УДК 62.61; 62.66

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДОВ ОБОГАЩЕНИЯ И ГАЗИФИКАЦИИ УГЛЯ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В ЭНЕРГОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ ДЛЯ УСЛОВИЙ РЕСПУБЛИКИ СОЮЗ МЬЯНМА

INVESTIGATION OF THE EFFECTIVENESS OF COAL ENRICHMENT AND GASIFICATION METHODS FOR USE IN ENERGY TECHNOLOGY COMPLEXES FOR THE CONDITIONS OF THE REPUBLIC OF THE UNION OF MYANMAR

Йе Хтут Кьё
аспирант,
Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»
YeK@mpei.ru

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. Статья посвящена исследованию эффективности методов обогащения и газификации угля для применения в энерготехнологических комплексах Республики Союз Мьянма. Актуальность работы обусловлена реализацией Национальной программы электрификации страны, предусматривающей увеличение доли угля в энергобалансе до 33 % к 2030 году [1–3]. В работе выполнен анализ двух основных типов подготовки топлива: в виде водоугольной суспензии (технологии E-gas и Texaco) и в пылевидном состоянии (технологии Shell и MHI). С использованием программного комплекса Thermoflow проведено моделирование процессов газификации на основе усредненных характеристик углей месторождений Тигиит и Калева. Получены данные по составу и низшей теплоте сгорания синтез-газа. Результаты моделирования показали, что среди водоугольных технологий более высокую теплоту сгорания обеспечивает процесс E-gas, а среди пылевидных – процесс Shell. Обоснована перспективность применения энерготехнологических комплексов с извлечением редкоземельных элементов из золошлаковых отходов для условий Мьянмы.

Ключевые слова: газификация угля, водоугольное топливо, пылеугольное топливо, синтез-газ, энерготехнологические комплексы, низшая теплота сгорания, золошлаковые отходы, редкоземельные элементы.

Ye Htut Kyoe
Postgraduate Student,
National Research University
«Moscow Power Engineering Institute»
YeK@mpei.ru

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 investigates the efficiency of coal enrichment and gasification methods for application in energy technology complexes in the Republic of the Union of Myanmar. The relevance of the work is driven by the implementation of the country's National Electrification Program, which envisages increasing the share of coal in the energy balance to 33 % by 2030. The study analyzes two main types of fuel preparation: coal-water slurry (E-gas and Texaco technologies) and pulverized coal (Shell and MHI technologies). Gasification processes were simulated using the Thermoflow software package based on the average characteristics of coals from the Tigyit and Kalewa deposits. Data on the composition and lower heating value of the synthesis gas were obtained. The simulation results show that among coal-water slurry technologies, the E-gas process provides a higher heating value, while among pulverized coal technologies, the Shell process does. The prospects of using energy technology complexes with extraction of rare earth elements from ash and slag waste in Myanmar are substantiated.

Keywords: coal gasification, water-coal fuel, pulverized coal fuel, synthesis gas, energy technology complexes, low heat of combustion, ash and slag waste, rare earth elements.

Введение

Современная энергетическая стратегия Мьянмы направлена на диверсификацию топливного баланса и повышение энергетической безопасности страны. Значительные запасы угля на территории страны делают его одним из ключевых ресурсов для достижения поставленных целей. Однако прямое сжигание угля сопряжено с серьезными экологическими проблемами: выбросы оксидов серы и азота, образование больших объемов золошлаковых отходов, в которых могут концентрироваться токсичные и редкие элементы. В связи с этим актуальной задачей является разработка и внедрение энерготехнологических комплексов, позволяющих не только эффективно преобразовывать энергию угля, но и извлекать ценные компоненты из отходов, сводя к минимуму воздействие на окружающую среду [5].

Обзор технологий газификации и методика расчета

При прямом сжигании угля возникает значительная угроза загрязнения окружающей среды, которая в первую очередь заключается в наличии отходящих газов и токсичных оксидов серы и азота. А также наличие летучей золы и шлака, это зависит от содержания зольности на рабочую массу от состава исходного топлива. Уже существуют системы очистки уходящих газов, золы и шлака.

В зависимости от способа подачи топлива в реактор, все технологии газификации можно разделить на две группы:

1. Газификация водоугольного топлива (ВУТ): исходный уголь измельчается и смешивается с водой. Этот метод позволяет легко транспортировать топливо в газификатор. В работе рассмотрены технологии E-gas и Texaco.
2. Газификация пылеугольного топлива: уголь размалывается в тонкую пыль и подается в газификатор в сухом виде. В работе рассмотрены технологии Shell и MHI.

