятельное полезное ископаемое, рентабельную добычу которого можно организовать на основе скважинных технологий. С другой стороны, метан – опасный спут-

ник угля, который извлекается методами шахтной дегазации пластов для обеспечения газобезопасности работ. Газ, содержащийся в угольных пластах, по качественным показателям незначительно отличается или даже превосходит традиционный природный газ; одним из главных положительных качеств является отсутствие в нем вредных газов, например сероводорода. Переработка и использование шахтного метана возможна в двух направлениях: энергетическом (для получения тепловой и электрической энергии) и химическом (для получения химических продуктов и жид-

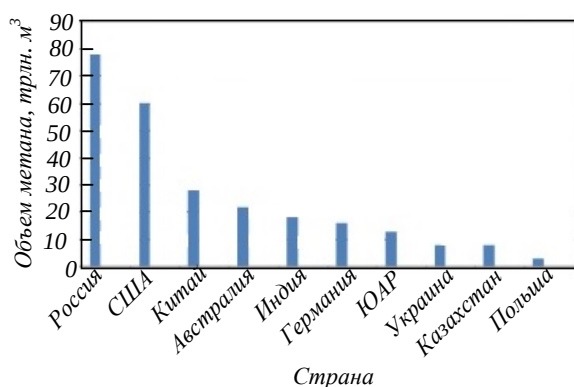
кого топлива) [1]. Утилизация шахтного метана имеет большое экологическое значение. Метан является вторым по действенности антропогенным парниковым газом после диоксида углерода. Ежегодные выбросы его в атмосферу на шахтах с нагрузкой 1 млн. т угля в год достигают 20 – 50 млн. м<sup>3</sup>. Шахтный газ является значительным, но практически не освоенным ресурсом с основными запасами, находящимися в таких странах, как Китай, Россия, США, Австралия, ЮАР, Индия, Польша, Германия, Великобритания и Украина. Оценка геологических ресурсов метана угольных пластов в мире представлена на рисунке.

Эти страны являются крупнейшими «загрязнителями» атмосферы, совместно отвечая за почти три четверти от всего мирового выброса шахтного газа. По прогнозам количество выбрасываемого шахтного газа увеличится на 2 % к 2020 г. в основном за счет роста угольной добычи в Китае [1, 2].

Всего в мире запасы метана оцениваются в 240 трлн. м<sup>3</sup>.

На шахтах отдельных стран утилизируется свыше 80 % каптированного метана (табл. 1) [1].

Теплота сгорания угольного метана и природного газа практически одинакова. Эти газы взаимно заменяемы в качестве как химического сырья, так и источников энергии. С учетом



Геологические ресурсы метана угольных пластов в мире

того, что уголь – естественный сорбент, как следствие, угольный метан имеет более высокое качество (например, отсутствует сера).

По оценкам многих российских специалистов одним из перспективных местных источников энергии является именно угольный метан, который считается высококачественным и экологически чистым энергоносителем. Многие ассоциируют угольный метан как опасный спутник добычи угля. Действительно, главной опасностью для горняков был и остается метан угольных пластов. Взрывы и выбросы метана являются наиболее опасными и крупномасштабными авариями на угольных предприятиях во всем мире. Однако при правильной утилизации он становится перспективным и ценным видом топлива. Необходимо отметить, что в отличие от России, угольный метан уже используется во всем мире, превращаясь из проблемы, связанной с безопасностью, в ценный источник энергии [2, 3].

Следует отметить также, что для добычи метана пригодны далеко не все месторождения. Так, длиннопламенные бурые угли бедны этим газом. В свою очередь, антрацит отличается высокой концентрацией газа, но его очень трудно извлечь из-за высокой плотности и чрезвычайно низкой проницаемости залежи. Угли, занимающие промежуточное положение между бурыми и антрацитом, относятся к самым перспективным для добычи метана. На территории России наиболее газоносными являются пласты угля Воркутинского месторождения и Кузнецкого бассейна.

