Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

УДК 662.741:662.71
AGRIS P33
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132/17

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЯ, ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ ИЗ КАМЕННОУГОЛЬНОЙ МЕЛОЧИ И БИОМАССЫ

*©**Осекова Г. А**., ORCID: 0009-0003-7847-0002, SPIN-код: 5555-2769, Ошский технологический университет им. М. М. Адышева, г. Ош, Кыргызстан, Gul_532@mail.ru*
*©**Сабиров Б. З**., ORCID: 0009-0000-8204-9235, SPIN-код: 2334-8963, канд. техн. наук, Институт природных ресурсов им. А. С. Джаманбаева, г. Ош, Кыргызстан, batir73@mail.ru*
*©**Токторбаева Г. П**., SPIN-код: 1597-8794, Ошский государственный университет; Инновационный колледж STEM, г. Ош, Кыргызстан, gtoktorbaeva89@gmail.com*
*©**Аманбай кызы А**., ORCID: 0009-0004-0371-9835, Ошский государственный университет; Инновационный колледж STEM, г. Ош, Кыргызстан, Achila1211@mail.ru*

COMPARATIVE ANALYSIS OF STRUCTURE FORMATION, PHYSICOMECHANICAL, AND THERMOPHYSICAL PROPERTIES OF FUEL BRIQUETTES MADE FROM COAL FINES AND BIOMASS

*©**Osekova G**., ORCID: 0009-0003-7847-0002, SPIN code: 5555-2769, Osh Technological University named after M. Adyshev, Osh, Kyrgyzstan, Gul_532@mail.ru*
*©**Sabirov B**., ORCID: 0009-0000-8204-9235, SPIN-code: 2334-8963, Institute of Natural Resources named after A. S. Dzamanbaev, Osh, Kyrgyzstan, batir73@mail.ru*
*©**Toktorbaeva G**., SPIN-code: 1597-8794, Osh State University; STEM Innovation College, Osh, Kyrgyzstan, gtoktorbaeva89@gmail.com*
*©**Amanbai kyzy A**., ORCID: 0009-0004-0371-9835, Osh State University; STEM Innovation College, Osh, Kyrgyzstan, Achila1211@mail.ru*

Аннотация. Проведен сравнительный анализ технологических параметров, физико-механических, энергетических и микроструктурных характеристик, а также областей применения двух принципиально различных типов твердого брикетированного топлива — брикетов из коксовой мелочи со связующим на основе пека каменноугольной смолы (минеральное происхождение) и брикетов из пиролизованного угля скорлупы грецкого ореха (органическая биомасса). Установлено, что брикеты из коксовой мелочи превосходят аналоги из биомассы по прессуемости и механической прочности на сжатие (9,85 МПа против 4,35 МПа) в 2,3 раза. В то же время биомассовые брикеты обладают преимуществом по экологической чистоте, практически полному отсутствию серы и применению экологически безопасного связующего компонента пищевого качества. Результаты многокритериальной оценки представлены в виде комплексного анализа параметров.

Abstract. This study presents a comparative analysis of the technological, physicomechanical, energy, and microstructural parameters, as well as the application areas, of two fundamentally different types of solid briquetted fuel: coke breeze briquettes bound with coal tar pitch (mineral origin) and pyrolyzed walnut shell charcoal briquettes (organic biomass). It was established that coke breeze briquettes outperform their biomass counterparts by 2.3 times in terms of compressibility and mechanical compressive strength (9.85 MPa vs. 4.35 MPa). At the same time, biomass briquettes offer distinct advantages in environmental friendliness, featuring virtually zero sulfur content and the use of an environmentally safe, food-grade binding agent. The results of the multi-criteria assessment are presented as a comprehensive analysis of these parameters.

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

Ключевые слова: топливные брикеты, коксовая мелочь, каменноугольный пек, скорлупа грецкого ореха, пиролиз, карбонизация, связующее вещество, механическая прочность, сканирующая электронная микроскопия.

Keywords: fuel briquettes, coke breeze, coal tar pitch, walnut shells, pyrolysis, carbonization, binder, mechanical strength, scanning electron microscopy.

