

А.А. Суска, д-р екон. наук, професор

e-mail: n.suscka@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-7465-1776>

В.І. Д'яконов, техн. наук, доцент

e-mail: v.i.diakonov@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2951-4668>

С.А. Шевченко, д-р техн. наук, доцент

e-mail: serg.shevchen@btu.kharkiv.ua

<https://orcid.org/0000-0002-7921-5252>

Державний біотехнологічний університет

КОМПОЗИТНИЙ ПАЛИВНИЙ БРИКЕТ ЗІ ЗБІЛЬШЕНИМ ТЕРМІНОМ ЗБЕРІГАННЯ

Наведено результати досліджень впливу біокорозії на міцність та трищиностійкість паливних брикетів, а також приведені теоретичні обґрунтування процесів біоушкоджень. Показано закономірності впливу мікроорганізмів на експлуатаційні властивості паливних брикетів. У результаті комплексних фізико-хімічних досліджень встановлено механізми мікодеструкції брикетної суміші, що дозволяє отримати уявлення про працездатність виробу. Вирішена важлива задача, пов'язана з розробленням наукових основ направлено застосування фізичної модифікації брикетної суміші під дією надвисокочастотного (НВЧ) випромінювання в технології одержання багатоконпонентного твердого палива, яка спрямована на підвищення ефективності його використання та ресурсо- й енергоощадження при виробництві палива. Завдяки комплексному використанню результатів виконаних наукових досліджень та запропонованих методик розроблені та удосконалені технологічні засади та обладнання для з'єднання частинок брикетної суміші. Використання цього композитного матеріалу пов'язане з можливістю формувати енергетичні та механічні характеристики паливного брикету шляхом підбору їх якісного і кількісного складу, форми частинок компонентів, геометрії взаємного розміщення (зв'язності) компонентів. Доказано, що залежно від зв'язності компонентів можливі три основні ефекти взаємодії їх властивостей: ефект суми, ефект комбінації та ефект добутку, що дозволяє не лише підсилювати або послаблювати у композитному матеріалі властивості його компонентів, але й отримувати принципово нові властивості, яких не мають компоненти композиту.

Експериментально досліджено, що величиною енергоощадження при НВЧ-формуванні паливного брикету можна управляти шляхом підбору певних співвідношень

між режимами і статичним тиском. Встановлено, що застосування ефективних параметрів об'ємного НВЧ-впливу на суміші паливного брикету при від'ємному відносному тиску приводить до покращення експлуатаційних властивостей (теплота згоряння, вологостійкість, міцність, деформація при розриві).

Ключові слова: біоушкодження, паливні брикети, мікроскопічні гриби, бактерії, дріжджі, важкі метали, композитний матеріал.

Постановка проблеми. Захист від біоушкоджень є глобальною еколого-технологічною проблемою [1; 2; 3; 9]. Якість паливних брикетів із рослинних відходів (теплота згоряння, тривалість зберігання) визначається їх стійкістю до впливу зовнішнього середовища, природними складовими якої є волога та мікроорганізми. При цьому необхідно звернути увагу на вивчення біологічного фактору корозійних процесів у зв'язку з проблемами їх токсичних дій та негативного впливу на людей [1; 5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Забруднення навколишнього середовища відходами виробів з поліетилену набуло загрозливих масштабів, що спонукає до пошуку шляхів їх утилізації. Ряд досліджень спрямовано на природні механізми розкладання поліетилену - фотодеструкцію та біодеструкцію поліетилену, однак кінетика розкладання все ще низька для доступних на певний момент біотичних або абіотичних процесів, і повна мінералізація лишається недосяжною [3]. Ще одним напрямом є використання вторинного поліетилену у виробництві деревиннополімерних композитів, які містять деревину в різноманітних формах. Зокрема, пропонується використовувати вторинний поліетилен у якості в'язучого при виготовленні деревинностружкових плит [4], фанери [6] та профільованих виробів [7; 8].

Наразі все більшого поширення набуває використання брикетів з відходів перероблення деревини тощо. Однак створення резервів брикетів для тривалого зберігання стикається зі значними труднощами, оскільки вплив мікроорганізмів істотно погіршує їх теплоту згоряння та термін зберігання і навіть може призвести до їх повного руйнування [1; 2; 5; 11]. Увагу дослідників привертає технологія виготовлення паливних брикетів і життєдіяльність мікроорганізмів та грибів у них. Цьому присвячені роботи [10; 11; 13]. Масовий розвиток цвілевих грибів призводить до виникнення запаху цвілі, що може стати причиною серйозних захворювань, оскільки серед них є види, патогенні для людини. Найдрібніші дози грибкової отрути можуть спричинити навіть через кілька років появу ракових пухлин [8; 13].