Расчет процессов газификации проводился в среде ПК Thermoflow. Эта программа зарекомендовала себя как надежный инструмент для моделирования теплоэнергетических установок и позволяет с высокой точностью определить состав синтез-газа и его теплотворную способность в зависимости от характеристик исходного угля. Для расчетов использовались усредненные характеристики углей, добываемых в Мьянме.

Таблица 1 – Характеристики исходного угля используемого в экспериментальной работе

Название, марка, месторождение угля	Элементарный состав исходного материала, %							Q^p_i, МДж/кг
	C^p	W^p	A^p	S^p	H^p	O^p	N^p	
Тигиит (Tigyit), Б	33.81	18.5	13.28	0.85	16.78	10.49	6.29	21.32
Калева (Kalewa), К	52.5	9.7	8.88	1.2	13.86	8.66	5.2	27.26

Для условий Мьянмы, с учетом необходимости решения экологических проблем, связанных с накоплением отходов, в данной работе предлагается оригинальная конструкция горизонтального газификатора, ориентированного на комплексную переработку угольных ресурсов [5].

Конструктивные особенности и принцип работы

Предлагаемый горизонтальный газификатор включает в себя три технологические зоны (рис. 1).

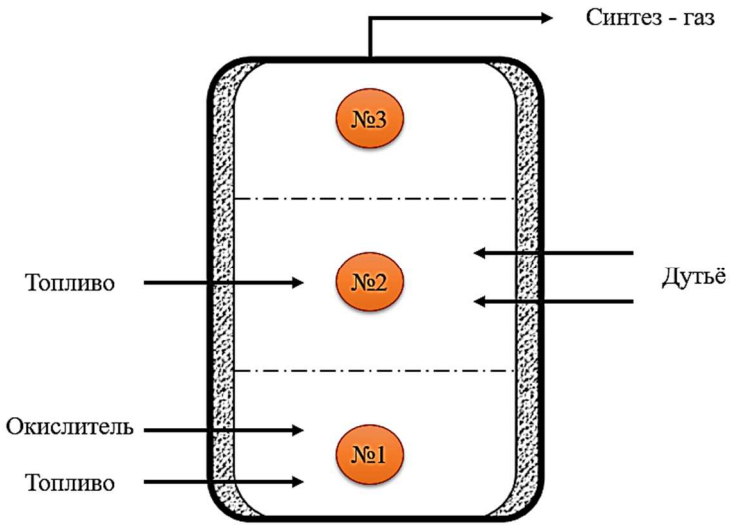

Рисунок 1 – Принципиальная схема горизонтального газификатора:
1 – зона горения концентрата; 2 – зона газификации отходов; 3 – зона пиролиза

1. **Зона горения**: предназначена для сжигания концентрата угля, обогащенного в тяжелых средах. В этой зоне создается высокий температурный потенциал, необходимый для обеспечения эндотермических реакций газификации.

2. **Зона газификации**: служит для термической переработки отходов углеобогащения (хвостов). В этой зоне, за счет тепла из зоны горения, происходит конверсия твердого топлива в горючий синтез-газ.

3. **Зона пиролиза**: здесь завершается термическое разложение органической массы топлива с выделением летучих веществ и образованием твердого углеродистого остатка.

Такое зонирование позволяет эффективно утилизировать как ценный концентрат, так и отходы обогащения, повышая общую эффективность использования ресурсов месторождения [2, 5].

Экологический аспект: извлечение редких и рассеянных элементов

Как показано в работах [2, 4], в составе углей Мьянмы в различных количествах могут присутствовать редкие и рассеянные микроэлементы. При прямом сжигании необогащенных углей эти элементы переходят в золошлаковые отходы, летучую золу и шлак. Их воздействие на окружающую среду и человека носит преимущественно негативный характер. В связи с этим, разработанная схема горизонтального газификатора предусматривает возможность последующего извлечения ценных микроэлементов из золы и шлака, образующихся после газификации. Это превращает отходы углепереработки в техногенное сырье и позволяет реализовать принципы безотходной и экологически чистой энергетики, что особенно важно для экологически чувствительных регионов Мьянмы.

