УДК 622.7

ПРОЦЕССЫ БРИКЕТИРОВАНИЕ УГЛЯ

COAL BRIQUETTING PROCESSES

Быковский Егор Анатольевич
аспирант,
Национальный исследовательский университет
«Московский энергетический институт»
BykovskyYA@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

Bykovsky Egor Anatolyevich
Postgraduate Student,
National Research University
«Moscow Power Engineering Institute»
BykovskyYA@mpei.ru

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

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

Аннотация. В статье рассматриваются современные технологии переработки угольной мелочи и отходов угольной промышленности в высокоэнергетические брикеты. Приведен подробный анализ методов прессования с использованием связующих веществ и без них, а также их влияние на механические и эксплуатационные характеристики продукции. Особое внимание уделено экологическим аспектам, включая снижение выбросов токсичных веществ и улучшение энергоэффективности малых и средних энергетических установок.

Ключевые слова: уголь, брикетирование, бездымное топливо, экологическая безопасность, энергия.

Annotation. This article examines modern technologies for processing coal fines and coal industry waste into high-energy briquettes. A detailed analysis of pressing methods with and without binders is provided, as well as their impact on the mechanical and performance characteristics of the products. Particular attention is paid to environmental aspects, including reducing toxic emissions and improving the energy efficiency of small and medium-sized power plants.

Keywords: coal, briquetting, smokeless fuel, environmental safety, energy.

Уголь на протяжении многих десятилетий является одним из основных источников энергии для промышленных и бытовых нужд во всем мире. В России уголь занимает второе место по значимости после природного газа, но при этом играет ключевую роль для металлургической, химической и энергетической промышленности. Несмотря на широкое использование угля, традиционные способы его эксплуатации сопряжены с серьезными экологическими и социальными проблемами. На угольных отвалах и складах накоплены огромные объемы мелкого угля и шламов, которые оказывают отрицательное воздействие на почву и водоемы. При выпадении дождевых осадков или таянии снега токсичные вещества, содержащиеся в угольных отходах, вымываются в грунтовые воды и реки, повышая их кислотность и угрожая водным экосистемам. Воздействие на атмосферу также является серьезной проблемой. Угольная пыль, переносимая ветром, приводит к ухудшению качества воздуха и увеличению числа респираторных заболеваний у местного населения. При сжигании угля выделяются оксиды серы и азота, углекислый газ, летучие органические вещества и полициклические ароматические углеводороды, что создает угрозу для экологии и здоровья человека [1].

Эти факторы определяют необходимость поиска новых подходов к переработке угля. Одним из перспективных направлений является брикетирование угольных отходов, которое позволяет перерабатывать мелкий уголь и шламы в компактные брикеты. Брикеты отличаются повышенной плотностью и теплотворной способностью, стабильной геометрией и улучшенной эксплуатационной стойкостью, что делает их эффективным топливом для малых и средних энергетических установок, а также для коммунально-промышленных котельных. Брикетирование позволяет не только переработать отходы угольной промышленности, но и создать продукт, пригодный для длительного хранения и транспортировки. Применение брикетов снижает выбросы вредных веществ, уменьшает количество золы и шлаков, а также улучшает контроль над процессом сжигания топлива. Для регионов с ограни-

ченными энергетическими ресурсами использование брикетов открывает возможность более рационального использования топлива и увеличения энергетической безопасности [2].

Прессование без добавления связующих является одной из самых простых и экономичных технологий брикетирования угля. Суть метода заключается в том, что угольная мелочь или мелкие частицы подвергаются высокому давлению, обычно в диапазоне 80–100 МПа. Под действием такого давления частицы угля взаимодействуют друг с другом за счет физических свойств и микроструктуры материала: кристаллические решетки частиц внедряются друг в друга, создавая прочную сплошную структуру без использования химических или органических добавок. В практике эта технология известна как «технология белого угля». Главной особенностью данного метода является его минимальная технологическая сложность. Процесс включает: подготовку угольной мелочи, сушку с целью снижения влажности до оптимального уровня, прессование и формирование брикетов заданной формы и размера. Однако метод обладает рядом ограничений. Основным недостатком является низкая механическая прочность готовых брикетов, что требует осторожного обращения при транспортировке и хранении. Также такие брикеты обладают невысокой влагостойкостью: при длительном воздействии атмосферной влаги структура может разрушаться, что снижает эффективность использования таких брикетов. Кроме того, технология подходит преимущественно для пластичных углей и мелких фракций, а твердые крупные угли прессуются менее эффективно. Применение прессования без связующих особенно актуально для малых и средних энергетических установок, где важна экономичность и скорость производства топлива. Метод обеспечивает относительно низкие затраты на оборудование и материалы, однако требует постоянного контроля качества угольной смеси и параметров прессования для обеспечения стабильного качества продукции [3, 4].