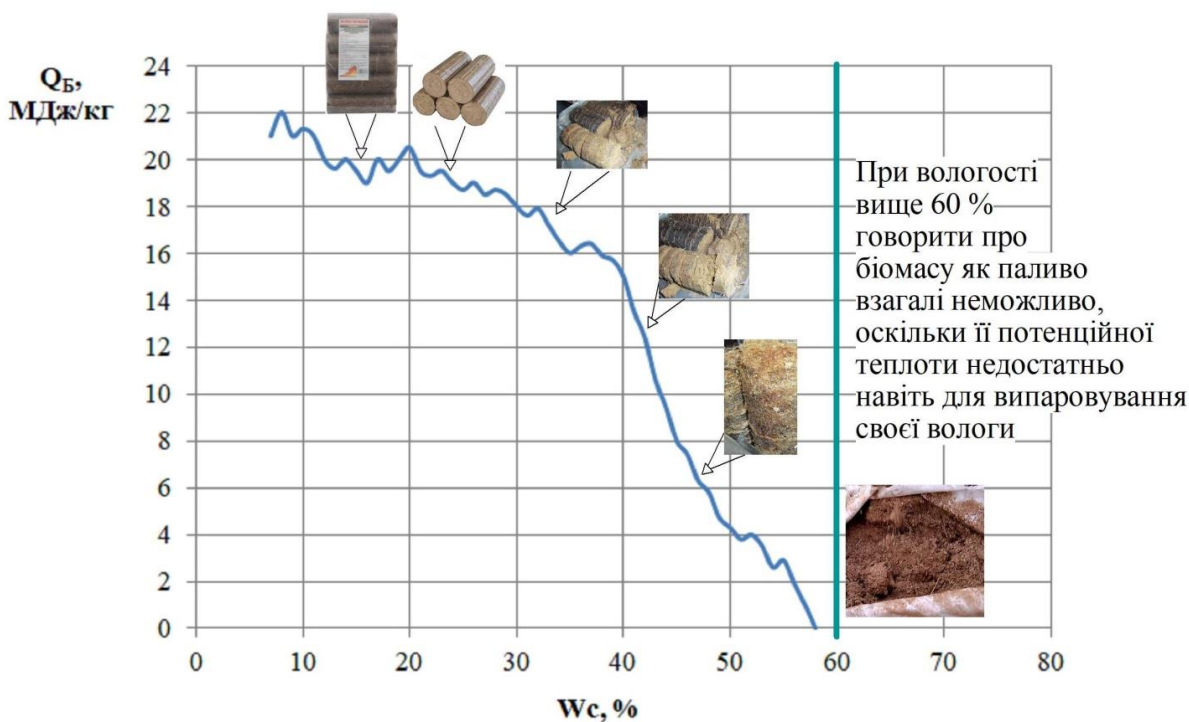
До основних методів захисту матеріалів від мікроорганізмів можна віднести фізичні методи (бактеріальні фільтри, електромагнітне,

радіаційне та ультрафіолетове опромінення, ультразвук, електрохімічний захист) [2; 9; 11]. У зв'язку з цим виникає необхідність дослідження впливу надвисокочастотного (НВЧ) електромагнітного поля на фітопатогенний комплекс і якісні показники рослинних відходів. Значною перешкодою на шляху впровадження вказаних технологій є недосконалість використовуваних пристроїв опромінення з точки зору забезпечення рівномірного розподілу енергії в зоні розташування матеріалу. Незважаючи на активні дослідження впливу енергії високих частот на біоматеріали, перелік пристроїв для реалізації цих технологій залишається незначним [11; 16; 17]. При цьому особливо актуальним стає контроль стану персоналу [15].

