

УДК 662.8

DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.137.61>

ОБҐРУНТУВАННЯ МОЖЛИВОСТІ ВИГОТОВЛЕННЯ ПАЛИВНИХ БРИКЕТІВ СФЕРИЧНОЇ ФОРМИ З КАВОВОЇ ГУЩІ

Медведєва О.В. – к.б.н., доцент,

завідувач кафедри екології, охорони навколишнього середовища та здорового способу життя

Центральноукраїнський національний технічний університет

Ковальов М.М. – к.с.-г.н., доцент,

керівник наукової лабораторії промислового ґрибівництва та технологій захисту культивованих ґрибів, керівник наукової лабораторії гідропонного вирощування овочів в купольній теплиці, доцент кафедри загального землеробства,

Центральноукраїнський національний технічний університет

Мірзак В.Я. – к.т.н., доцент,

доцент кафедри машинобудування, мехатроніки і робототехніки,

Центральноукраїнський національний технічний університет

Дубина А.О. – к.б.н., доцент,

доцент кафедри екології, охорони навколишнього середовища та здорового способу життя,

Центральноукраїнський національний технічний університет

В статті експериментально досліджено та обґрунтовано особливості виготовлення паливних брикетів з кавових відходів та використання в якості сполучного компоненту листя, тииси листяних порід та соняшникового лушпиння. Однією з головних проблем сучасного виробництва є проблема відходів. В той же час тверді комунальні відходи – це проблема, яку ми можемо перетворити в джерело додаткового доходу.

В останні роки увага до використання біомаси як відновлюваного джерела енергії зростає, особливо у контексті паливної промисловості. Кавова гуща, яка є відходом кави, володіє значним потенціалом як сировина для виготовлення паливних брикетів. Цей дослід розглядає можливість виготовлення паливних брикетів сферичної форми з кавової гущі та обґрунтовує їх ефективність у порівнянні з традиційними формами брикетів.

В проведеному нами дослідженні відпрацьовані кавові відходи використовувалися як основний компонент для виготовлення паливних брикетів. Кавова гуща піддається процесу сушіння та механічного пресування з метою формування брикетів сферичної форми. Використовуються різні технологічні параметри, такі як тиск пресування, температура і час пресування, для досягнення оптимальних характеристик брикетів.

Отримані паливні брикети сферичної форми з кавової гущі демонструють високу калорійність і стабільність під час горіння. Вони володіють ефективними горючими властивостями і мають менший вміст золи порівняно з традиційними брикетами. Брикети з кавової гущі також відрізняються низьким вмістом вологи та забруднюючих речовин, що робить їх більш екологічно чистими.

Результати дослідження показують, що виготовлення паливних брикетів сферичної форми з кавової гущі є перспективним напрямком при використанні біомаси у паливній промисловості. Ці брикети можуть знаходити широке застосування як у побутових опалювальних системах, так і у промислових установках, сприяючи зниженню викидів та зменшенню залежності від традиційних паливних ресурсів.

Розроблені технології виготовлення паливних брикетів з кавової гущі можуть бути впроваджені у виробництво з метою створення нових продуктів на ринку паливних матеріалів. Це сприятиме використанню відходів харчової промисловості і зменшенню негативного впливу на навколишнє середовище.

Ключові слова: паливні брикети, кавова гуща, сферична форма, біомаса, енергетична ефективність, екологічність.

Medvedieva O.V., Kovalov M.M., Mirzak V.Ya., Dubyna A.O. Justification of the possibility of manufacturing spherical fuel briquettes from coffee grounds

The article experimentally investigates and substantiates the peculiarities of the production of fuel briquettes from coffee waste and the use of leaves, hardwood sawdust and sunflower husks as a binding component. One of the main problems of modern production is the problem of waste. At the same time, municipal solid waste is a problem that we can turn into a source of additional income.

In recent years, attention to the use of biomass as a renewable energy source has increased, especially in the context of the fuel industry. Coffee grounds, which are coffee waste, have significant potential as a raw material for the production of fuel briquettes. This research examines the possibility of manufacturing fuel briquettes of spherical shape from coffee grounds and substantiates their effectiveness in comparison with traditional forms of briquettes.

