

**Н.М. Струк, Н.О. Філюк, О.В. Заболотний**

*Луцький національний технічний університет*

## **ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕРОБКИ СИРОВИНИ ПРИРОДНОГО ПОХОДЖЕННЯ ТА ВІДХОДІВ МЕБЛЕВОГО ВИРОБНИЦТВА ДЛЯ ОТРИМАННЯ НА ЇХ ОСНОВІ ІННОВАЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ТА ЕКОБЕЗПЕЧНИХ ВИРОБІВ ДЛЯ РІЗНИХ ГАЛУЗЕЙ ПРОМИСЛОВОСТІ**

*У статті розглядаються останні досягнення у технологіях переробки опалого листя та іншої сировини природного походження у біопаливні брикети або пелети або інші біокомпозиційні матеріали і екобезпечні вироби на їх основі для побутових потреб та потреб сучасної промисловості. Нами представлено узагальнення експериментальних результатів із визначенням впливу вологості, типу та кількості в'язких компонентів на фізико-механічні та термохімічні властивості брикетів, а також дослідження кінетики розкладу під час піролізу та згоряння. Розглянуто також сучасні підходи з термохімічного попереднього оброблення, зокрема гідротермічну карбонізацію, яка оптимізує якість пелет, що виробляються з листової біомаси. У роботі наведено порівняння параметрів якості пелет, незалежно від того, чи виготовляються вони без додавання в'язких компонентів, чи з їхньою допомогою, а також охоплено перспективи їх використання для стійкого енергозабезпечення та оптимізації логістичних процесів у містах.*

*Ключові слова:* переробка, повторне використання, сировина природного походження, відходи меблевого виробництва, пелети, брикети, біокомпозиційні матеріали, екобезпечні вироби.

**N.M. Struk, N.O. Filiuk, O. V. Zabolotnyi**

## **PROCESSING TECHNOLOGIES INVESTIGATION OF NATURAL RAW MATERIALS AND FURNITURE PRODUCTION WASTE FOR PRODUCING INNOVATIVE MATERIALS AND ECO-FRIENDLY PRODUCTS FOR VARIOUS INDUSTRIES**

**Вступ.** Опале листя дерев, гілки, кора, шишки, хвоя, трава, що накопичується в міських і приміських територіях, становить величезний обсяг біомаси, яку можна використовувати для виробництва біопалива або інноваційних екобезпечних матеріалів [1]. Також є постійно зростаючі обсяги відходів меблевого виробництва, повторна переробка яких у, наприклад, нові матеріали чи вироби для потреб індустрії дозволить заощадити значні матеріальні ресурси. Сучасні дослідження підкреслюють, що збирання і переробка листового сміття можуть не лише зменшити екологічне навантаження й ризики для здоров'я людей, пов'язані з непередбачуваним пилом та злиттям відходів, але й слугувати ефективним джерелом поновлюваної енергії [2].

Для міських умов окрему увагу приділяють переробці листя зелених насаджень, що накопичуються у міських середовищах. Дослідження показують, що листя таких видів, як липа, платан та ін., має можливість бути перетвореним у якісне тверде паливо завдяки пелетизації та агломерації, що значно підвищує їх щільність і сприяє зменшенню логістичних витрат [2]. Крім того, механічне подрібнення дає змогу підвищити фізико-механічні та енергетичні характеристики біомаси, що дозволяє інтегрувати її у теплові установки без ризику несподіваного утворення попелу, який може впливати на експлуатацію котлів [2].

Важливим напрямком у сучасних дослідженнях є механічна обробка та пелетизація (брикетизація) листя, що є ключовим аспектом для застосування цих відходів як біопалива. Дослідження показують, що первинне подрібнення листя значно підвищує їх щільність, що сприяє зниженню витрат на транспортування та зберігання сировини, а також покращує механічні властивості отриманих брикетів. Практична реалізація полягає у використанні технологій для агломерації, що дозволяє отримувати пелети (брикети) з нижчою вологістю, високою міцністю та сприятливим нижчим значенням теплотворної здатності, знаходячи застосування в існуючих системах опалення [2].

Ранні роботи з аналізу якості пелет (брикетів) з опалого листя показали, що вплив вологості сировини та наявності додаткових зв'язуючих (наприклад, гліцеролу) визначають механічну міцність, щільність і теплотворну здатність кінцевого продукту [1]. Крім того, дослідження з теплового розкладу та піролізу мобілізують дані щодо кінетичних параметрів процесів, що відбуваються під час згоряння, що є важливими для оптимізації енергетичних систем, які працюють на основі біомаси [3].