Современные технологии производства твердотопливных брикетов дифференцируются на два основных направления в зависимости от природы исходного сырья. Для энергетического комплекса Кыргызской Республики актуальны оба вектора: с одной стороны, технологии получения брикетов и композитов, с другой — многотоннажные отходы скорлупы грецкого ореха, требующие эффективной научно обоснованной утилизации [1-3].

Цель работы — проведение системного сравнительного анализа двух разработанных технологических схем брикетирования (на основе коксовой мелочи с пековым связующим и пиролизованной скорлупы грецкого ореха) по критериям технологичности, физико-механической прочности, энергетической ценности и пространственно-пористой структуры.

Технологические цепочки получения обоих видов топлива включают три базовые стадии: термическую подготовку сырья (пиролиз или карбонизацию), смешение с целевым связующим компонентом и последующее прессование с термообработкой. Параметры процессов существенно различаются (Таблица 1, Рисунок 1).

Таблица 1

СРАВНИТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПОЛУЧЕНИЯ ТОПЛИВНЫХ БРИКЕТОВ

Технологический показатель	*Брикет из коксовой мелочи + пека*	*Брикет из угля скорлупы ореха*
Происхождение сырья	Минеральное (коксовая мелочь 0–6мм)	Органическое / биомасса (скорлупа ореха)
Режим термической подготовки	Полукоксование угля (550–600°C)	Карбонизация биомассы (480–520°C)
Связующее	Пек + фенолформальдегидная смола (ФФС)	Крахмал / патока (пищевого качества)
Оптимальная доля связующего, % масс.	27,3	10,0
Удельное давление прессования, МПа	28,0–35,0	15,0–22,0
Геометрическая форма изделия	Цилиндр (D≈46мм, H≈32мм)	Подушкообразная / кубическая

Технология получения минеральных брикетов базируется на высокотемпературном (550–600 °C) полукоксовании и требует применения нефтехимических или коксохимических связующих (пека, фенолформальдегидной смолы) [2, 8].

Напротив, схема переработки биомассы основана на прямой карбонизации растительной матрицы с использованием экологически безопасных связующих пищевого класса (крахмала, патоки) [4].

Различие технологических процессов напрямую влияет и на внешний вид готового продукта: каждый брикет производится в форме, адаптированной под цель применения (Рисунок 2).

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

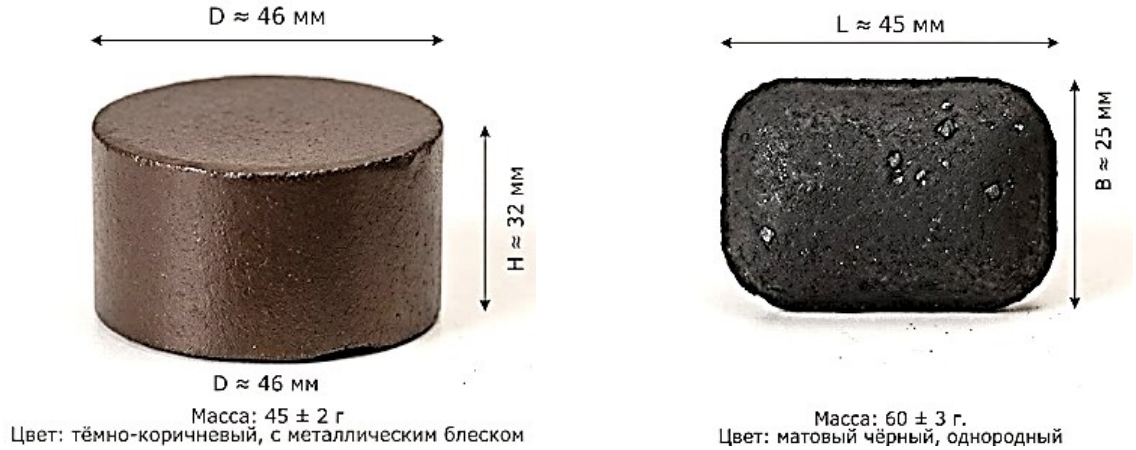
Кокосовая мелочь + пек (вход)	Дозирование / смешивание	Гомогенизация 90-110^{0}C	Прессование 28-35 МПа	Сушка/ термоупрочнение	Готовый брикет (промышленное топливо)

