УДК 622.33:662.74

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОДЗЕМНОЙ ГАЗИФИКАЦИИ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ УГОЛЬНЫХ МАСС: КОНЦЕПЦИЯ МОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

UTILIZATION OF TECHNOGENIC COAL MASSES USING UNDERGROUND COAL GASIFICATION TECHNOLOGY: A MOBILE COMPLEX CONCEPT

Герасименко Анна Евгеньевна
аспирант,
Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»
BogdanovaAY@mpei.ru

Бураков Иван Андреевич
кандидат технических наук,
доцент,
Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»
BurakovIA@mpei.ru

Морыганова Юлия Августовна
кандидат химических наук,
доцент,
Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»
MoryganovaYA@mpei.ru

Милютин Василий Александрович
старший преподаватель,
Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»
MiliutinVA@mpei.ru

Аннотация. В статье рассматривается концепция мобильного энерго-рекультивационного комплекса, предназначенного для утилизации угольных отвалов. Комплекс базируется на адаптированной технологии подземной газификации (ПГ), переносимой в техногенные массивы. Проведен анализ литературных данных по мировому опыту ПГ, экологическим проблемам угольной отрасли и свойствам отвалов. Определены начальные этапы реализации проекта: предварительный анализ объекта и детальная разведка с моделированием. Показано, что применение мобильного энерго-рекультивационного комплекса позволяет решить триединую задачу: ликвидировать опасный объект, генерировать распределенную энергию и восстановить земли.

Ключевые слова: подземная газификация угля, угольные отвалы, техногенное сырье, рекультивация, распределенная энергетика, синтез-газ, экологическая безопасность.

Gerasimenko Anna Evgenievna
Postgraduate Student,
National Research University
«Moscow Power Engineering Institute»
BogdanovaAY@mpei.ru

Burakov Ivan Andreevich
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
National Research University
«Moscow Power Engineering Institute»
BurakovIA@mpei.ru

Moriganova Yulia Avgustovna
Candidate of Chemical Sciences,
Associate Professor,
National Research University
«Moscow Power Engineering Institute»
MoryganovaYA@mpei.ru

Milyutin Vasily Aleksandrovich
Senior Lecturer,
National Research University
«Moscow Power Engineering Institute»
MiliutinVA@mpei.ru

Annotation. The article discusses the concept of a mobile energy-reclamation complex designed for the disposal of coal waste dumps. The complex is based on an adapted underground coal gasification (UCG) technology transferred to man-made massifs. A review of world experience in UCG, environmental problems of the coal industry, and properties of coal dumps is carried out. The initial stages of the project implementation are defined: preliminary analysis of the site and detailed exploration with modeling. It is shown that the use of a mobile energy-reclamation complex makes it possible to solve a triple task: eliminate a hazardous facility, generate distributed energy, and restore disturbed lands.

Keywords: underground coal gasification, coal dumps, technogenic raw materials, reclamation, distributed energy, synthesis gas, environmental safety.

Введение

Мировая тенденция возрастания стоимости углеводородов и необходимость обеспечения энергетической безопасности стимулируют интерес к нетрадиционным источникам энергии и способам переработки угля [1]. Одновременно острой проблемой является накопление огромных объемов техногенного сырья, в частности, угольных отвалов (терриконов). Эти объекты являются источниками постоянного загрязнения воздуха, почв и вод, самовозгораются и отчуждают значительные территории [2, 3].

Традиционные методы рекультивации затратны и часто не решают проблему полностью, оставляя потенциально опасную массу в недрах отвала. Ключевая научно-техническая идея данной работы заключается в создании высокомобильного, энергонезависимого комплекса на основе адаптированной технологии подземной газификации (ПГ) для переработки поверхностных техногенных

отвалов. Такой комплекс должен решать триединую задачу: ликвидация экологического объекта, генерация распределенной энергии и восстановление земель без образования вторичных отходов.

Анализ современного состояния технологии ПГ и проблемы отвалов

Технология ПГ имеет более чем полувековую историю. В СССР успешно функционировали станции «Подземгаз» в Подмосковном бассейне, Донбассе и Кузбассе [4, 5]. Многолетний отечественный опыт доказал принципиальную возможность управляемой газификации угольных пластов на месте залегания [6]. Однако, как отмечают исследователи, от отдельных экспериментов до промышленного предприятия – дистанция большая, требующая специального технологического регламента и большого количества скважин [7].