In our research, spent coffee waste was used as the main component for the production of fuel briquettes. The coffee grounds are subjected to the process of drying and mechanical pressing in order to form briquettes of a spherical shape. Various technological parameters, such as pressing pressure, temperature and pressing time, are used to achieve optimal characteristics of the briquettes.

The resulting spherical fuel briquettes from coffee grounds demonstrate high calorific value and stability during combustion. They have effective burning properties and have a lower ash content compared to traditional briquettes. Briquettes made of coffee grounds also have a low content of moisture and pollutants, which makes them more environmentally friendly. The results of the study show that the production of spherical fuel briquettes from coffee grounds is a promising direction in the use of biomass in the fuel industry. These briquettes can be widely used both in domestic heating systems and in industrial installations, helping to reduce emissions and reduce dependence on traditional fuel resources.

The developed technologies for the production of fuel briquettes from coffee grounds can be introduced into production in order to create new products on the market of fuel materials. This will contribute to the use of food industry waste and reduce the negative impact on the environment.

Key words: *fuel briquettes, coffee grounds, spherical shape, biomass, energy efficiency, environmental friendliness.*

Постановка проблеми. У сучасному світі, де зростає увага до екологічних проблем та енергоефективних технологій, використання відновлюваних джерел енергії стає все більш актуальним завданням. Одним із потенційних джерел є кавова гуща, яка залишається після приготування напою та зазвичай утилізується як біо-відходи [1, с. 81].

Кавова гуща є біо-ресурсом, що може бути використаний для виробництва біопаливних брикетів. Використання її у вигляді брикетів дозволяє зменшити кількість відходів, що піддаються утилізації, та знизити вуглецевий слід внаслідок спалювання. Брикети з кавової гущі мають високу теплотворність і можуть бути використані для обігріву приміщень та готування їжі. Це сприяє раціональному використанню ресурсів та зменшенню використання традиційних енергетичних джерел.

Процес виготовлення брикетів з кавової гущі вимагає розробки та оптимізації технологій пресування і висушування. Це відкриває можливості для впровадження новітніх технологій у виробництві біопалив та покращення енергетичної ефективності [2, с. 3].

Використання кавової гущі для виробництва брикетів може стати економічно вигідним проектом через зменшення витрат на вивезення відходів та можливість продажу біопалива для кінцевих споживачів. Стимулювання використання відновлюваних джерел енергії сприяє зниженню залежності від імпортованих енергетичних ресурсів та сприяє створенню нових робочих місць у секторі відновлюваної енергетики [3, с. 45].

Узагальнюючи, стаття про обґрунтування можливості виготовлення паливних брикетів сферичної форми з кавової гущі є актуальною в контексті здійснення переходу до сталого розвитку та забезпечення енергетичної безпеки за рахунок використання відновлюваних джерел енергії.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Кавова гуща, отримана внаслідок обпалення кавових зерен, є значним джерелом органічних відходів у кавовій промисловості. В останні роки виникла ініціатива використовувати кавову гущу для виготовлення паливних брикетів як екологічно чистого та ефективного альтернативного джерела енергії. Ця стаття розглядає актуальні дослідження та публікації з цієї теми для обґрунтування можливості використання кавової гущі у виробництві паливних брикетів [4, с. 371].

Кавова гуща містить значну кількість вуглецю, який може бути використаний для виробництва брикетів. Вміст вологи та калорійна цінність кавової гущі можуть варіюватись залежно від методів обпалення та обробки, що робить її привабливою для конверсії в енергію.

Останні дослідження показують, що використання кавової гущі в паливних брикетах вимагає оптимізації технологічних процесів. Наприклад, для підвищення якості брикетів і зниження викидів, можуть застосовуватись методи компресування та додавання біндерів, що дозволяє досягти стабільної горіння та ефективного використання енергії [5, с. 13].

Переваги використання кавової гущі у вигляді паливних брикетів включають зменшення викидів парникових газів порівняно з традиційними вугільними брикетами, а також використання відходів кави у корисних цілях. Дослідження показують, що виробництво паливних брикетів з кавової гущі може бути економічно вигідним завдяки доступності сировини та попиту на екологічно чисте паливо [6, с. 31].