А) Технология получения брикетов из кокосовой мелочи и пека каменноугольной смолы

Скорлупа ореха	Сушка W≤ 12%	Карболизация (пиролиз) 480-520^{0}C	Измельчение + крахмал (10%)	Прессование 15-22 МПа	Готовый брикет (пищевое топливо)

Б) Технология получения брикетов из пиролизного угля скорлупы грецкого ореха

Рисунок 1. Параллельная схема двух технологических процессов



а б

Рисунок 2. Схематическое сравнение внешнего вида двух видов брикетов: а) брикет из кокосовой мелочи и пека (цилиндрическая фоорма, промышленное топливо, б) брикет из угля скорлупы ореха (форма «подушки», уголь для шиша/гриля)

Сводные лабораторные показатели качества разработанных топливных брикетов приведены в Таблице 2.

Таблица 2

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Наименование показателя	*Брикет «кокс + пек»*	*Брикет из скорлупы ореха*
Предел прочности на одноосное сжатие, МПа	9,85	4,35
Высшая теплота сгорания, МДж/кг	29,6–30,1	29,0–29,6
Зольность на сухое состояние (Ad), %	7,9–8,2	2,6–3,1
Рабочая влажность (Wr), %	2,8–3,2	3,5–4,5
Массовая доля общей серы (Std), %	0,35–0,45	Следовые количества (<0,02)
Дымовыделение и запах при горении	Заметные (промышленная зона)	Отсутствуют (пищевой сектор)
Средняя масса единицы изделия, г	45 ± 2	60 ± 3
Расчетная себестоимость, сом/кг	34,5	28,4

Минеральные брикеты превосходят биомассовые по механической прочности на сжатие в 2,3 раза (9,85 МПа против 4,35 МПа) (Рисунок 3). Это обусловлено тем, что пекосмоляная

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

связующая система проявляет термореактивные свойства и формирует жесткий углеродный каркас при термоупрочнении [4].

Кроме того, давление прессования минеральной шихты (28–35 МПа) существенно выше давления прессования биомассы (15–22 МПа). Вместе с тем показатель прочности биомассовых брикетов (4,35 МПа) с запасом перекрывает нормативные требования ГОСТ 33502-2015 к кусковому угольному топливу (≥2.5 МПа) [5, 6].