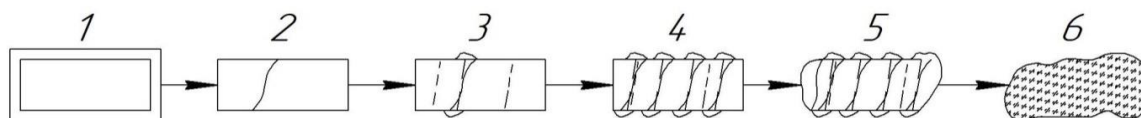
Формулювання цілей статті. Мета цієї роботи полягає в тому, щоб розвинути уявлення про механізм шкідливого впливу мікроорганізмів на брикет та розробити енергоощадну технологію запобігання впливу біокорозії на брикети. Для досягнення поставленої мети були визначені такі цілі: узагальнення та систематизація уявлень про біоушкодження паливних брикетів; виявлення закономірностей зміни структури та хімічного складу під дією мікроорганізмів; визначення ступеня змін споживчих властивостей брикетів під дією мікроорганізмів в різних умовах; аналіз відомих способів захисту матеріалів від впливу мікроорганізмів з метою збереження їх споживчих властивостей; розробка енергоощадної технології запобігання впливу біокорозії.

Виклад основного матеріалу дослідження. Виконання цього наукового дослідження проводилось на паливних брикетах з рослинної сировини в процесі їх використання та зберігання, а також при використанні розробленої нами енергоощадної технології запобігання впливу біокорозії.

На рис. 1 зображена розроблена нами модель процесу біоушкоджень паливного брикету з рослинних відходів та його вплив на теплоту згоряння [11]. Навіть при незначному пошкодженні пакування брикети проявляють здатність до сорбції водяної пари з повітря. Дошова погода, циклічна зміна відносної вологості повітря, перехід температури навколишнього середовища через 0 °C сприяють збільшенню вологості брикету (стан 2). Вологість брикету підвищується, а теплота згоряння зменшується. Волога потрапляє в мікротріщини, які збільшуються в розмірах. Мікроорганізмам притаманна велика вологопоглинальна здатність [2; 9; 11], тому вони поглинають вологу в десятки разів швидше, ніж рослинні відходи. У сприятливих умовах бактерії починають розвиватися, накопичуючи біомасу (стан 3). Через одну - дві хвилини після потраплення вологи мікроорганізми набухають та швидко розповсюджуються (стан 4).



а)



б)

а) вплив вологості паливного брикету на теплоту згоряння, б) схема етапів руйнування паливного брикету; 1 – брикет в герметичному пакуванні; 2 – крихке руйнування брикету; 3 – накопичення мікро- та біоушкоджень; 4 – комфортні умови розвитку цвілі і грибків; 5 – накопичення маси цвілі і грибків ; 6 – втрата форми брикету

Рис. 1. Моделювання процесу біоушкоджень паливного брикету

Через мікротріщини волога поширюється по всьому об'єму брикету, і в сприятливих умовах бактерії починають розвиватися, накопичуючи біомасу (стан 5). За добу за сприятливих умов бактерія переробляє масу речовини, яка від 30 до 40 разів перевищує її власну масу, а основна частина спожитої речовини витрачається в енергетичному обміні [9; 10; 11]. Мікроорганізми продукують ферменти, кетони, спирти, кислоти, аміак, сірководень, метан і вуглекислий газ. Найбільш активні біодеструктори спричиняють не тільки пліснявіння, зміну кольору та обростання поверхонь, але й суттєве погіршення властивостей виробів, аж до руйнування [11; 12; 13] (стан 6).

Використовуючи розроблений нами НВЧ-пристрій для

виготовлення паливних брикетів [16; 17], ми знайшли шляхи удосконалення існуючої технології за рахунок раціонального співвідношення компонентів: сировина рослинного походження – 80%, зв'язуюче – 20% (подрібнений вторинний поліетилен – 18%, шкіряний пил – 2%). Використання цього композитного матеріалу пов'язано з можливістю формувати енергетичні (теплота згоряння поліетилену на рівні бензину) та механічні характеристики брикету шляхом підбору їх складу, форми частинок компонентів, геометрії взаємного розміщення (зв'язності) компонентів, що дає змогу отримувати нові властивості, яких не мають компоненти композиту [2; 9; 10].

Запропоновано виконати камеру НВЧ-термообробки з двох електродинамічних систем та визначено раціональні режими формування паливного брикету (рис. 2). Перша електродинамічна система (круглий хвилевід) забезпечує максимальну температуру в центрі діелектричного стрижня та її спад до зовнішньої поверхні стрижня (рис. 2А). Друга електродинамічна система (адаптер) забезпечує максимальну температуру на зовнішній поверхні стрижня і її спад до осі стрижня (рис. 2Б). Застосування адаптера дає змогу вибрати раціональний варіант нагрівання брикетної суміші з мінімізацією теплових втрат у НВЧ-пристрої. Сумісний вплив двох секцій НВЧ-пристрою дає змогу сформувати результуючий розподіл температури по перерізу діелектричного стрижня відповідно до вимог технологічного процесу та створити умови для його оптимізації (рис. 2 В).