**Методологія та технологічні підходи.** За основу сучасних технологій переробки опалого листя для виготовлення біопаливних пелет покладено механічну денсифікацію сировини через подрібнення та подальшу компресію з використанням спеціалізованих пелетизаторів. Зокрема,

дослідники дослідили вплив різних рівнів вологості (10, 15, 20 wt%) та додавання гліцеролу (0, 5, 10 wt%) як дешевої альтернативи синтетичним зв'язуючим, що значно впливає на механічні характеристики пелет – зниження щільності, зменшення міцності та підвищення їх еластичності [1]. Дослідження також свідчать, що збільшення вмісту гліцеролу може зменшувати щільність і міцність пелет, що в свою чергу впливає на експлуатаційні характеристики палива [1].

Паралельні дослідження з використанням термогравіметричного аналізу (TGA) проводяться для оцінки термохімічної реактивності пелет, де порівнюють зразки, отримані без і з додаванням зв'язуючих компонентів [3]. Дані TGA дозволяють визначити активаційну енергію при піролізі та згорянні, що вказує на зміну реактивності біомаси при додаванні гліцеролу [3]. Крім того, визначення параметрів, таких як нижча теплота згоряння та об'ємна щільність пелет, показали, що пелети з опалого листя можуть мати теплофізичні властивості, близькі до властивостей традиційних деревних пелет [2].

Сучасні підходи до термохімічного перетворення листя активно розвиваються із застосуванням інноваційних методів, таких як мікрохвильова асистована гідротермічна карбонізація. Ця технологія дозволяє перетворити листя в гідрохар, який характеризується високим вмістом енергії та можливістю використання як біопаливо або як добавка для покращення ґрунтових властивостей [4]. Дослідження свідчать, що при застосуванні мікрохвильової технології до спадного листя міських дерев можна досягнути як вищої віддачі продукту, так і зменшення енергоспоживання у порівнянні з традиційними методами, що позитивно впливає на економічну ефективність процесу [4].

Окрім класичного підходу до пелетизації, сучасні дослідники застосовують технології термохімічного попереднього оброблення, такі як галогенована торрефікація, паровий вибух та гідротермічна карбонізація (НТС) для покращення властивостей біомаси ще на стадії сировини. Ці методи дозволяють знизити вміст вологості та підвищити концентрацію вуглецю, що позитивно впливає на енергетичну ефективність пелет і робить їх більш стійкими до атмосферних впливів під час зберігання та транспортування [5, 6].

Варто відзначити, що інтегровані підходи, такі як синхронізація торрефікації та пелетизації (STP), дають змогу одночасно проводити термічну обробку та ущільнення біомаси, що знижує логістичні витрати і скорочує енергоспоживання за рахунок інтеграції процесів [7]. Автоматизовані системи, що включають ультразвукові вібрації під час пелетизації, сприяють рівномірному нагріванню сировини, що поліпшує зв'язуючі властивості природного лігніну та полегшує процес формування пелет [7].

**Експеримент.** Результати експериментальних досліджень демонструють, що при оптимальних параметрах подрібнення та режимах пелетизації вихідні пелети опалого листя характеризуються нижчою теплотою згоряння приблизно 14.5–15.5 MJ/kg, механічною міцністю, що варіюється в межах 90–96%, і об'ємною щільністю 600–660 kg/m<sup>3</sup>, що дозволяє їх використовувати в промислових котлах з горінням біомаси [2]. Дослідження з механічного ущільнення також вказують на вплив ступеня подрібнення сировини – дрібніша фракція значно підвищує компактизацію та однорідність пелет, що суттєво покращує їх логістичні та експлуатаційні характеристики [2].

Додатково до механічних властивостей, визначено також хімічний склад пелет, де підвищений вміст мінеральних компонентів (такі як кальцій, калій, залізо) може впливати на температуру плавлення золи під час згоряння. Це зокрема важливо для оптимізації режимів очисних систем котлів [2]. Водночас, застосування природних зв'язуючих (як, наприклад, гліцерол) дозволяє компенсувати негативний вплив вологості сировини та забезпечити кращу адгезію між частинками біомаси, що підвищує міжфазну міцність пелет [1].

