УДК 62.61; 62.66

КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ УГОЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ДЛЯ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩЕЙ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

INTEGRATED DEVELOPMENT OF COAL DEPOSITS FOR RESOURCE-EFFICIENT AND ENERGY INDUSTRY

Йе Винт Аунг
кандидат технических наук,
ассистент,
Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»
Yevin@mpei.ru

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

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

Аннотация. В статье рассматривается концепция комплексного освоения угольных месторождений, направленная на повышение ресурсоэффективности и снижение экологической нагрузки угольной генерации. Предложена схема энерготехнологического завода (ЭТЗ), включающая ступени обогащения угля с использованием природных высокоминерализованных рассолов в качестве тяжелой среды, газификацию полученного концентрата для производства синтетического газа, а также утилизацию и очистку шахтного метана. Приведены результаты экспериментальных исследований, подтверждающих эффективность использования хлоридных натриевых рассолов и бишофитов для разделения угольной массы. Показано, что применение такого подхода позволяет не только получить экологически чистое газовое топливо для тепловых электростанций (ТЭС), но и обеспечить извлечение ценных редких и рассеянных элементов из промежуточных продуктов обогащения.

Ключевые слова: угольные месторождения, шахтный метан, энерготехнологический завод, гравитационное обогащение, тяжелая среда, природные рассолы, бишофит, газификация, ресурсосбережение.

Ye Yint Aung
Candidate of Technical Sciences,
Assistant,
National Research University
«Moscow Power Engineering Institute»
Yevin@mpei.ru

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

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

Annotation. The article examines the concept of integrated coal field development aimed at improving resource efficiency and reducing the environmental impact of coal-fired power generation. A scheme for an energy-technological plant (ETP) is proposed, which includes stages of coal preparation using natural highly mineralized brines as a heavy medium, gasification of the obtained concentrate to produce synthetic gas, as well as the utilization and purification of coal mine methane. The results of experimental studies are presented, confirming the effectiveness of using sodium chloride brines and bischofite for separating coal mass. It is shown that applying this approach not only makes it possible to obtain environmentally friendly gaseous fuel for thermal power plants (TPPs) but also ensures the recovery of valuable rare and trace elements from intermediate processing products.

Keywords: coal deposits, coal mine methane, energy-technological plant, gravity concentration, heavy medium, natural brines, bischofite, gasification, resource conservation.

Введение

Несмотря на глобальный энергетический переход, уголь остается одним из ключевых элементов топливно-энергетического баланса многих стран, включая Российскую Федерацию, Китай, Индию и Мьянму [1, 2]. Прогнозы Международного энергетического агентства указывают на сохранение значительной доли угля в структуре первичной энергии в обозримом будущем. Однако прямое сжигание угля на тепловых электрических станциях (ТЭС) сопряжено с комплексом экологических проблем, включая выбросы оксидов серы и азота (SOx, NOx), твердых частиц (летучая зола) и парниковых газов (CO_2, CH_4) [3].

Параллельно с экологическими вызовами существует проблема неполноты использования ресурсного потенциала угольных месторождений. Помимо угля, в их недрах часто содержатся значи-

тельные объемы шахтного метана (рудничного газа), который при отсутствии системы утилизации выбрасывается в атмосферу, усугубляя парниковый эффект, а также высокоминерализованные пластовые воды. Кроме того, угольная масса сама по себе является источником редких и рассеянных элементов, которые при традиционной технологии сжигания безвозвратно теряются в золошлаковых отходах [4].

Для решения обозначенных проблем необходим переход от простого сжигания угля к комплексной, ресурсосберегающей модели его переработки. Такой подход, базирующийся на принципах наилучших доступных технологий (НДТ) и подтвержденный передовой международной практикой, позволяет интегрировать процессы обогащения, газификации и утилизации рудничного газа в едином энерготехнологическом цикле [5, 6].