В Кузбассе наибольшей плотностью ресурсов угольного метана (от 2,0 до 1,0 млрд. м<sup>3</sup>/км<sup>2</sup>) характеризуются следующие геолого-промышленные районы: Ерунаковский, Томь-Усинский, Бунгуро-Чумышский, Прокопьевско-Киселевский, Араличевский, Кондомский, Мрасский и Титовский.

Извлекаемый из угольных месторождений газ по содержанию чистого метана можно подразделить на 3 группы:

Т а б л и ц а 1

#### Уровень утилизации шахтного метана, извлекаемого системами дегазации

| Показатель                                                  | Значения показателя по странам |       |          |                |        |
|-------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|----------|----------------|--------|
|                                                             | Польша                         | Чехия | Германия | Великобритания | Россия |
| Количество дегазированного метана, млн. м <sup>3</sup> /год | 241                            | 210   | 650      | 500            | 480    |
| Процент утилизации                                          | 85                             | 95    | 70       | 50             | 8,5    |

- угольный метан с концентрированным содержанием чистого  $\text{CH}_4$  до 100 %;
- шахтный метан (метановоздушные смеси) с концентрацией  $\text{CH}_4$  до 60 – 70 %;
- вентиляционные выбросы, содержащие до 0,75 %  $\text{CH}_4$ .

В зависимости от источников и способов промышленная добыча метана подразделяется на:

- промысловую из неразгруженных угольных пластов;
- попутную с применением технологических схем подземной дегазации и газоотсоса, осуществляемую на горном отводе действующей шахты в процессе ведения горных работ по добыче угля;
- извлечение (добычу) из подработанного массива на горных отводах закрытых угольных шахт [4].

Развитие промышленной добычи метана из угольных месторождений нашей страны определено «Энергетической стратегией России на период до 2020 года». Кроме того, в Федеральном законе от 29 декабря 2012 г. № 278-ФЗ «О внесении изменений в статьи 336 и 337 части второй Налогового кодекса Российской Федерации и статьи 6 Федерального закона «О внесении изменений в Бюджетный кодекс Российской Федерации» и отдельные законодательные акты Российской Федерации» уточнен перечень полезных ископаемых, не признаваемых объектом обложения НДПИ. В их число добавили метан угольных пластов [5]. Такая мера стимулирует интерес угледобывающих компаний в освоении неперспективных метанообильных, взрывоопасных угольных месторождений. Попутная добыча метана в ближайшие годы перерастет в отдельную отрасль.

Согласно данным статистических исследований, проведенных специалистами, выявлено, что котельные установки выбрасывают в атмосферу значительно большее количество  $\text{CO}$  на единицу теплоты, чем ТЭЦ. Ущерб, причиняемый вредными выбросами в атмосферу мелкими котельными установками в силу их размещения в зоне проживания людей и ограниченных возможностей использования технических средств для обезвреживания выбросов, в 5 раз выше, чем от ТЭЦ [2]. Предлагаемый подход составляет основу концепции создания теплоэнергетических комплексов на базе использования метана угольных шахт, который позволит решить следующие задачи: улучшение экологической безопасности, в том числе создание безопасных по газовому фактору условий для добычи угля, и снижение загрязнения окружающей среды за счет уменьшения

выбросов в атмосферу метана – одного из газов, участвующих в создании парникового эффекта, а также уменьшение вредных выбросов в атмосферу от шахтных котельных при их переводе на сжигание метана вместо угольного топлива. При этом существенно сокращаются выбросы в атмосферу оксидов азота  $\text{NO}_x$  [6], серы  $\text{SO}_2$ , углерода  $\text{CO}$  и пыли, являющихся основными вредными веществами, образующимися при сжигании угля в шахтных котельных. Кроме того, при этом имеет место косвенный экологический эффект, заключающийся в уменьшении количества сжигаемого угля в котельных при замещении части электрической и тепловой энергии из энергосистемы собственной электроэнергией шахты, вырабатываемой при сжигании метана; получение дополнительного энергетического и технологического сырья [5].