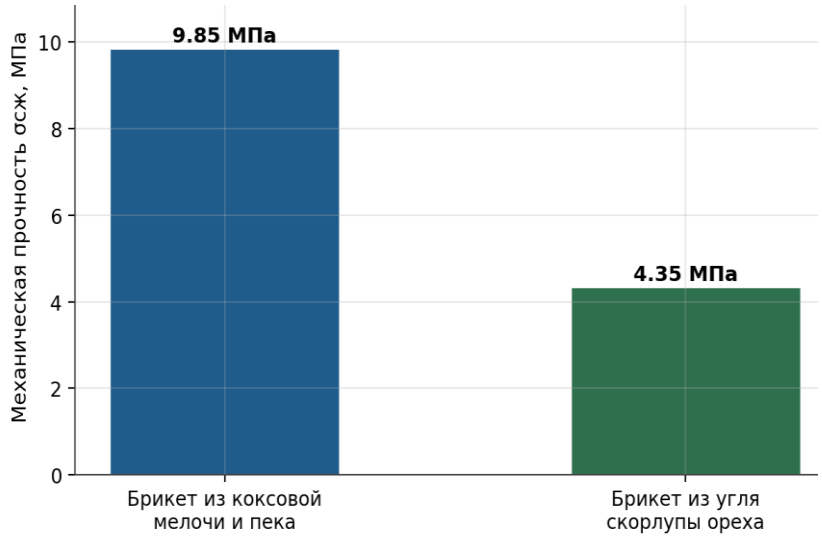


Рисунок 3. Сравнение механической прочности двух видов брикетов

Высшая теплота сгорания обоих материалов [8, 9]. сопоставима и находится в узком интервале 29,0–30,1 МДж/кг (расхождение не превышает 1%) (Рисунок 4). Однако по показателю зольности органогенные брикеты из скорлупы ореха (2,6–3,1%) превосходят коксовые (7,9–8,2%) в 2,6–3,0 раза, что объясняется незначительным содержанием минеральных компонентов (SiO_2, Al_2O_3) в исходной растительной ткани.

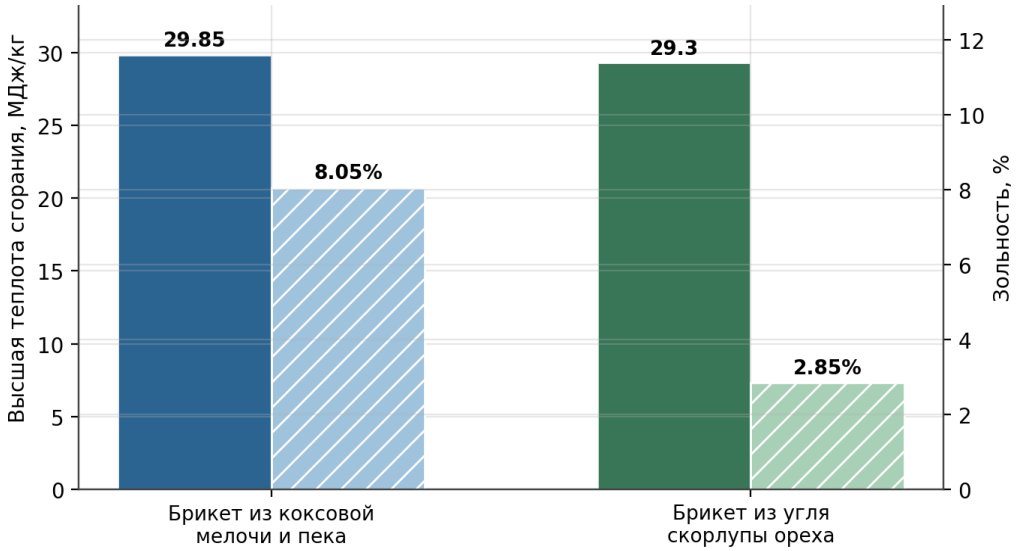


Рисунок 4. Сравнение теплоты сгорания и зольности

Данные микроструктурного анализа методом сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) позволили установить качественные различия в морфологии порового пространства материалов (Рисунок 5, Таблица 3). Для более глубокого понимания внутренней структуры

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

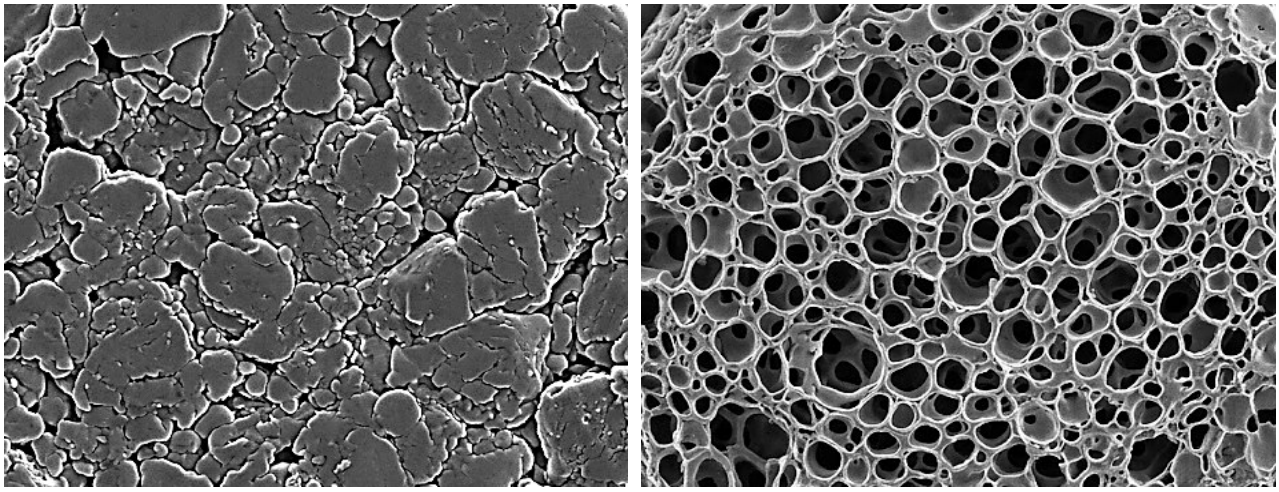
Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