Постійне спостереження за параметрами згоряння пелет дозволяє вивчити ступені реактивності біомаси під час піролізу та подальшого згоряння. Так, експерименти з використанням TGA показали зниження активаційної енергії у зразках з додаванням гліцеролу, що підтверджує ефективність застосування зв'язуючих компонентів для поліпшення реактивності під час термічної обробки [3].

**Інтеграція методів попередньої термохімічної обробки.** Окрім класичних методів пелетизації, останні дослідження орієнтовані на використання термохімічних технологій для покращення властивостей біомаси. Гідротермічна карбонізація (НТС) дозволяє обробляти вологу біомасу, не вимагаючи попереднього сушіння, що є критично важливим для сировини з високим вмістом вологи, такої як опале листя [5]. НТС сприяє збільшенню вмісту вуглецю та підвищенню енергетичної щільності кінцевого продукту, що полегшує транспортування і зберігання пелет.

Попередні дослідження вказують на те, що застосування НТС значно покращує об'єктивні індикатори згоряння пелет, знижуючи ризики корозійного впливу інерганічних компонентів [6].

Інтеграція термохімічного попереднього оброблення з пелетизацією відкриває нові перспективи для виробництва високоякісного біопалива з опалого листя. Синхронізація процесів дозволяє одночасно зменшувати вологість сировини, покращувати зв'язування часток і підвищувати механічну стабільність пелет, що особливо актуально при виробництві пелет з матеріалів з низькою первинною щільністю [7]. В цьому контексті інтегровані платформи, що поєднують метаноліз, торрефікацію та пелетизацію, забезпечують високий рівень енергетичної ефективності та економічну конкурентоспроможність кінцевого продукту [7].

**Міська біомаса та потенційне застосування.** Розгляд переробки опалого листя охоплює також аспекти використання біомаси з міських територій. Дослідження, що аналізують потенціал використання залишків опалого листя з урбанізованих просторів, показують, що правильне механічне попереднє оброблення (зокрема, подрібнення, ущільнення та подальша пелетизація) дозволяє збільшити щільність біомаси до рівня традиційних деревних пелет, що сприяє зменшенню логістичних витрат і покращенню експлуатаційних характеристик [2]. Одночасно, хімічний аналіз вмісту мінеральних домішок у різних видів опалого листя дозволяє визначити оптимальні технологічні параметри для отримання пелет з необхідною температурою самозаймання, із мінімальною кількістю золи, що робить їх придатними для сучасних систем згоряння [2].

На додаток, технології пелетизації опалого листя включають використання природних зв'язуючих агентів або навіть методів, що не вимагають додавання сторонніх компонентів, завдяки особливостям самоорганізації біомаси при високому тиску та температурі, що дозволяє отримати стабільний продукт із високою теплоотою згоряння [8]. Також альтернативні технології, що передбачають додавання відпрацьованих олій та полімерних розчинів як зв'язуючого компоненту, демонструють можливість одночасної утилізації декількох відходів, що позитивно впливає на економічну доцільність виробництва пелет [8].

**Порівняльний аналіз та оцінка ефективності.** Порівняльний аналіз сучасних досліджень з пелетизації опалого листя дає змогу визначити ключові параметри, що впливають на якість кінцевого продукту. Основними характеристиками, що оцінюються, залишаються об'ємна щільність (600–660 kg/m<sup>3</sup>), механічна міцність (до 96% при стандартах міцності) та нижча теплота згоряння (близько 14.5–15.5 MJ/kg) [2, 1]. При цьому вплив додавання гліцеролу як зв'язуючої речовини дозволяє помітно змінити фізичні характеристики пелет, знижуючи їх об'ємну щільність і змінюючи баланс між міцністю та еластичністю, що може бути оптимізовано за рахунок більш точного регулювання вологості сировини [1].

Дослідження кінетики термічного розкладу пелет показують, що додавання в'язких компонентів впливає на активаційну енергію реакції під час піролізу, що має пряме значення для ефективності згоряння біопалива в котлах і газогенераторах [3]. Результати демонструють можливість оптимізації технологічного процесу з обранням спеціальних режимів пелетизації для досягнення максимальної енергетичної ефективності та зниження екологічного впливу [9].