Рассмотрим возможность утилизации шахтного метана на примере котельной шахты «Полысаевская». В настоящее время для выработки тепловой энергии используется котельная, работающая на угле. Она будет модернизирована установкой на котлах горелок для сжигания метана. Предполагается, что тепловая мощность переоборудованной котельной будет соответствовать мощности старой. При применении такой технологии затраты на электроэнергию и отопление возможно снизить в несколько раз и, как следствие, снизить себестоимость 1 т добычи угля. При той же цене прибыль увеличится в разы [2]. Это позволит шахте повысить безопасность труда шахтеров, эффективность отработки угольных месторождений, комплексно использовать полезное ископаемое и улучшить экологическую обстановку. Сокращение выбросов метана снизит выплаты предприятия за загрязнение атмосферы. Технические характеристики котлоагрегатов, установленных на котельной шахты «Полысаевская», представлены в табл. 2.

Отопление котельной осуществляется углем марки Г Ленинского каменноугольного месторождения. Состав горючей массы угля представлен ниже:

| Вещество      | C    | H    | O    | N   | S    |
|---------------|------|------|------|-----|------|
| Содержание, % | 70,4 | 7,72 | 20,0 | 1,1 | 0,78 |

Зольность и влажность топлива составляют 23,4 и 7,6 % соответственно. Для очистки газов от взвешенных частиц при работе котлов на угле установлены батарейные циклоны марки БЦ – 7. Расчет эффективности показал, что ее значение составляет 72,5 %. При начальной запыленности газов 0,68 г/м<sup>3</sup> конечная концентрация пыли составит 0,182 г/м<sup>3</sup>. Для нетоксичной пыли рекомендуемое значение не долж-

**Характеристики котлов**

| Заводское обозначение котла                              | Вид топлива              | Паропроизводительность, т/ч | Давление пара, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ) | Температура пара, °С | КПД котла, % |
|----------------------------------------------------------|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------|----------------------|--------------|
| Котлы типа Е-Р (КЕ-С) со слоевыми топочными устройствами |                          |                             |                                           |                      |              |
| КЕ-10-14С (лето)                                         | Каменный или бурый уголь | 10                          | 1,4 (14)                                  | 194                  | 82,5         |
| КЕ-25-14С                                                | Каменный или бурый уголь | 25                          | 1,4 (14)                                  | 194                  | 87,9         |

Примечание. Характеристики котлов представлены согласно техническому отчету за 4 квартал 2014 г. и Проекту нормативов предельно допустимых выбросов ОАО «СУЭК-Кузбасс» ПЕ «Спецналадка» г. Ленинск-Кузнецкого.

но превышать 0,1 г/м<sup>3</sup>. Для достижения установленного уровня необходима дополнительная ступень очистки или принятие другой схемы пылеулавливания. Расчет образования вредных выбросов при работе котельной на твердом топливе и шахтном метане произведен по известной методике [7] при условии равной тепловой мощности установки от разных сортов топлива. В табл. 3 приведены результаты расчета.

Расчет максимальной концентрации загрязняющих веществ в атмосферном воздухе выполнен в соответствии с методикой [7] при высоте существующей дымовой трубы 30 м. Результаты приведены в табл. 4.

Анализ результатов произведенных расчетов позволяет сделать следующие выводы: использование шахтного метана в качестве топлива позволяет существенно сократить массу выброса вредных веществ в атмосферу воздуха. В том числе выброс диоксида азота сокра-

щается на 40,291 т/год, оксида азота – на 6,542 т/год, оксида углерода – на 306,81 т/год и бенз(а)пирена – на 0,000273 т/год. При сжигании метана отсутствуют такие вредные выбросы, как зола и сажа, а также оксиды серы.

Выбросы вредных веществ сокращаются на 88,66 %. Значительное сокращение выбросов оксида углерода наблюдается благодаря использованию меньшего количества топлива и полному сгоранию газообразного топлива.