Мировой опыт также демонстрирует перспективность ПГ. В США в 1970–1990-х годах были проведены многочисленные эксперименты, в том числе с контролируемым перемещением точки подачи дутья (метод «КРИП») [1]. В Китае, Австралии и ЮАР реализованы проекты «ПГ-ТЭС» и по производству жидкого топлива [1, 8]. Однако эти проекты были ориентированы на целиковые угольные пласты, а не на техногенные образования.

Анализ экологических последствий традиционной угледобычи показывает, что на каждую тонну условного топлива, добываемую шахтами и разрезами, приходится до 5–6 м³ воды, значительная часть которой сбрасывается загрязненной [2]. Общая площадь нарушенных земель достигает тысяч гектаров, при этом годовой объем вскрышных пород в 2–3 раза превышает объем добываемого угля [2, 3]. Горящие породные отвалы выделяют огромное количество вредных газов: CO, CO_2, NO_x [2].

Принципиальным преимуществом ПГ является отсутствие отвалов горной породы на стадии добычи [3, 9]. Кроме того, использование газа ПГ на месте позволяет полностью предотвратить выбросы пыли при транспортировке и значительно сократить выбросы SO_x и NO_x при сжигании по сравнению с углем [2, 10].

Концепция мобильного энерго-рекультивационного комплекса и начальные этапы реализации

Предлагаемый мобильный энерго-рекультивационный комплекс переносит проверенные принципы ПГ в тело угольного отвала, рассматривая его как техногенное месторождение с высокой степенью неоднородности. В состав комплекса входят: мобильная буровая установка для разведки и подготовки скважин, блок подачи дутья (воздух, кислород, пар), модуль очистки и осушки синтез-газа, энергогенерирующее оборудование (газопоршневые или газотурбинные установки) и система автоматизированного управления, размещённые на унифицированных транспортных платформах, что позволяет оперативно перемещать комплекс между отвалами.

Начальный этап: предварительный анализ и выбор объекта. Цель этапа – определение приоритетности объекта для развертывания мобильного энерго-рекультивационного комплекса. Анализ литературы показывает, что наиболее перспективными регионами для отработки технологии являются старые угольные бассейны. Например, в Подмосковном бассейне ранее успешно осуществлялась газификация бурых углей [5]. В Кузбассе накоплен колоссальный опыт на Южно-Абинской станции, где газифицировались каменные угли в сложных горно-геологических условиях [4, 11]. В Донбассе работы велись на Лисичанской станции [5].

Критерии отбора объекта включают: картографические данные об объеме и площади отвала, предварительный анализ состава (лигниты или каменный уголь с достаточной теплотой сгорания), оценку пожароопасности и близость к инфраструктуре. Важным фактором является зольность: для эффективной газификации желательны отвалы с содержанием горючей массы, позволяющим получить газ с теплотой сгорания не ниже 4–5 МДж/м³ [12].

Первый этап: детальная разведка и моделирование. На этом этапе предлагается использовать мобильную буровую установку для отбора керна по сетке скважин. В отличие от целикового пласта, техногенный массив крайне неоднороден. Необходимо определить распределение горючей массы, влажности, зольности и плотности. Как показывает практика, лабораторные исследования образцов угля (петрографический состав, зольность, выход летучих, теплота сгорания) являются обязательным условием для расчета теплового баланса и выбора оптимальных параметров [6].

На основе полученных данных проводится математическое моделирование процесса газификации в неоднородной среде. Применительно к техногенным массивам моделирование подразумевает численное решение задач теплофизики и гидродинамики с учётом пространственного распределения свойств отвала (зольности, влажности, пористости, гранулометрического состава), что позволяет прогнозировать динамику развития зоны газификации, состав и теплотворную способность получаемого газа, а также оценивать устойчивость откоса отвала в процессе выжигания горючей массы.

Термодинамические расчеты должны быть адаптированы для конкретных условий отвала [5]. Также критически важна оценка геомеханической устойчивости массива при нагреве [4].

Заключение и перспективы

Предложенная концепция базируется на фундаментальных основах и практическом опыте подземной газификации угля, накопленном в России и мире [4, 11]. Ее новизна заключается в переносе технологии ПГ из природных угольных пластов в техногенные массивы (отвалы) с целью их полной утилизации. Ликвидация отвалов с попутной генерацией синтез-газа представляет собой пример экологически чистой угольной технологии [10, 12]. Последующие фазы проекта станут предметом дальнейших исследований.