Ресурсный потенциал и экологические вызовы

Основными ценными компонентами, извлекаемыми при комплексном освоении угольных месторождений, являются:

1. Энергетический уголь: основное сырье для производства тепла и электроэнергии. Его качество (зольность, теплота сгорания) может быть значительно улучшено путем обогащения.
2. Шахтный метан (рудничный газ): попутный горючий газ, содержание которого в угольных пластах может достигать 35 м³ на тонну сухой беззольной массы [7]. Его использование в качестве топлива или компонента топливной смеси позволяет заместить часть традиционного ископаемого топлива и сократить выбросы парниковых газов.
3. Высокоминерализованные воды (природные рассолы): подземные воды, которые могут быть использованы в технологических процессах, например, в качестве тяжелой среды при гравитационном обогащении угля или для регенерации ионообменных фильтров на ТЭС [8].

Традиционная технология прямого сжигания угля на ТЭС приводит к образованию значительного объема выбросов. Для снижения содержания вредных веществ в дымовых газах применяются различные методы, такие как циклоны, рукавные фильтры (эффективность улавливания твердых частиц до 99 %), системы десульфуризации и методы подавления оксидов азота (ступенчатое сжигание, рециркуляция дымовых газов) [3]. Однако эти системы, будучи высокоэффективными, не решают проблему истощения ресурсов и не используют скрытый потенциал угольного сырья.

Концепция энерготехнологического завода (ЭТЗ) для комплексной переработки

В качестве системного решения предлагается создание энерготехнологического завода (ЭТЗ) на базе угольного месторождения [6]. Принципиальная схема такого завода, адаптированная для условий Республики Союз Мьянма и других регионов, представлена на рисунке 1. Основу концепции составляет глубокая переработка угля на две основные ступени: обогащение и газификацию. (Схема включает: 1 – угольное месторождение; 2 – узел обогащения I стадии; 3 – узел подготовки ИКЖТ (ВУТ); 4 – узел газификации; 5 – система очистки шахтного метана; 6 – система извлечения редких элементов; 7 – ТЭС).

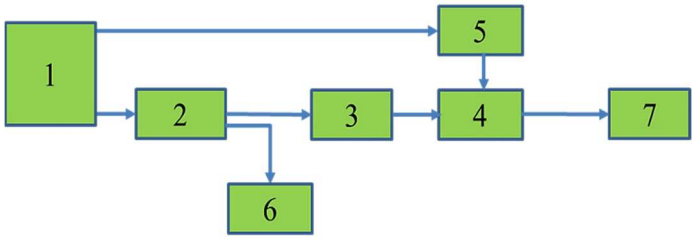

Рисунок 1 – Технологическая схема комплексного освоения угольного месторождения с использованием ЭТЗ

Первая стадия обогащения на ЭТЗ предполагает использование в качестве тяжелой среды природных хлоридных натриевых рассолов и бишофитов. Такие высокоминерализованные воды имеют плотность в диапазоне 1160–1300 кг/м³, что позволяет выделить угольную массу с плотностью ниже 1300 кг/м³. Именно эта фракция является основой для получения чистого энергетического топлива, в то время как более тяжелая фракция (плотностью >1300 кг/м³) концентрирует в себе редкие и рассеянные элементы (Ge, Ga, Be, Nb, Sc и др.) [4].

Полученный угольный концентрат, а также отходы обогащения, смешанные с водой (в том числе сточными водами угольного месторождения и ТЭС), могут быть использованы для приготовления искусственного композиционного жидкого топлива (ИКЖТ) или водоугольного топлива (ВУТ). Далее это топливо подвергается газификации с получением синтетического (генераторного) газа. Для повышения его калорийности и стабилизации состава, в смесь перед сжиганием на ТЭС может добавляться очищенный шахтный метан [9]. Авторами предлагается соотношение 98% синтез-газа к 2% очищенного метана.

Экспериментальное обоснование применения природных высокоминерализованных вод для обогащения углей

Ключевым технологическим этапом в предлагаемой схеме является использование высокоминерализованных вод в качестве тяжелой среды. Ранее в промышленности для этих целей применялись магнетитовые и водно-песчаные суспензии, которые имеют высокую стоимость и усложняют эксплуатацию из-за необходимости постоянного перемешивания и загрязнения концентрата. Проведенные исследования показали перспективность замены этих суспензий на природные высокоминерализованные воды [5, 8].