Використання кавової гущі в якості одного з компонентів для виготовлення паливних брикетів є перспективним напрямком, що вимагає подальших досліджень і оптимізації технологічних процесів. Недостатня кількість публікацій та досліджень в даній галузі лише підтверджують перспективність даного напрямку, підкріплюючи необхідність подальших наукових досліджень у цій області.

Постановка завдання. На відміну від паливних брикетів, виготовлених з деревини, в яких міститься лігнін та смоли, для виготовлення паливних брикетів з відпрацьованої кавової суміші необхідно застосовувати сполучні компоненти. При цьому необхідно враховувати, що сполучні речовини, що використовуються, не повинні знижувати якість палива. В якості сполучних компонентів використовувалися листя горіху, тирса листяних порід дерев, лушпиння соняшнику внаслідок їхньої доступності.

Метою дослідження є підвищення якості горіння сферичних кавових брикетів, зокрема в початковій фазі, шляхом оптимізації компонентів суміші.

Для проведення експериментальних досліджень сполучних компонентів в паливних сферичних брикетах, виготовлених з відходів, були приготовлені 5 зразків сферичної форми діаметром 5 см. Брикети були виготовлені шляхом перемішування складових компонентів, потім отримана маса укладена у спеціально підготовлену форму. Під час пресування брикетів було застосоване зусилля 45 тонн (450 кН).

Схема досліджу:

зразок 1: кава – 10 %, листя – 50 %, тирса – 20 %, лушпиння соняшнику – 20 %;
зразок 2: кава – 20 %, листя – 50 %, тирса – 20 %, лушпиння соняшнику – 10 %;

зразок 3: листя – 50 %, тирса – 25 %, лушпиння соняшнику – 25 %;
зразок 4: паливний брикет – Pini Kay (контроль 1);
зразок 5: брус з сосни (контроль 2);
зразок 6: кава – 54 %, листя – 46 %;
зразок 7: кава – 18 %, листя – 82 %.

Для випробування сферичних брикетів на міцність було створено прилад на базі настільного свердлувального верстата [7, с. 65].

Для визначення показників стирання, механічної міцності і щільності використовували загальноприйняті методи [8, 9]. Статистична обробка отриманих даних проводилася за методикою дисперсійного аналізу [10, с. 51].

Виклад основного матеріалу дослідження. Процес горіння відбувався у саморобній печі з цегли, обгорнутою фольгою. Піч була розділена на сім відділень. У кожне відділення розклали тонкі брусочки з дерева вагою по 150 г для створення початкової температури горіння. Брусочки в усіх відділеннях підпалили одночасно. Після повного розгорання в кожне відділення одночасно помістили експериментальні суміші.

Лімітуючим фактором, що ускладнюють використання в енергетиці будь яких органічних паливних матеріалів, є висока вологість, низька енергетична щільність та теплота згорання, а також неоднорідний гранулометричний склад. Для сферичних кавових паливних брикетів вологість робочої суміші (W_r) коливалася в межах від 5 до 8 % (див рис. 1).