Список литературы:

1. Крейнин Е.В. Анализ и перспективы современных проектов подземной газификации углей в мире / Е.В. Крейнин, С.Г. Стрельцов, Б.Ю. Сушенцова // Уголь. – 2011. – № 1. – С. 40–43.
2. Крейнин Е.В. Экологические преимущества подземной газификации угля // Уголь. – 2007. – № 2. – С. 61–63.
3. Крейнин Е.В. Экологоэнергетические возможности подземной газификации угля в топливной электроэнергетике // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2005. – № 10. – С. 290–292.
4. Крейнин Е.В. От подземной газификации угольных пластов к синтезу углеводородных топлив // Газохимия. – 2009. – № 1(5). – С. 32–38.
5. Технико-экономическая оценка получения водорода методом подземной газификации угля / Ю.В. Стефаник [и др.] // Альтернативная энергетика и экология. – 2008. – № 4. – С. 55–89.
6. Наумова Ю.А. Мировой опыт в области технологии газификации угля / Ю.А. Наумова, Д.А. Туник, Ю.А. Юсипук // Дні науки – 2011: зб. матеріалів регіональної науково-практичної конф. – 2011. – № 2. – С. 76–78.
7. Состояние и перспективы развития подземной газификации угля на Дальнем Востоке России / Б.И. Кондырев [и др.] // Нефтегазовое и горное дело, геология. – 2012. – С. 213–215.
8. Крейнин Е.В. Технико-экономические перспективы подземной газификации угля // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2009. – № 5. – С. 347–352.
9. Перспективы подземной газификации для доработки угольных запасов шахт / О.А. Антамошкин [и др.] // Уголь. – 2025. – № 6. – С. 114–118.
10. Свиридов А.С. Перспективы развития подземной газификации угля в России / А.С. Свиридов, И.А. Власова // Экологические проблемы региона и пути их разрешения : материалы Всерос. науч.-практ. конф. – Омск : ОмГТУ, 2021. – С. 77–80.
11. Подземная газификация угля как перспективная геотехнология развития угольной промышленности / А.А. Фаткулин [и др.] // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2014. – № S4-2. – С. 3–8.
12. Рубан А.Д. Подземная газификация угля — новый этап технологического и инвестиционного развития // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2007. – № 2. – С. 288–300.

List of references:

1. Kreinin E.V. Analysis and prospects of modern underground coal gasification projects in the world / E.V.Kreinin, S.G. Streltsov, B.Yu. Sushentsova // Ugol'. – 2011. – № (1). – P. 40–43.
2. Kreynin E.V. Environmental Benefits of Underground Coal Gasification // Coal. – 2007. – № 2. – P. 61–63.
3. Kreynin E.V. Environmental and Energy Potential of Underground Coal Gasification in Fuel and Electric Power Industry // Mining Information and Analytical Bulletin (scientific and technical journal). – 2005. – № 10. – P. 290–292.
4. Kreynin E.V. From Underground Coal Seam Gasification to Hydrocarbon Fuel Synthesis // Gas Chemistry. – 2009. – № 1(5). – P. 32–38.
5. Technical and economic assessment of hydrogen production by underground coal gasification / Yu.V. Stefanik [et al.] // Alternative energy and ecology. – 2008. – № 4. – P. 55–89.
6. Naumova Yu.A. World experience in the field of coal gasification technology / Yu.A. Naumova, D.A. Tunik, Yu.A. Yusipuk // Science Days – 2011: collected materials from the regional scientific and practical conference. – 2011. – № 2. – P. 76–78.
7. Status and prospects for the development of underground coal gasification in the Russian Far East / B.I. Kondyrev [et al.] // Oil and gas, mining, geology. – 2012. – P. 213–215.
8. Kreynin E.V. Technical and economic prospects of underground coal gasification // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). – 2009. – № 5. – P. 347–352.
9. Prospects for underground gasification for processing coal reserves of mines / O.A. Antamoshkin [et al.] // Coal. – 2025. – № 6. – P. 114–118.
10. Sviridov A.S. Prospects for the development of underground coal gasification in Russia / A.S. Sviridov, I.A. Vlasova // Environmental problems of the region and ways to resolve them: materials of the All-Russian scientific and practical conference. – Omsk : OmskGTU, 2021. – P. 77–80.
11. Underground coal gasification as a promising geotechnology for the development of the coal industry / A.A. Fatkullin [et al.] // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). - 2014. – № S4-2. – P. 3–8.
12. Ruban A.D. Underground coal gasification - a new stage in technological and investment development // Mining information and analytical bulletin (scientific and technical journal). – 2007. – № 2. – P. 288–300.