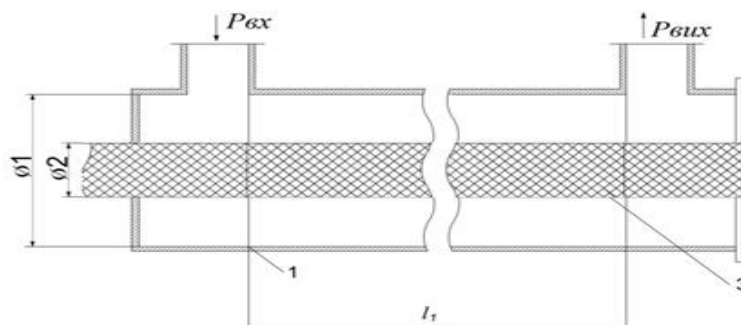
Роботи проводилися в експериментальній лабораторії (рис. 3А) на установці, спроектованій для дослідження процесу виготовлення паливних брикетів (рис. 3Б).

Прес для виробництва паливних брикетів (рис. 3Б) працює так: сировину (гілки, опале листя, деревна стружка, деревна тирса, солома, обрізки деревини і кори дерев, лузга, отримана при обрушенні насіння соняшника, качани і стовбури кукурудзи, очерет тощо або їх суміш) попередньо здрібнюють до фракції 10–12 мм. У змішувач 2 подається рідина і шкіряний пил та готується активатор для змішувача 1. Компоненти змішують до рівномірного розподілу в'язуючого та активатора по поверхні часток .

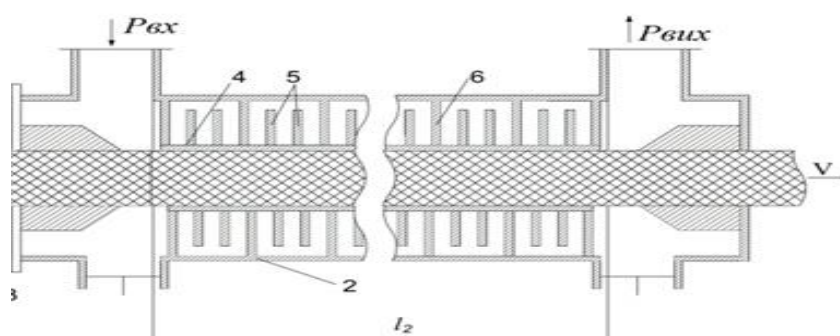
Суміш самозсувом попадає до циліндричної камери шнекового транспортера 4 і піддається пресуванню. Під час пресування суміш ущільнюється, твердіші частинки втискаються у більш пластичні, пресуються, зменшується в об'ємі і продавлюється через конічний отвір формувальної головки 5 в тефлонову трубу 6 з отворами, яка проходить через НВЧ-піч 8. НВЧ-піч 8 обладнана послідовно включеною секцією I

хвилевідного типу, яка проводить сушіння сформованих брикетів вологістю до 12%. Ще однією особливістю печі є використання адаптера при сушінні.

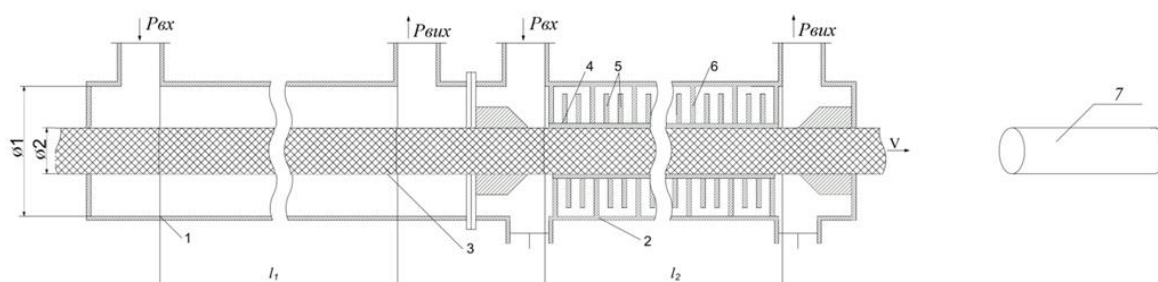
А)