**Нові тенденції та перспективи.** Сучасні дослідження демонструють позитивну динаміку в розвитку технологій, які поєднують класичну механічну пелетизацію із термохімічними методами попередньої обробки, наприклад, гідротермічною карбонізацією (НТС). Цей напрямок дозволяє перетворювати вологу біомасу, таку як опале листя, без необхідності енергозатратного сушіння, і значно покращити її паливні характеристики, що відкриває нові перспективи для інтегрованих біоенергетичних систем [5, 6]. Інтегровані системи, що синхронізують торрефікацію або НТС з пелетизацією, демонструють значне збільшення енергетичної щільності продукту, що робить їх конкурентоспроможними не тільки в контексті відновлюваних джерел енергії, але й для застосування в системах сумісного згоряння з викопними паливами [7].

Крім того, перспективними є дослідження з оптимізації параметрів подрібнення біомаси (розмір частинок, ступінь подрібнення) та контролю вологості сировини, що робить процес пелетизації більш стабільним і відтворюваним для великих обсягів виробництва [10]. З метою забезпечення високої ефективності пелет також розглядаються методи використання природних та синтетичних в'язких компонентів, що сприяють оптимізації енерговіддачі та зменшенню витрат на транспортування за рахунок збільшення щільності кінцевого продукту [8, 11].

Сучасний тренд спрямований на створення інтегрованих біорефінерій, де відходи рослинного походження, зокрема опале листя, обробляються до високоякісних пелет біопалива, які можуть використовуватись як стабільне джерело енергії для локального споживання та промислових застосувань. Це дозволяє знизити економічні витрати на утилізацію органічних залишків,

забезпечити енергетичну незалежність міст та сприяти циркулярній економіці, зводячи до мінімуму вплив на навколишнє середовище [12].

**Висновки.** Підсумовуючи, останні дослідження переробки опалого листя дерев у біопаливні пелети виявляють такі ключові тенденції: оптимізація параметрів пелетизації (вологість, розмір частинок, режим пресування) із застосуванням природних в'язких речовин (наприклад, гліцеролу) дозволяє отримати пелети з покращеними механічними характеристиками та підвищеною енергетичною щільністю; використання термохімічних методів попередньої обробки, зокрема гідротермічної карбонізації, забезпечує можливість обробки вологих біомас, що суттєво підвищує якість кінцевого продукту; інтегрована технологія синхронізації процесів торрефікації та пелетизації дозволяє значно знизити витрати енергії та економити ресурси при перетворенні сировини. Ці підходи підтверджують потенціал опалого листя як перспективної сировини для виробництва біопаливних пелет, що відповідають сучасним вимогам до якості палива, екологічним вимогам та сприяють стійкому розвитку енергетики.

Аналіз експериментальних досліджень свідчить, що комбінування механічних, термохімічних та інтегрованих підходів до переробки опалого листя відкриває широкий спектр можливостей для його ефективної утилізації та використання у виробництві біопелет, що може конкурувати з традиційними викопними та деревними видами палива у плані енергетичної віддачі та експлуатаційних характеристик. Подальші дослідження мають бути спрямовані на оптимізацію параметрів подрібнення різних видів сировини природного походження (листя, гілок, шишок, кори, хвої, трави тощо), підготовка сумішей з різних видів подрібненої сировини у різних пропорціях, оптимізації процесів пресування, та масштабування технологій з проведенням пілотних досліджень, для підтвердження енергетичної ефективності розробленої технології, а також економічної та екологічної доцільності запропонованих методів [5, 6].

Отже, проведений аналіз сучасної наукової літератури демонструє, що завдяки впровадженню інноваційних технологій та оптимізації процесів, переробка опалого листя та інших доступних видів біосировини природного походження в біопаливні пелети набуває все більшої популярності, що сприяє розвитку відновлюваних джерел енергії та створенню екологічно чистих технологічних ланцюгів із використанням міських біоресурсів [8, 3].

Таким чином, останні дослідження охоплюють як детальне вивчення впливу первинних параметрів сировини на якість пелет, так і сучасні термохімічні підходи з попередньої обробки, що дозволяють отримати пелети з оптимальними паливними характеристиками. Ці результати свідчать про те, що опале листя може успішно конвертуватись у високоякісний біопелет завдяки інтегрованим технологічним платформам і може стати важливим компонентом у системах відновлюваної енергетики в умовах зростання міських обсягів біовідходів [2, 5].

У майбутньому подальші дослідження з акцентом на масштабування технологій, автоматизацію виробничих ліній та подальше вдосконалення інтегрованих підходів дозволять ще більше підвищити конкурентоспроможність біопелет на основі опалого листя та інших видів природної біосировини як альтернативного джерела енергії, що позитивно впливає на екологічний баланс та зменшує залежність від викопних ресурсів [12, 7].