Методология расчета процесса

Зоны газификатора физически и химически взаимосвязаны. В связи с этим, математическая модель процесса должна предполагать отдельные последовательные этапы расчета. Основой для разработки собственного программно-расчетного комплекса послужили классические методы Дешалита, Грумм-Гржимайло, Доброхотова и Чернышева [2, 4]. В созданную модель были введены следующие особенности:

1. Исходный состав газифицируемого топлива вводится в виде элементного состава (C, H, S, O, N, A, W) как для варианта подачи пылевидного топлива, так и для варианта подачи в виде водоугольной суспензии (ВУС).

2. От ввода поправки Дюлонга решено отказаться, а условия распределения топливного кислорода рассматриваются по аналогии с методом Доброхотова.

3. В зоне газификации определяется количество доступного H_2, на основе чего решается уравнение материального баланса. С учетом парциальных давлений перераспределяются компоненты CO_2, CH_4 (CnHm), H_2, CO, H_2O, H_2S, SO_2.

4. Зона пиролиза (или зона сухой газификации) рассчитывается по аналогии с методом Чернышева, с учетом распределения углерода между полукоксовым газом, смолой, полукоксом и пирогенной влагой.

На основании представленных положений был разработан расчетный файл в Excel, а затем подготовлена специализированная программа на языке C#. Данный программный комплекс позволяет моделировать работу горизонтального газификатора для различных типов углей, включая месторождения Мьянмы, и оптимизировать режимы его работы для достижения максимальной эффективности комплексной переработки [5].

Заключение

В результате исследования выполнен анализ эффективности технологий газификации E-gas, Texaco, Shell и MHI для углей Мьянмы с использованием ПК Thermoflow. Установлено, что наибольшую теплоту сгорания синтез-газа обеспечивают процессы E-gas (среди водоугольных) и Shell (среди пылевидных).

Для условий Мьянмы предложена оригинальная конструкция горизонтального газификатора с тремя технологическими зонами (горение, газификация, пиролиз), обеспечивающая комплексную переработку угольных ресурсов. Ключевым преимуществом разработки является возможность извлечения редких и рассеянных микроэлементов из золошлаковых отходов, что минимизирует экологический ущерб и соответствует принципам устойчивого развития. На базе адаптированных классических методов создан программно-расчетный комплекс (Excel, C#) для моделирования процессов. Дальнейшие исследования направлены на экспериментальную валидацию модели и технико-экономическое обоснование внедрения разработок в энергосистему Мьянмы [3, 5].

Список литературы:

1. Ministry of electric power enterprise. Myanmar National Electrification Program (NEP) Roadmap and Investment Prospectus // Final Road Map and Investment Prospectus. – 2014. – 78 p.

2. Аунг Х.Н. Разработка методов повышения эффективности получения экологически чистого топлива на основе переработки твёрдого топлива для условий Мьянмы : дис. … канд. техн. наук. – М. : НИУ «МЭИ», 2023. – 111 с.

3. Development of a system of energy technological processing of coal deposits for energy and other industries / I.A. Burakov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series 1683. – 2020.

4. Батсамбуу Ул. Исследование и выбор схемы парогазовых установок с внутрицикловой газификацией угля для условий Монголии : дис. … канд. техн. наук. – М. : НИУ «МЭИ», 2019. – 205 с.

5. Разработка энерготехнологических заводов и оценка возможности их применения на территории Российской Федерации / И.А. Бураков [и др.] // Новое в российской электроэнергетике. – 2018. – № 12. – С. 34–48.

List of references:

1. Ministry of electric power enterprise. Myanmar National Electrification Program (NEP) Roadmap and Investment Prospectus // Final Road Map and Investment Prospectus. – 2014. – 78 p.

2. Aung H.N. Development of methods for increasing the efficiency of obtaining environmentally friendly fuel based on solid fuel processing for the conditions of Myanmar : dis. … for the degree of Candidate of Technical Sciences. – M. : NRU «MPEI», 2023. – 111 p.

3. Development of a system of energy technological processing of coal deposits for energy and other industries / I.A. Burakov [et al.] // Journal of Physics: Conference Series 1683. – 2020.

4. Batsambuu Ul. Research and selection of combined-cycle plant schemes with in-cycle coal gasification for the conditions of Mongolia : Dis. … for the degree of Candidate of Technical Sciences. – M. : NRU «MPEI», 2019. – 205 p.

5. Burakov I.A. Development of energy technology plants and assessment of the possibility of their application on the territory of the Russian Federation / I.A. Burakov, A.Y. Burakov, I.S. Nikitina, A.A. Dudolin, Aung H.N., Batsambuu Ul., A.A. Markov, A.O. Paramonova, A.M. Khomenkov // New in the Russian electric power industry. – 2018. – № 12. – P. 34–48.