В ходе лабораторных экспериментов на кафедрах ТОТ и ТЭС НИУ «МЭИ» оценивалась эффективность обогащения энергетических углей (углей Мьянмы: Тигиит и Калева) в корытном сепараторе. В качестве тяжелых сред использовались:

- природный подземный хлоридный натриевый рассол (плотность 1160 и 1165 кг/м³);
- бишофит (плотность 1200–1300 кг/м³).

Основные показатели эффективности обогащения (η, %) рассчитывались по формуле Ханкокка-Луйкена. Полученные результаты сведены на рисунке 2.

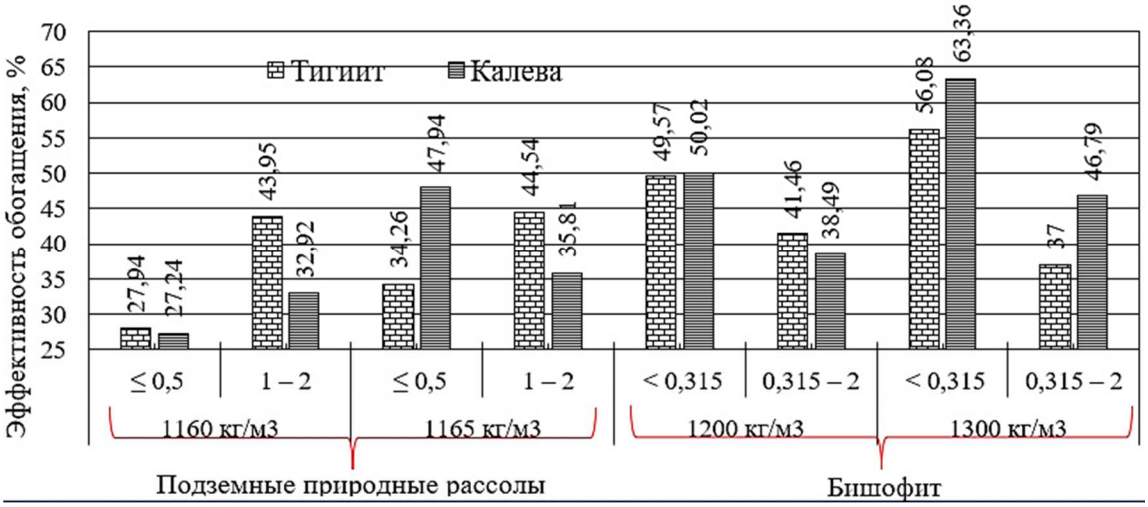

Рисунок 2 – Эффективность процессов обогащения в зависимости от размера частиц исходного угля

Анализ полученных данных показывает, что значения эффективности обогащения (от 27,24 % до 63,36 %) превышают порог в 25 %, что свидетельствует о принципиальной применимости предложенных сред. Более того, в ряде опытов эффективность превысила 50 %, что классифицирует процесс как высокоэффективный. Наивысший результат (63,36 %) был достигнут для угля марки Калева при использовании марки бишофита (плотность 1300 кг/м³) в качестве тяжелой среды.

Выводы

1. Переход к комплексному освоению угольных месторождений на базе энерготехнологических заводов (ЭТЗ) является перспективным направлением для повышения ресурсоэффективности и экологической безопасности угольной генерации.
2. Предложенная схема ЭТЗ позволяет интегрировать процессы обогащения угля с использованием нетрадиционных тяжелых сред, газификации, утилизации шахтного метана и извлечения редких элементов.
3. Экспериментально доказана возможность и высокая эффективность (до 63,36%) использования природных хлоридных натриевых рассолов и бишофитов в качестве тяжелых сред для гравитационного обогащения энергетических углей.
4. Комплексное использование продуктов угольного месторождения (уголь, метан, высокоминерализованные растворы) позволяет минимизировать воздействие на окружающую среду, сократить объемы отходов и извлечь максимальную экономическую выгоду из минеральных ресурсов.