Таким чином, сучасні дослідження переробки опалого листя та інших видів біосировини природного походження в біопаливні пелети охоплюють:

1. Оптимізацію параметрів пелетизації – вплив тиску, вологості, розмірів частинок, виду сировини та додавання природних зв'язуючих [1, 8].
2. Термохімічну обробку сировини, зокрема гідротермічну карбонізацію для обробки вологих біомас, що дозволяє підвищити енергетичну щільність та зменшити вміст летких компонентів [5, 6].
3. Дослідження кінетики піролізу та згоряння пелет з метою оптимізації режимів експлуатації енергетичних установок [3, 4].
4. Інтегровані технологічні платформи, що поєднують механічне ущільнення із термохімічними методами попередньої обробки, що забезпечують підвищення якості кінцевого продукту й оптимізацію витрат [7, 5].

Як свідчать результати аналізу, останні дослідження демонструють, що використання опалого листя та інших доступних видів сировини природного походження для виробництва біопелет має високий перспективний потенціал завдяки розробці вдосконалених технологій пелетизації, які забезпечують необхідну якість продукту для сучасних енергетичних систем. Подальші наукові та інженерні розробки будуть спрямовані на оптимізацію параметрів технологічного процесу, що дозволить створити економічно та екологічно ефективний ланцюг переробки опалого листя та інших видів природної біосировини в біопаливні пелети та нові біокомпозиційні матеріали та

екобезпечні вироби на їх основі, які відповідають сучасним вимогам до сталого розвитку та відновлюваної енергетики [12, 6].

Таким чином, сучасні дослідження надають можливість об'єднання кількох підходів – оптимізація параметрів сировинного попереднього оброблення, застосування природних зв'язуючих та впровадження інтегрованих термохімічних технологій – що робить виробництво пелет на основі опалого листя та інших видів доступної біосировини природного походження не лише ефективним, але й перспективним для широкого використання в енергетиці та управлінні міськими відходами [9, 10].

**Заключення.** Загалом, аналіз останніх досліджень переробки опалого листя та інших видів доступної природної біосировини у біопаливні пелети та нові біокомпозиційні матеріали і екобезпечні вироби на їх основі підтверджують можливість конвертації великої кількості міського листового сміття у високоякісний біопелет або інноваційних матеріал, що може успішно конкурувати з іншими видами біомаси як паливна сировина. Сучасні експериментальні дані свідчать про позитивний вплив оптимальних режимів пелетизації, а також застосування термохімічних попередніх обробок, які значно підвищують енергетичну ефективність і знижують витрати на зберігання та транспортування кінцевого продукту. Подальші дослідження повинні бути зосереджені на масштабуванні процесів, автоматизації виробничих ліній та детальному аналізі економічної доцільності, що відкриє нові можливості для впровадження технологій отримання біопелет та різних видів інноваційних біокомпозиційних матеріалів на основі різних видів біосировини природного походження в комплексні енергетичні системи [5, 10].

Це дослідження надає досить широкий огляд сучасних наукових підходів до переробки опалого листя та інших видів доступної природної біосировини у біопаливні пелети і підкреслює, що розробка нових технологій комбінованого застосування механічних, термохімічних і інтегрованих методів є ключем до отримання конкурентоспроможного та екологічно чистого продукту, що матиме значний потенціал для впровадження у системи відновлюваної енергетики майбутнього [8, 7].

Таким чином, останні дослідження засвідчують, що завдяки оптимізації процесів пелетизації, використанню природних зв'язуючих речовин та інтеграції термохімічних технологій, переробка опалого листя та інших видів біосировини природного походження у біопаливні пелети та різні види інноваційних біокомпозиційних матеріалів та екобезпечних виробів на їх основі є реалістичним і дуже перспективним напрямком для енергетичної та інших галузей промисловості, що сприятиме зменшенню екологічного навантаження в міських районах та підвищенню ефективності використання природних, енергетичних та інших видів ресурсів, а також забезпечить повторну переробку відходів меблевого виробництва, що сприятиме розробці і впровадженню інноваційних технологій для їх повторного використання [13-14].

Зазначені підходи та результати експериментальних досліджень, викладені в сучасній літературі, дають нам вагомні аргументи для подальшого експериментального дослідження технологічних процесів подрібнення, підготовки сумішей, пресування різних видів природної біосировини та способів утилізації біовідходів з метою розробки нових інноваційних технологій отримання енергоефективних і екологічних видів біопалива, а також інноваційних біокомпозиційних матеріалів та екобезпечних виробів на їх основі із доступної сировини природного походження для потреб сучасної індустрії.