Б)



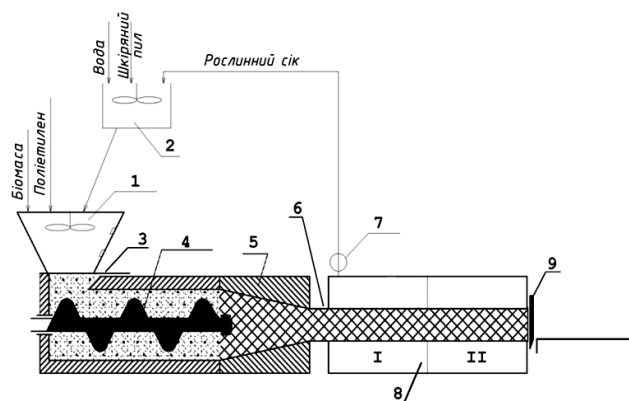
В)



А) Перша електродинамічна система. Б) Друга електродинамічна система. В) Схема НВЧ-пристрою для термообробки брикетів без шнекового преса. 1 – круглий хвилевід; 2 – двомірно-періодична уповільнювальна система; 3 – брикетна суміш; 4 – провідник; 5 – елементи типу «зв’язка»; 6 – елемент типу «індуктивна діафрагма»; 7 – брикет; $\text{Ø}1$ – діаметр круглого хвилеводу; $\text{Ø}2$ – діаметр діелектричного стрижня і діафрагмованного хвилеводу; l_1 – довжина секції круглого хвилеводу; l_2 – довжина секції двомірно-періодичної уповільнювальної системи; v – швидкість руху брикета.

Рис. 2. Раціональний варіант нагрівання брикетної суміші з мінімізацією теплових втрат

При використанні більш вологої біомаси в лінію додатково введений адаптер температури II, виконаний у вигляді уповільнювальної системи, який автоматично підключається до секції хвилевідного типу при вологості більше 12%.



А)

Б)

А) Експериментальна лабораторія для проведення досліджень. Б) Прес для виробництва паливних брикетів

Рис. 3. НВЧ-пристрій для дослідження виробництва брикетів

Адаптер забезпечує формування паливних брикетів по їх товщині при використанні біомаси з високою початковою вологістю. Запропонована конструкція НВЧ-печі поєднує енергоощадність процесу та підвищення якості продукції. Через тефлонову трубу 6 НВЧ-поле проникає в глибокі шари брикетної маси, а волога всередині брикету поглинає електромагнітну енергію й перетворює її в теплову, створюючи умови знезараження рослинної сировини. Відбувається окислення важких металів та переведення їх в неактивні форми. Такі речовини, як фенол розкладаються на більш прості, які здатні окислюватись і перетворюватись у нешкідливі сполуки. Рослинні відходи тріскаються та розпушуються, а тому площа поверхні взаємодії біомаси та поліетилену збільшується. Під дією високої температури всередині брикету подрібнений поліетилен розплавляється, розтікається та більш ефективно проникає в пори і тріщини, рівномірно скріплюючи фракції рослинної сировини. Рідина, що знаходиться в волокнах целюлози, перетворюється в пар і спінує розплав композиту. Волога (рослинний сік), яка випарюється через повздовжні розрізи тефлонової труби 6, видаляється з робочої камери 8 за допомогою насоса 7, який також створює вакуум в камері 8. Висушений брикет виходить з тефлонової труби 6 охолоджується та розділяється на рівні частини механізмом 9, які потім упаковують.

Висновки

1. Здійснено узагальнення та систематизацію уявлень про біоушкодження паливних брикетів із рослинних відходів, визначено

ступінь змін споживчих властивостей під впливом мікроорганізмів.

2. Проаналізовано процес підвищення біостійкості паливних брикетів.

3. Проведено аналітичний огляд основних методів і способів захисту паливних брикетів від біоушкоджень мікроорганізмами.

4. Нова енергоощадна технологія запобігання впливу біокорозії дала змогу поліпшити параметри паливних брикетів.

5. За результатами аналізу проведених лабораторних дослідів доведено, що на інактивацію мікроорганізмів впливає ступінь рівномірності нагрівання брикетної суміші. Запропонована конструкція адаптера НВЧ системи та обґрунтовані режими його роботи.