обоих брикетов был проведён микроструктурный (схематический, в стиле сканирующей электронной микроскопии — СЭМ) анализ. На Рисунке 6 сравнивается расположение частиц, их форма и характер пор обоих брикетов.

Таблица 3

ПАРАМЕТРЫ МИКРОСТРУКТУРЫ И ПОРИСТОСТИ ОБРАЗЦОВ

Микроструктурный параметр	*Брикет «кокс + пек»*	*Брикет из скорлупы ореха*
Общая пористость, %	≈ 9,0	≈38,5
Средний эквивалентный диаметр пор, мкм	22,0 (15,0–29,0)	15,0 (8,0–25,0)
Морфологический тип пор	Изолированные (замкнутые) поры	Взаимосвязанные (открытые) каналы
Характер межчастичных контактов	Сплошная пековая пленка	Точечные крахмальные мостики
Генезис пористой структуры	Минерально-аморфный кокс	Сохранившаяся клеточная стенка растительной ткани



а б

Рисунок 6. Схематическое (в стиле СЭМ) сравнение микроструктуры двух брикетов (а. брикет из кокосовой мелочи и пека (плотная, малопористая структура), б) брикет из скорлупы ореха (природная клеточная пористая структура)

Общая пористость биомассовых брикетов (38,5%) превышает аналогичный показатель коксовых брикетов (9,0%) более чем в 4 раза. Развитая сеть открытых каналов в биомассе обеспечивает эффективную диффузию кислорода в зону реакции, что гарантирует быстрое воспламенение и устойчивое кинетическое горение. Плотная закрытая структура коксового брикета обеспечивает длительный гетерогенный режим горения, оптимальный для слоевых топок. По шести критериям (прочность, теплота сгорания, чистота/низкая зольность, экологичность, пригодность для пищи, низкая себестоимость) была проведена экспертная оценка по 0–10-балльной шкале, результаты отражены на радар-диаграмме (Рисунок 7). Как видно из диаграммы, брикет кокс+пек обладает явным преимуществом по критерию прочности, тогда как ореховый угольный брикет превосходит по четырём из оставшихся пяти критериев (чистота, экологичность, пригодность для пищи, низкая себестоимость). По теплоте сгорания оба брикета показывают почти равные значения. Это подтверждает, что каждый из двух продуктов конкурентоспособен в своей области применения — они не являются взаимозаменяемыми, а должны рассматриваться как взаимодополняющие продукты.