Список литературы:

1. IEA. World Energy Outlook 2023. – Paris : International Energy Agency, 2023. – 488 p.
2. Информационно-технический справочник по наилучшим доступным технологиям (ИТС 37-2017) «Добыча и обогащение угля». – М. : Бюро НДТ, 2017. – 294 с.
3. Росляков П.В. Расчет вредных выбросов ТЭС в атмосферу : учеб. пособие / П.В. Росляков, Л.Е. Егорова, И.Л. Ионкин; Под ред. П.В. Рослякова. – 2-е изд., испр. и доп. – М. : Издательство МЭИ, 2002. – 84 с.

4. Якунин В.П. Использование отходов обогащения углей / В.П. Якунин, А.А. Агроскин. – М. : Недра, 1978. – 167 с.

5. Применение подземных природных рассолов для обогащения энергетических углей / И.А. Бураков [и др.] // Материалы III Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики». – М. : Издательский дом МЭИ, 2020. – С. 497-498.

6. Разработка системы энерготехнологической переработки ресурсов угольных месторождений для энергетики и иных отраслей / И.А. Бураков [и др.] // Материалы III Международной конференции «Современные проблемы теплофизики и энергетики». – М. : Издательский дом МЭИ, 2020. – С. 3–4.

7. Майдуков Г.Л. Комплексное использование угольных месторождений Донбасса как основа экологической безопасности и энергосбережения в регионе // Экономический вестник Донбасса. – 2007. – № 4. – С. 12–19.

8. Кондиционные и некондиционные природные высокоминерализованные водные ресурсы, используемые на энергетических и промышленных объектах / И.А. Бураков [и др.] // Энергосбережение и водоподготовка. – 2025. – № 1(153). – С. 58–63.

9. Бураков И.А. Оценка возможности использования смеси синтетического и рудничного газов в качестве топлива на ТЭС с ПГУ / И.А. Бураков, В.А. Йе, Р.А. Недик // Материалы Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии» (XXI Бенардосовские чтения). – Иваново : ИГЭУ, 2021. – Т. 2. – С. 130–132.

List of references:

1. IEA. World Energy Outlook 2023. – Paris : International Energy Agency, 2023. – 488 p.

2. Information and Technical Reference Book on Best Available Technologies (ITS 37-2017) «Coal Mining and Beneficiation». – M. : Bureau of BAT, 2017. – 294 p.

3. Roslyakov P.V. Calculation of Harmful Emissions from Thermal Power Plants into the Atmosphere : textbook / P.V. Roslyakov, L.E. Egorova, I.L. Ionkin; Edited by P.V. Roslyakov. – 2nd ed., revised and expanded. – M. : MPEI Publishing House, 2002. – 84 p.

4. Yakunin, V.P. Utilization of Coal Beneficiation Waste / V.P. Yakunin, A.A. Agroskin. – Moscow: Nedra, 1978. – 167 p.

5. Application of Underground Natural Brines for Coal Preparation / I.A. Burakov [et al.] // Proceedings of the III International Conference «Modern Problems of Thermophysics and Energy». – M. : MPEI Publishing House, 2020. – P. 497–498.

6. Development of a System for Energy-Technological Processing of Coal Deposit Resources for the Energy Sector and Other Industries / I.A. Burakov [et al.] // Proceedings of the III International Conference «Modern Problems of Thermophysics and Energy». – M. : MPEI Publishing House, 2020. – P. 3–4.

7. Maidukov G.L. Integrated Use of Donbas Coal Deposits as a Basis for Environmental Safety and Energy Conservation in the Region // Economic Herald of Donbas. – 2007. – № 4. – P. 12–19.

8. Conditional and Unconventional Natural Highly Mineralized Water Resources Used at Energy and Industrial Facilities / I.A. Burakov [et al.] // Energy Saving and Water Treatment. – 2025. – № 1(153). – P. 58–63.

9. Burakov I.A. Assessment of the Possibility of Using a Mixture of Synthetic and Mine Gases as Fuel at Thermal Power Plants with Combined Cycle Gas Turbines / I.A. Burakov, V.A. Ye, R.A. Nedik // Proceedings of the International Scientific and Technical Conference «State and Prospects for the Development of Electrical and Thermal Technologies» (XXI Benardos Readings). – Ivanovo: ISPU, 2021. – Vol. 2. – P. 130–132.