**Выводы.** Объединение в единый комплекс процессов добычи и переработки топлива в электрическую и тепловую энергию открывает возможность существенного повышения экономической эффективности всего комплекса, позволяет улучшить экологическую обстановку, повысить безопасность труда шахтеров, а также позволяет комплексно использовать полезное ископаемое не только на собственные нужды, но и на отопление ближайшего жилого района города Полысаево.

**Количество образующихся вредных веществ при сжигании твердого и газообразного топлива**

| Компонент                             | Выброс вредных веществ при сжигании угля, т/год | Выброс вредных веществ при сжигании метана, т/год | Сокращение, т/год |
|---------------------------------------|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------|-------------------|
| Диоксид азота                         | 68,218                                          | 27,927                                            | -40,291           |
| Оксид азота                           | 11,08                                           | 4,538                                             | -6,542            |
| Ангидрид сернистый (SO <sub>2</sub> ) | 245,138                                         | -                                                 | -245,138          |
| Оксид углерода                        | 384,113                                         | 77,303                                            | -306,81           |
| Твердые частицы                       | 259,378833                                      | -                                                 | -259,378833       |
| Бенз(а)пирен                          | 0,000413                                        | 0,00014                                           | -0,000273         |
| Всего:                                | 967,933                                         | 109,768                                           | -858,16486        |
| Сокращение выбросов, %                |                                                 |                                                   | 88,66             |

**Расчетные значения максимальных концентраций вредных веществ в атмосферном воздухе**

| Вещество        | Расчетные значения концентрации выбросов, мг/м <sup>3</sup> |                          |
|-----------------|-------------------------------------------------------------|--------------------------|
|                 | Сжигание угля                                               | Сжигание метана          |
| Оксид азота     | 0,00125748                                                  | 0,0001386                |
| Диоксид азота   | 0,003888                                                    | 0,000846                 |
| Оксид углерода  | 0,01386                                                     | 0,00441                  |
| Бенз(а)пирен    | $0,0234 \cdot 10^{-6}$                                      | $0,002628 \cdot 10^{-6}$ |
| Оксид серы      | 0,021924                                                    | -                        |
| Твердые частицы | 0,014796                                                    | -                        |

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Рубан А.Д., Забурдяев В.С. Опыт извлечения и использования шахтного метана в России и ФРГ // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 9. С. 153 – 158.
2. Калинин А.В., Новиков В.И. и др. Результаты и перспективы реализации инновационного проекта по добыче метана из угольных пластов в Кузбассе. – В кн.: Основные направления стратегии развития ОАО «Газпром» промышленной добычи метана из угольных пластов / Под ред. А.М. Карасевич, Н.М. Сторонского, В.Т. Хрюкина, Е.В. Швачко // Газовая промышленность. 2012. № 672. С. 6 – 10.
3. Коротков С.Г., Стерлигов В.В. Подготовка шахтного метана для использования в качестве металлургического топлива. Научное наследие И.П. Бардина: Труды научно-технической конференции. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2008. С. 72 – 75.
4. Золотых С.С., Карасевич А.М. Проблемы промышленной добычи метана в Кузнецком угольном бассейне. – М.: ИСПИН, 2002. – 540 с.
5. Постановление совета федерации федерального собрания Российской Федерации [Электронный ресурс]. URL: <http://council.gov.ru/activity/documents/9699> (Дата обращения: 16.10.2015 г.).
6. Коротков С.Г., Волынкина Е.П. Образование термических оксидов азота при сжигании газообразного топлива. Управление отходами – основа восстановления экологического равновесия в Кузбассе: Сб. докладов Второй Международ. науч.-практич. конф. / Под ред. Е.П. Волынкиной. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2008. С. 159 – 162.
7. Рекомендации по оформлению и содержанию проекта нормативов предельно-допустимых выбросов (ПДВ) для предприятия. – М.: Госкомприрода, 1989.

© 2015 г. С.Г. Коротков, Н.Е. Козлова  
Поступила 19 октября 2015 г.