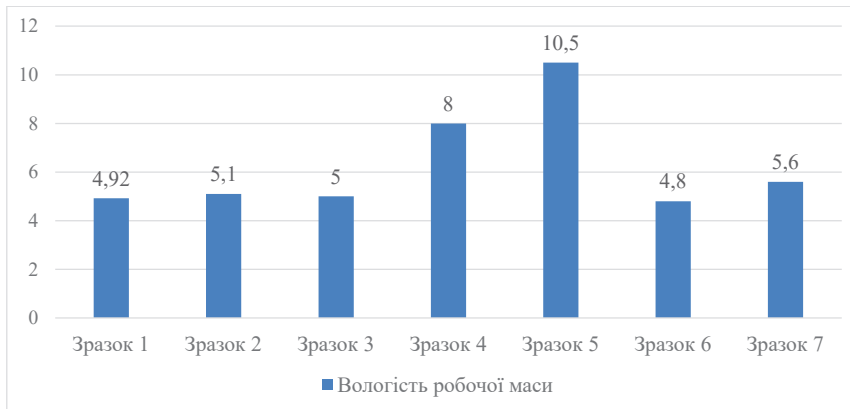


Рис. 1. Вологість робочої суміші дослідних зразків

Вологість паливних брикетів при їх спалювання є значущим фактором. Одним з найважливіших факторів на який безпосередньо впливає вологість є ефективність спалювання: Підвищена вологість в паливних брикетах знижує їхню температуру горіння. Це зменшує ефективність спалювання і може призводити до утворення більше диму та сажі [11, с. 3].

Не менш важливим показником є чистота горіння. Вологість сприяє утворенню диму та сажі через неповне згорання. Чим більше вологість, тим більше шансів на низьку температуру горіння і неповне згорання палива. Також підвищений вміст води впливає на час горіння: Вологість може значно збільшити час, протягом якого паливні брикети згорають. Це пов'язано з тим, що спочатку паливо

має випаровувати вологу, а потім вже починає згорати. Найменші значення вологості мали зразки 1–3, 7 та 8, значення яких наблизилися до показника вологості паливного брикету Pini Kay (контроль 1). Найбільше значення даного показника мав зразок 5 – сосновий брус – 10,5 % (контроль 2).

Всі вище перераховані показники складають економічність: Паливні брикети з високим вмістом води менше ефективні, оскільки більше енергії йде на випаровування води, ніж на саме спалювання, що зменшує їхню енергетичну ефективність [12, с. 4; 13, с. 21].

Отже, для досягнення кращих результатів під час спалювання паливних брикетів важливо, щоб вони мали низький вміст води. Це забезпечить ефективне і чисте горіння, підвищить тепловий вихід і знизить викиди диму та сажі.

Інші параметри, такі як час нагріву, швидкість нагріву та тип матеріалу, повинні бути постійними, щоб продемонструвати вплив температури. У таблиці 1 представлено вплив температури на продуктивність і якість паливних брикетів.

Температура впливає на якість і продуктивність паливних брикетів під час спалювання наступним чином: 1) температура горіння: Висока температура сприяє більш повному згоранню палива. Чим вища температура горіння, тим ефективніше відбувається окиснення палива до CO_2 і води, що мінімізує утворення неповного згорання, такого як сажа і монооксид вуглецю (CO); 2) тепловий вихід: Висока температура горіння також означає більший тепловий вихід від паливних брикетів. Це важливо для забезпечення ефективного опалення або використання палива у виробництві; 3) енергетична ефективність: Висока температура горіння збільшує енергетичну ефективність палива. Це означає, що більше енергії, яка міститься в паливних брикетах, перетворюється на корисну теплову енергію; 4) загроза перегріву: На високих температурах деякі типи паливних брикетів можуть надто швидко горіти, що може призвести до втрати корисного тепла.

Таблиця 1

Вплив температури на продуктивність і якість паливних брикетів

Варіант досліджу	Температура, °C	Маса зразка, г	Щільність, кг/м ³	Зольність, %	Калорійність, МДж/кг
Зразок 1	890	104	800	0,125	19,76
Зразок 2	626	105	700	0,129	13,89
Зразок 3	500	50	800	0,114	11,38
Зразок 4	820	198	1300	0,101	18,20
Зразок 5	500	99	820	0,104	11,10
Зразок 6	850	57	780	0,058	18,87
Зразок 7	790	68	910	0,070	17,54

Температура паливних сферичних брикетів для зразків 1, 6 та 7 була близькою до контролю 1 (брикети Pini Kay), хоча вони мали меншу щільність (див. табл. 1). Зразок 3 за показниками температури та щільності наближався до значень зразку 5 (контроль 2), що може свідчити про недостатню збалансованість робочого складу суміші.

Отже, для досягнення оптимальної якості і продуктивності під час спалювання паливних брикетів важливо забезпечити високу температуру горіння. Це допоможе знизити викиди шкідливих речовин, підвищити енергетичну ефективність і забезпечити ефективне використання палива для потреб кінцевого споживача.