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

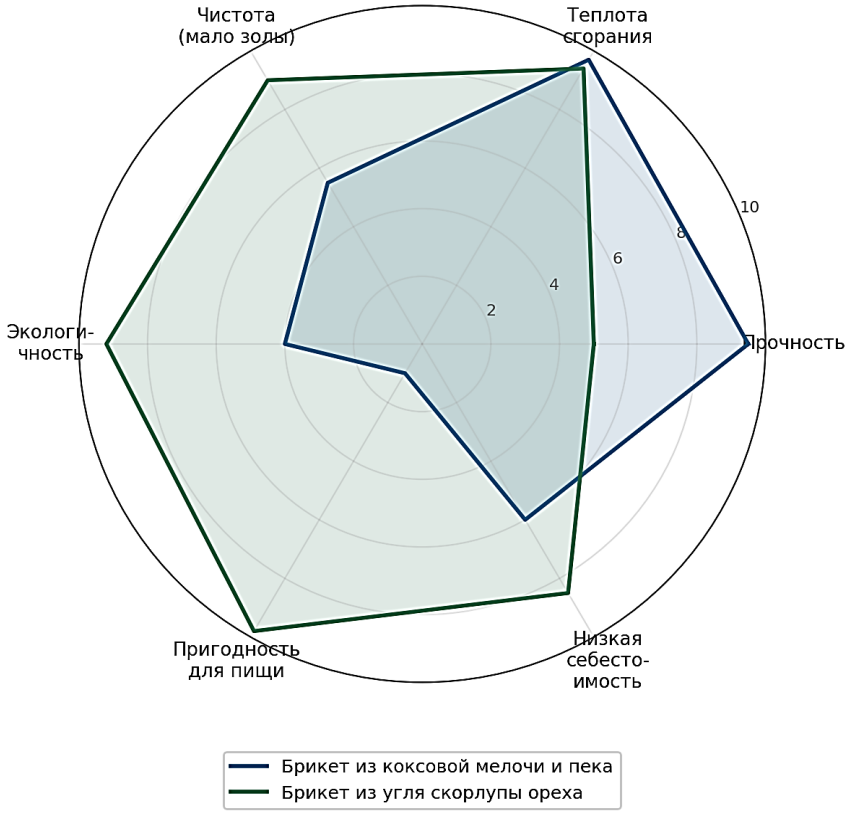


Рисунок 7. Комплексное (многокритериальное) сравнение двух брикетов

На основе полученных экспериментальных данных определены рекомендуемые области практического применения обоих типов топлива (Таблица 4).

Таблица 4

РЕКОМЕНДУЕМЫЕ ОБЛАСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Область практического использования	*Брикет «кокс + пек»*	*Брикет из скорлупы ореха*
Промышленная энергетика и металлургия	Основное целевое назначение	Не рекомендуется
Коммунально-бытовое отопление	Высокая эффективность	Ограниченно (экономически нецелесообразно)
Приготовление пищи (гриль, пищевые производства)	Неприменимо (токсичность отходящих газов)	Основное целевое назначение
Экспортный потенциал	Промышленный сегмент (средний)	Экологический премиум-сегмент (высокий)

Заключение

Сравнительный анализ показал фундаментальные различия в процессах структурообразования: минеральные брикеты формируют монолитную малопористую матрицу (пористость ≈ 9,0%), тогда как биомассовые брикеты сохраняют естественную капиллярно-пористую анатомическую структуру сырья (пористость ≈ 38,5%). Брикеты на основе коксовой мелочи обладают высокой механической прочностью на сжатие (9,85 МПа), что определяет их приоритетное использование в промышленном секторе. Брикеты из скорлупы грецкого ореха характеризуются низкой зольностью (2,6–3,1%), отсутствием

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

Т. 12. №11 2026
https://doi.org/10.33619/2414-2948/132

токсичных примесей серы и высокой удельной теплотой сгорания (29,3 МДж/кг), что делает их экологически чистым топливом для бытового применения и пищевой отрасли.

Оба типа продуктов являются взаимно дополняющими: их параллельное освоение позволит комплексно вовлечь в топливно-энергетический баланс Кыргызской Республики как техногенные отходы угледобычи, так и возобновляемые ресурсы биомассы.

Список литературы:

1. Сабиров Б. З., Ташполотов Ы. Технология получения композиционного твердого топлива из углей Кызыл-Булакского и Кожо-Келенского месторождений и нагретого битума // Бюллетень науки и практики. 2024. Т. 10. №2. С. 388-396. https://doi.org/10.33619/2414-2948/99/37

2. Жумалиев К. М., Алымкулов С. А., Асанов А. А., Сарымсаков Ш. С. Исследование и разработка технологии производства угольных брикетов для промышленных и коммунально-бытовых нужд. Бишкек: Макспринт, 2012. 254 с.