Прессование с использованием связующих веществ является более универсальным и технологически сложным методом брикетирования, позволяющим перерабатывать широкий спектр углей, включая каменные, бурые, антрацитовые, а также отходы полукоксования и коксования. Основная идея метода состоит в том, что к угольной мелочи добавляются органические или неорганические связующие, которые повышают механическую прочность брикетов и делают их более устойчивыми к воздействию влаги и перепадов температуры [5]. Органические связующие могут включать древесные опилки, гидролизный лигнин, лигносульфонаты или карбоксиметилцеллюлозу. Неорганические связующие – цемент, известь, глина. Выбор связующего зависит от исходного угля, требуемых характеристик брикетов и условий эксплуатации. Процесс прессования с добавлением связующих обычно проводится при умеренном давлении, в диапазоне 15–50 МПа, что позволяет сформировать более прочные и стабильные брикеты. Метод включает несколько последовательных этапов: подготовку угольной мелочи, дозирование и смешивание с выбранным связующим, увлажнение смеси до оптимальной консистенции, прессование в брикеты заданной формы и последующую сушку. Иногда применяется дополнительное измельчение смеси в дезинтеграторе для улучшения однородности и равномерного распределения связующего по всей массе. Главным преимуществом метода является высокая механическая прочность брикетов, которая обеспечивает длительное хранение, возможность транспортировки без разрушения и стабильное сгорание в котлах или энергетических установках. Кроме того, использование связующих позволяет регулировать влагостойкость, плотность и теплотворную способность брикетов, что делает этот метод более универсальным и технологически гибким [5, 6]. Однако технология имеет и недостатки: более высокая себестоимость производства, энергозатратность и необходимость точного контроля дозировки и качества связующих веществ. Производство требует сложного оборудования для смешивания, прессования и сушки, что увеличивает капитальные и эксплуатационные расходы [7].

Использование угольных брикетов, особенно бездымных, имеет важное значение для снижения воздействия угля на окружающую среду. Основное экологическое преимущество состоит в том, что при производстве и сжигании брикетов значительно снижаются выбросы вредных веществ: углекислого газа (CO_2), оксидов серы (SOx), оксидов азота (NOx) и полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) [8]. Причина заключается в том, что брикеты обладают высокой плотностью и стандартной геометрией, что обеспечивает более равномерное горение, снижение концентрации летучих компонентов и минимизацию образования золы и шлаков. Равномерное сгорание топлива позволяет сократить выбросы частиц недогоревшего угля.

Эксплуатационные характеристики брикетов напрямую зависят от метода их производства и используемых связующих веществ. Ключевые параметры включают:

– механическую прочность, определяющую устойчивость брикетов к
– разрушению при транспортировке и хранении;
– влагостойкость, обеспечивающую сохранение формы и плотности при воздействии атмосферной влаги;
– теплотворную способность, позволяющую получать максимальное количество энергии при сжигании;
– стабильность горения, обеспечивающую равномерное выделение тепла и предотвращение спекания или образования шлаков [2, 7].

При прессовании без связующих механическая прочность и влагостойкость брикетов ниже, что ограничивает их применение в регионах с высокой влажностью или для длительного хранения. В свою очередь, применение органических или неорганических связующих позволяет улучшить все эти характеристики, делая брикеты более универсальными и пригодными для разных климатических условий.

Использование брикетов в малых и средних тепловых электростанциях и распределенных энергетических системах имеет ряд экономических и технических преимуществ. Благодаря стандартной форме и плотности брикеты удобны для автоматизированной подачи топлива в котлы и печи, что снижает трудозатраты на обслуживание оборудования. Меньшие потери топлива при транспортировке и хранении, так как брикеты меньше крошатся и не осыпаются, что увеличивает общую эффективность использования угля. Снижение выбросов загрязняющих веществ позволяет энергетическим предприятиям соответствовать современным экологическим стандартам и нормам. Повышение теплотворной способности брикетов позволяет экономить до 20–30 % топлива по сравнению с обычным бурым углем, что положительно сказывается на себестоимости производства электроэнергии [5, 7]. Кроме того, использование брикетов в малых и средних ТЭС снижает зависимость от крупных угольных шахт и транспортных логистических цепочек, так как для этих установок достаточно меньших объемов топлива. Это особенно актуально для регионов с распределенной энергетикой или удаленных территорий, где поставка обычного угля связана с высокими затратами.

Реализация современных методов брикетирования позволяет создавать топливо, которое выгодно использовать не только в энергетике, но и в коммунально-промышленных котельных, минимизируя расходы на доставку и хранение топлива, а также снижая потери при сжигании [7].

Современные тенденции развития угольной отрасли и энергетики в целом предполагают:

1. Разработку новых эффективных и недорогих связующих веществ, в том числе на основе растительных отходов и переработки биомассы;
2. Оптимизацию технологических процессов прессования для снижения энергозатрат и повышения качества брикетов;
3. Внедрение автоматизированного оборудования и систем контроля параметров производства;
4. Развитие бездымных технологий с минимизацией выбросов вредных веществ [8].

Перспективы также включают: расширение применения брикетов в малых распределенных энергосистемах, снижение углеродного следа и повышение устойчивости энергетической отрасли. Это особенно актуально для регионов с ограниченной инфраструктурой и высоким уровнем загрязнения окружающей среды.