Вплив часу нагріву майже ідентичний впливу температури. Час нагріву паливних брикетів перед початком їхнього спалювання впливає на кілька важливих аспектів їх якості та продуктивності: Час нагріву впливає на те, наскільки добре паливні брикети підготовані до горіння. Чим більше часу вони проведуть у зоні нагріву, тим більше вони будуть прогріті, що дозволяє їм почати горіти швидше і з меншою кількістю диму. Не менш важливою є адекватна підготовка паливних брикетів до горіння. Якщо паливо недостатньо прогріте, воно може не згоріти повністю або буде горіти менш ефективно, що призведе до викиду більше шкідливих речовин і зменшення теплового виходу. Чим краще паливні брикети прогріються перед спалюванням, тим менше буде сажі і інших шкідливих викидів. Це пов'язано з більш повним згоранням палива при належній температурі.

Температура горіння паливних брикетів має значний вплив на час їх зольності під час спалювання. Чим вища температура горіння паливних брикетів, тим швидше відбувається згорання палива і видалення летких речовин (див. табл. 1). Так зразки 1, 4, 6 та 7 мають найвищі температури горіння. Це призводить до того, що залишається більше твердої золи в кінцевому продукті горіння. Наведені значення зольності не перевищують граничне, встановлене європейським стандартом для промислових гранул класу EN plus A.

Низька температура горіння може призвести до неповного згорання палива, що може сприяти утворенню більшої кількості сажі і недогорілого матеріалу, що входить до золи, що характерне для зразків 2, 3 та 5 (див. табл. 1). В такому випадку показник зольності може бути більшим та містити велику кількість сажі та інших недогорілих частинок.

Висока температура горіння сприяє більш повному згоранню паливних брикетів, що зменшує кількість недогорілої сировини, яка потрапляє до золи, особливо якщо висока температура горіння поєднується з процесами тління та відсутністю відкритого полум'я (зразки 6 та 7), що безумовно свідчить про високу якість паливного брикету. Це забезпечує менший відсотковий вміст зольності і покращує якість кінцевого продукту.

Висока температура горіння також сприяє ефективнішому видаленню золи з топки або камери згорання, що може покращити загальну ефективність опалення та зменшити втрати тепла через засмічення.

Отже, температура горіння паливних брикетів визначає час їх зольності та її якість. Висока температура сприяє ефективному згоранню і чистішій зольності, що є ключовими аспектами в забезпеченні ефективного та екологічно чистого спалювання палива.

Витрати часу на нагрівання можуть бути компенсовані як підвищеною ефективністю горіння, так і меншою кількістю викидів шкідливих речовин. Це, в свою чергу, робить процес використання паливних брикетів більш економічним і ефективним з точки зору енергозбереження (див. рис. 2).

Отже, для досягнення найкращих результатів під час спалювання паливних брикетів важливо передбачити достатній час для їхнього попереднього нагрівання. Це допоможе покращити якість горіння, знизити викиди та підвищити загальну ефективність використання палива.

Щільність паливних брикетів безпосередньо впливає на тривалість їхнього горіння. Брикети з високою щільністю зазвичай горять довше через те, що вони мають більш компактну структуру і потребують більше часу для того, щоб згоріти повністю – зразок 4 (див. табл. 1 та рис. 2).

Брикети з високою щільністю мають більший потенціал для забезпечення високого теплового виходу. Це пов'язано з більшою концентрацією паливної речовини на одиницю об'єму, що дозволяє їм виділяти більше тепла під час горіння.

Брикети з високою щільністю часто згорають більш повністю і ефективно, оскільки вони забезпечують більш стабільний теплоти згорання під час процесу горіння. Це допомагає уникнути утворення сажі та інших шкідливих викидів.