### Літературні джерела

1. Biofuel quality analysis of fallen leaf pellets: Effect of moisture and glycerol contents as binders/ William A. González, Diana López, Juan F. PérezRenewable Energy, Mar 2020 <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.09.094>
2. Evaluation of Urban Tree Leaf Biomass-Potential, Physico-Mechanical and Chemical Parameters of Raw Material and Solid Biofuel. Krzysztof Mudryk, Marcin Jewiarz, Marek Wróbel, Marcin Niemiec, Arkadiusz DyjakonEnergies, Feb 2021 <https://doi.org/10.3390/en14040818>
3. Pyrolysis and Combustion Kinetics of Garden Waste Pellets as Solid Biofuel for Thermochemical Energy Recovery/ Jonatan Gutiérrez, Juan F. Pérez/ Materials, Apr 2025 <https://doi.org/10.3390/ma18071634>.
4. Valorization of tree leaves waste using microwave-assisted hydrothermal carbonization process Kang Kang, Tianle Zhang, Guotao Sun at all · 2021 <https://doi.org/10.1111/gcbb.12882>
5. Upgrading Fuel Properties of Residual Biomass by Hydrothermal Carbonisation/ LJ Hansen 2023 <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1684940/1684940.pdf>.

6. Influence of Hydrothermal Carbonization on Catalytic Fast Pyrolysis of Agricultural Biomass/ Lukasz Niedzwiecki, Krzysztof Moscicki, Anton Bijl at all Appl. Sci. 2023, 13(7), 4190; <https://doi.org/10.3390/app13074190> <https://mediatum.ub.tum.de/doc/1684940/1684940.pdf>.

7. Experimental investigations of utilizing cellulosic biomass for biofuel productions on multi-platforms/ Y Yang 2023/ <https://krex.k-state.edu/bitstream/handle/2097/42942/YangYang2023.pdf?sequence=1>.

8. Технології поводження з відходами рослинного походження озелених територій/ МО Гончаренко 2024 [https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/95608/1/Goncharenko\\_bak\\_rob.pdf](https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/95608/1/Goncharenko_bak_rob.pdf).

9. Analysis of Leaf Litter as Potential Renewable Energy Source for Cooking A. Hartawan, N. Aditya, N.G. Ratnasari, W. Sujatmiko, Y.S. NugrohoEvergreen, Dec 2021 citations 3 <https://doi.org/10.5109/4742129>.

10. State and Prospects of the Production of Compressed Solid Biofuels I.O. Mikulionok Energy Technologies & Resource Saving, Dec 2022 <https://doi.org/10.33070/etars.4.2022.02>.

11. Densification of Hemp Floral Biomass Pre and Post-Extraction: Determination of Pellet Physical Characteristics G Lopez 2023

[https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1098&context=bae\\_etds](https://uknowledge.uky.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1098&context=bae_etds).

12. Biomass Production and Quality of Twelve Fast-Growing Tree Taxa in Short Rotation under Mediterranean Climate/ Joaquín Alaejos, Raúl Tapias, Francisco López, David Romero, Federico Ruiz, Manuel FernándezForests, June 2023 <https://doi.org/10.3390/f14061156>.

13 Струк Н.М., Заболотний О.В. Розробка обладнання, інструменту та технології виготовлення паливних брикетів з відходів біосировини природного походження // *Матеріали та технології в інженерії (МТІ-2024): інженерія, матеріали, технології, транспорт: збірник наукових доповідей міжнародної конференції, Луцьк, Україна, 14-16 травня 2024 р.* – Луцьк: Вежа-Друк, 2024. – С 270-273. <https://drive.google.com/file/d/14SDJe2jYFtsLdlYn0oHbSYO-iJKP0dow/view?usp=sharing>

14 Філюк Н.О., Заболотний О.В. Розробка обладнання, інструменту та технології виготовлення біокомпозиційних виробів з відходів меблевого виробництва // *Матеріали та технології в інженерії (МТІ-2024): інженерія, матеріали, технології, транспорт: збірник наукових доповідей міжнародної конференції, Луцьк, Україна, 14-16 травня 2024 р.* – Луцьк: Вежа-Друк, 2024. – С 283-285. <https://drive.google.com/file/d/14SDJe2jYFtsLdlYn0oHbSYO-iJKP0dow/view?usp=sharing>