Анализ современных технологий брикетирования угля показывает, что этот процесс позволяет эффективно перерабатывать угольную мелочь и отходы угольной промышленности в высокоэнергетическое топливо. Развитие двух основных методов – прессование без связующих и прессование с использованием органических или неорганических связующих – позволяет создавать брикеты с разными эксплуатационными характеристиками в зависимости от условий применения [2, 7, 8].

Использование прессования без связующих целесообразно для малых и средних энергетических установок, где важны минимальные затраты на производство и отсутствие химических добавок. Однако такие брикеты имеют низкую механическую прочность и чувствительны к воздействию влаги, что требует аккуратного хранения и транспортировки.

Применение связующих веществ позволяет получать более прочные и влагостойкие брикеты, подходящие для длительного хранения и транспортировки, а также для использования в широком спектре угольного сырья. Этот метод особенно эффективен при производстве бездымных брикетов, которые обеспечивают снижение выбросов CO_2, NOx, SOx и ПАУ, повышая экологическую безопасность и энергоэффективность малых и средних ТЭС [3, 5].

Брикетирование угольной мелочи и отходов является эффективной технологией повышения энергетической ценности угля и снижения его воздействия на окружающую среду. Использование брикетов позволяет:

– сократить выбросы вредных веществ;
– повысить механическую прочность и влагостойкость топлива;
– оптимизировать процесс хранения и транспортировки;
– увеличить энергоэффективность малых и средних ТЭС;
– минимизировать потери топлива при сжигании и транспортировке.

Перспективы развития отрасли включают создание новых недорогих и экологических связующих, оптимизацию технологических процессов и внедрение энергоэффективного оборудования. Эти меры позволят расширить использование брикетов, снизить экологическую нагрузку и улучшить экономическую эффективность угольной энергетики, особенно в регионах с распределенной энергетикой или ограниченной инфраструктурой [7, 8].

Список литературы:

1. Яблокова М.А. Современные технологии и оборудование для утилизации мелких нетоварных фракций нефтяного кокса (обзор) / М.А. Яблокова, Е.А. Пономаренко, Н.В. Георгиевский // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института. – 2016. – № 34(60). – С. 67–78.
2. Крохин В.Н. Брикетирование углей. – М. : Недра, 1974. – 216 с.
3. Попов Е.М. Исследование свойств бездымных антрацитовых брикетов, полученных при различных соотношениях штыба и шлама // Безопасность труда в промышленности. – 2015. – № 1. – С. 52–54.
4. Paddy Manning Fading to White: millions for coal technology that goes nowhere // Crikey, October 30. – 2014.
5. Получение топливных брикетов из тонкодисперсных отходов угледобычи и углепераработки / А.В. Папин [и др.] //Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. – 2015. – № 5. – С. 43–49.
6. Попов Е.М. Обоснование и разработка малотоксичного связующего и технологии производства на его основе бездымных угольных брикетов из антрацитовых штыбов : дис. – М. : ИПКОН РАН, 2021.
7. Быковский Е.А. Аналитический обзор способов брикетирования угля и угольной мелочи / Е.А. Быковский, И.А. Бураков // Энергетика: состояние, проблемы, перспективы: материалы XVI Всероссийской научно–технической конференции. – Оренбург : ОГУ. 2025. – С. 49–53.
8. Украинцева П.В. Инновационные пути развития предприятий. Инновации СУЭК // Аспирант. – 2020. – № 4. – С. 177–180.

List of references:

1. Yablokova M.A. Modern technologies and equipment for the utilization of small non-marketable fractions of petroleum coke (review) / M.A. Yablokova, E.A. Ponomarenko, N.V. Georgievskiy // Bulletin of the St. Petersburg State Technological Institute (Technical University). – 2016. – № 34(60). – P. 67–78.
2. Krohin V.N. Coal briquetting. – M. : Nedra, 1974. – 216 p.
3. Popov E.M. Study of the properties of smokeless anthracite briquettes obtained with different ratios of fines and sludge // Occupational Safety in Industry. – 2015. – № 1. – P. 52–54.
4. Paddy Manning Fading to White: Millions for Coal Technology That Goes Nowhere // Crikey, October 30. – 2014.
5. Production of Fuel Briquettes from Finely Dispersed Waste from Coal Mining and Coal Processing / A.V. Papin [et al.] // Physical and Technical Problems of Mineral Development. – 2015. – № 5. – P. 43-49.
6. Popov EM Justification and Development of a Low-Toxicity Binder and a Technology for the Production of Smokeless Coal Briquettes from Anthracite Fines Based on It : Dis. – M. : IPKON RAS, 2021.
7. Bykovsky E.A. Analytical Review of Coal and Coal Fines Briquetting Methods / E.A. Bykovsky, I.A. Burakov // Energy: Status, Problems, Prospects: Proceedings of the XVI All-Russian Scientific and Technical Conference. – Orenburg : OSU, 2025. – P. 49–53.
8. Ukraintseva P.V. Innovative Paths of Enterprise Development. SUEK Innovations // Postgraduate Student. – 2020. – № 4. – P. 177–180.