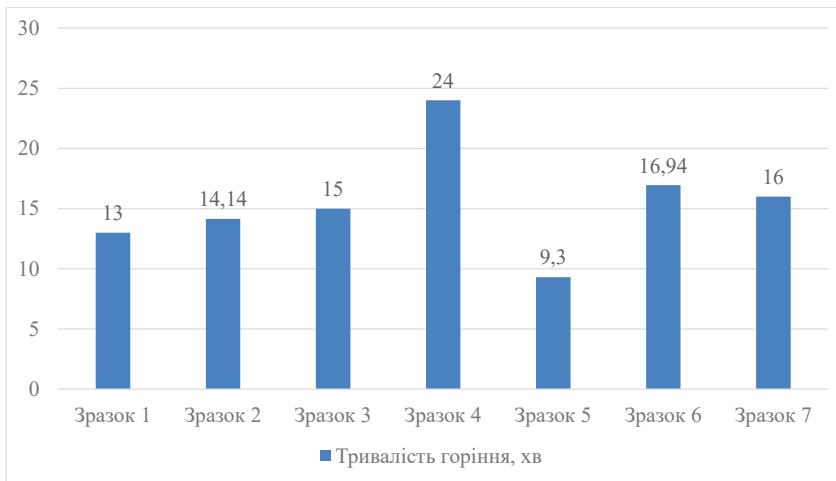


Рис. 2. Вплив щільності паливного брикету на тривалість горіння

Чим вище значення щільності паливних брикетів, тим більш економічним є їх використання, оскільки вони забезпечують більший тепловий вихід на одиницю маси. А це в свою чергу дозволяє зменшити витрати на паливо та забезпечити кращий результат у використанні та розподілі енергії.

Отже, щільність паливних брикетів визначає їхній час горіння, ефективність і економічність. Вибір брикетів з високою щільністю дозволяє забезпечити довготривале та ефективне горіння, що є важливим фактором при використанні у побуті чи промисловості.

Визначення калорійності здійснювалося відповідно до ДСТУ ISO 1928:2006 [9].

Калорійність паливних брикетів визначається кількістю теплової енергії, яку вони можуть виділити під час спалювання. Вологість в паливних брикетах має значний вплив на їхню калорійність. Вологість знижує ефективність спалювання, оскільки енергія витрачається на випаровування води замість вироблення тепла – зразок 5 при вологості в 10,5 % має калорійність – 11,10 МДж/кг. Брикети з більшою щільністю часто мають вищу калорійність, оскільки вони містять більше паливного матеріалу на одиницю об'єму. Найбільші значення калорійності мають зразки 1, 6 та 7 значення яких наближаються до значення паливного брикету – Ріні Кау (контроль 1) – 19,76; 18,87 та 17,54 МДж/кг відповідно. Найнижчими показниками калорійності володіють зразки 2 та 3 – 13,89 та 11,38 МДж/кг відповідно

Технологія виготовлення брикетів також може впливати на їхню калорійність. Наприклад, стиснення під високим тиском може сприяти більш ефективному згорянню матеріалу і підвищенню калорійності.

Калорійність паливних брикетів визначає, наскільки ефективно і економічно вони можуть бути використані для опалення, виробництва енергії або інших цілей. Вища калорійність означає більше тепла на одиницю ваги або об'єму, що є важливим аспектом при виборі паливних брикетів для спалювання [14, с. 241].

Проведені нами експериментальні дослідження показали, що сферичні паливні брикети з різним відсотковим вмістом відпрацьованої кавової гущі володіють досить високими технологічними показниками та стійкістю до дії вологи, а також є економічними, екологічно чистими та корисними для здоров'я, а також можуть сприяти зменшенню вирубки лісів.