3. Камбарова Г. Б., Сарымсаков Ш. Получение активированного угля из скорлупы грецкого ореха // Химия твердого топлива. 2008. №3. С. 42-46. https://doi.org/10.3103/S0361521908030129

4. Макаров Г. Н., Харлампович Г. Д. Химическая технология твердых горючих ископаемых. М.: Химия, 1986. 496 с.

5. Antal M. J., Grønli M. The art, science, and technology of charcoal production // Industrial & engineering chemistry research. 2003. V. 42. №8. P. 1619-1640. https://doi.org/10.1021/ie0207919

6. ГОСТ 21289-2018. Брикеты угольные. Метод определения механической прочности. М.: Стандартинформ, 2006. 6 с.

7. ГОСТ 33502-2015. Древесный уголь. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2016. 12 с.

8. ГОСТ 147-2013. Топливо твердое минеральное. Методы определения высшей теплоты сгорания. М.: Стандартинформ, 2014. 28 с.

9. Van Krevelen D. W. Coal: Typology-physics-chemistry-constitution. 1993.

References:

1. Sabirov, B., & Tashpolotov, Y. (2024). Technology for Producing Composite Solid Fuel From Coals of Kyzyl-Bulak and Kozho-Kelen Deposits and Heated Bitumen. *Bulletin of Science and Practice, 10*(2), 388-396. (in Russian). https://doi.org/10.33619/2414-2948/99/37

2. Zhumaliev, K. M., Alymkulov, S. A., Asanov, A. A., & Sarymsakov, Sh. S. (2012). Issledovanie i razrabotka tekhnologii proizvodstva ugol'nykh briketov dlya promyshlennykh i kommunal'no-bytovykh nuzhd. Bishkek. (in Russian).

3. Kambarova, G. B., & Sarymsakov, Sh. (2008). Poluchenie aktivirovannogo uglya iz skorlupy gretskogo orekha. *Khimiya tverdogo topliva,* (3), 42-46. (in Russian). https://doi.org/10.3103/S0361521908030129

4. Makarov, G. N., & Kharlampovich, G. D. (1986). Khimicheskaya tekhnologiya tverdykh goryuchikh iskopaemykh. Moscow. (in Russian).

5. Antal, M. J., & Grønli, M. (2003). The art, science, and technology of charcoal production. *Industrial & engineering chemistry research*, *42*(8), 1619-1640. https://doi.org/10.1021/ie0207919

6. GOST 21289-2018 (2006). Brikety ugol'nye. Metod opredeleniya mekhanicheskoi prochnosti. Moscow. (in Russian).

7. GOST 33502-2015 (2016). Drevesnyi ugol'. Tekhnicheskie usloviya. Moscow. (in Russian).

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)

8. GOST 147-2013 (2014). Toplivo tverdoe mineral'noe. Metody opredeleniya vysshei teploty sgoraniya. Moscow. (in Russian).
9. Van Krevelen, D. W. (1993). Coal: Typology-physics-chemistry-constitution.

Поступила в редакцию
09.09.2026 г.

Принята к публикации
16.09.2026 г.

Ссылка для цитирования:
Осекова Г. А., Сабиров Б. З., Токторбаева Г. П., Аманбай кызы А. Сравнительный анализ структурообразования, физико-механических и теплофизических свойств топливных брикетов из каменноугольной мелочи и биомассы // Бюллетень науки и практики. 2026. Т. 12. №11. С. 149-156. https://doi.org/10.33619/2414-2948/132/17

Cite as (APA):
Osekova, G., Sabirov, B., Toktorbaeva, G., & Amanbai kyzy, A. (2026). Comparative Analysis of Structure Formation, Physicomechanical, and Thermophysical Properties of Fuel Briquettes Made from Coal Fines and Biomass. *Bulletin of Science and Practice, 12*(11), 149-156. (in Russian). https://doi.org/10.33619/2414-2948/132/17

Тип лицензии CC: Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)