Висновки і пропозиції. Це дослідження показало, що сферичні паливні брикети, виготовлені з відпрацьованої кавової гущі, мають великий потенціал як екологічно чисте джерело енергії. Їх використання зменшить забруднення атмосферного повітря, а також забезпечить безпечний для навколишнього середовища спосіб утилізації кавових відходів. Крім того, пропонуючи відновлювану, чисту та стійку енергію як заміну паливних брикетів, виготовлених з деревини та деревного вугілля, виробництво брикетів з відпрацьованої кавової гущі допомагає прискорити процес поглинання вуглецю за рахунок скорочення вирубки лісів. Це дослідження передбачає перетворення кавових відходів на сферичні паливні брикети в екологічно чистому, безперервному періодичному процесі, брикетування різних видів відходів до твердопаливної форми та використання надійної, чистої та зручної технології, спеціально розробленої для брикетів різних видів відходів промисловості. Технології виробництва брикетів, що використовуються на кожному етапі, легко впроваджуються в сільській місцевості, відкриваючи нові джерела доходу в регіоні. Технологія обіцяє перетворити кавові відходи на економічно ефективне та екологічно стійке брикетне паливо для домогосподарств, ресторанів та малого бізнесу. Паливні брикети, вироблені з кавового лушпиння, є економічними, екологічно чистими та корисними для здоров'я, а також зменшують вплив вирубки лісів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Josiah McNutt, Quan (Sophia) He. Spent coffee grounds: A review on current utilization. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*. 2019. Vol. 71, pp. 78–88. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2018.11.054>.
2. Sisbudi Harsono S., Coffee husk biopellet characteristics as solid fuel for combustion stove, *Environmental Sciences: Current Research*. 2019, vol. 2, no. 1, pp.1–6, <https://doi.org/10.24966/ESCR-5020/100004>.
3. European Union Directive. Directive 2012/19/EU of the European parliament and of the council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE). *Off. J. Eur. Union L* 2012, 197, 38–71.
4. Woo D.-G., Kim S. H., and Kim T. H., Solid fuel characteristics of pellets comprising spent coffee grounds and wood powder, *Energies*. 2021, vol. 14, no. 2, pp. 371. <https://doi.org/10.3390/en14020371>.
5. Bondesson E. A Nutritional Analysis on the by- Product Coffee Husk and its Potential Utilization in Food Production, 2015, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden., pp. 1–25. https://stud.epsilon.slu.se/8486/7/bondesson_e_150922.pdf (дата звернення 22.06.2024).
6. Haddis A., Alemayehu E., and Ambelu A., The potential of coffee husk and pulp as an alternative source of environmentally friendly energy east african journal of sciences. *Haramaya University*, 2014, Vol. 8(1), pp. 29–36. ISSN 1992-0407.
7. Viktor Bokov, Oleh Sisa, Volodymyr Mirzak, Olha Medvedieva. Pressing Technology and Burning Quality of Spherical Fuel Briquettes Made From Autumn

Leaves. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2020, Vol. 1 (104), pp. 60–72 DOI: 10.15587/1729-4061.2020.198724.

8. ДСТУ-П CEN/TS 15370-1:2013 Тверде біопаливо. Метод визначання характеристик плавкості золи. Частина 1. Метод характеристичних температур (CEN/TS 15370-1:2006, IDT).

9. Палива тверді мінеральні. Визначення найвищої теплоти згоряння методом спалювання в калориметричній бомбі та обчислення найнижчої теплоти згоряння. ДСТУ ISO 1928:2006 (ISO 1928:1995, IDT).

10. Яровий А. Т., Страхов Є. М.. Багатовимірний статистичний аналіз : началь-но-методичний посібник для студентів математичних та економічних фахів. Одеса: Астропринт, 2015. 132 с.

11. Mbugua M. W., Kimani M. W., Njoroge B. N. K., Gitau A. N., Mutua J. M., and Luvai A. K., Characterization of the physical parameters of coffee husks towards energy production, *Int. J. Res. Eng. Sci.* 2014, no. 2, pp. 1–5, (дата звернення 22.06.2024).

12. Meharu K., Briquette from coffee husk. *Journal of Waste Management and Disposal*. 2019, no. 2, pp. 1–9.

13. Haykiri-Асма, Н. and Yaman, S. 2010. Production of Smokeless Bio-briquettes from Hazelnut Shell. Proceedings of the World Congress on Engineering and Computer Science Vol. II, pp. 20–22, October 2010, San Francisco, USA. http://www.iaeng.org/publication/WCECS2010/WCECS2010_pp739741.pdf

14. Emerhi, E. A. Physical and Combustion Properties of Briquettes Produced from Sawdust of Three Hardwood Species and Different Organic Binders. *Adv. Appl. Sci. Res.*, 2011, vol. 2, no. 6, pp. 236–246. ISSN: 0976-8610.