6. Виконане дослідження дало можливість встановити оптимальні параметри зовнішнього фізичного впливу НВЧ-обробки на мікрофлору біомаси, що дало змогу при мінімальних витратах знищити заселеність брикетної суміші бактеріями і цвіллю та покращити структуру брикету.

Список використаних джерел

1. Virginie Wiktor, Philippe Grosseau, Ren'e Guyonnet, Eric Garcia-Diaz. Biodeterioration of cementitious matrix by fungi. *5th international conference on concrete under severe conditions of environment and loading*. Jun 2007, Tours, France. Pp. 521–528.

2. Sanchez-Silva M, Rosowsky D. V. Biodeterioration of Construction Materials: State of the Art and Future Challenges. *J. Mater. Civ. Eng.* 2008, 20: 352–365.

3. G.A.O. Tiago, A. Mariquito, S. Martins-Dias, et al. The problem of polyethylene waste – Recent attempts for its mitigation. *Science of the Total Environment*. 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164629>

4. Pavlo Lyutyu, Pavlo Bekhta and Galyna Ortynska. Lightweight Flat Pressed Wood Plastic Composites: Possibility of Manufacture and Properties. *Drvna Industrija*. 2018. 69 (1). Pp. 55-62.

5. Warscheid T., Braams J. Biodeterioration of stone: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 2000, 46: 343–368.

6. Pavlo Bekhta, Antonio Pizzi, Iryna Kusniak, Nataliya Bekhta, Orest Chernetskyi and Arif Nuryawan. A Comparative Study of Several Properties of Plywood Bonded with Virgin and Recycled LDPE Films. *Materials*. 2022, 15(14), 4942. doi:10.3390/ma15144942

7. Daniel Friedrich. Thermoforming of wood-plastic composites: a compolytics-approach translating combined polymer and policy analyses into industrial design principles. *The International Journal of Advanced*

Manufacturing Technology. 2023. 124: 3533–3551. doi:10.1007/s00170-022-10760-9

8. Elaine T. Evans. Biodeterioration of cellulose. *Biodeterioration Abstracts*. 1996, 10. No 3. 275-285.

9. Flemming H.-C. Biodeterioration of synthetic materials - A brief review. *Materials and Corrosion*. 2010, 61:986–992.

10. Zhuravska N. Protection of building materials against biodeterioration using energy saving nanotechnology. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture*. Vol. 13, № 8, Lublin, 2014. Pp. 145-152.

11. Полянський О.С., Д'яконов В.І., Д'яконов О.В., Пиріжок В.С. Моделювання процесів біоушкоджень паливних брикетів. *Modern scientific research: achievements, innovations and development prospects. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference. Berlin, Germany. 2021. Pp. 292-299.*

12. Суска А.А., Д'яконов В.І., Д'яконов О.В. Пиріжок В.С. Створення композиційного матеріалу для домобудування та меблевих виробів/ *Science and innovation of modern world. Proceedings of the 7th International scientific and practical conference. London, United Kingdom. 2023. Pp. 285-292.*

13. Огрів Л.Ю., Ястрібінская А.В., Шаповалов І.В., Манушкіна Е. В. Композиційні матеріали з поліпшеними експлуатаційними характеристиками і підвищеною біостійкістю. Будівельні матеріали та виробу. 2003. №9. С. 24-26.

14. Юрченко В.В., Тимофеева Л.А., Пługін А.А. Методика експериментальних досліджень з розроблення складу і технології композиційного матеріалу із термопластичних полімерів і відходів деревини. Збірник наукових праць УкрДАЗТ, 2013, Вип. 138. С. 65-70.

15. Ievlanov M. Improving the mathematical model of change in the body state of an employee. / Serdiuk, N., Feshchenko, A., ...Pivnenko, L., Dyakonov, V. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020, 1(10-103), pp. 32–42.

16. Пат. 104089 Україна, МПК С10L Пат. 5/44. Паливний брикет / Д'яконов О.В., Д'яконов В.І., Полянський О.С., Хворост М.В., Білим П.А. – №201506879; заявл. 10.07.2015; опубл. 12.01.2016, Бюл. № 1. 2 с.

17. Пат. 132620 Україна, МПК В27L 11/00. Гнучка технологічна лінія виготовлення паливних брикетів із рослинних відходів з адаптером температури / Д'яконов О.В., Д'яконов В.І., Полянський О.С., Грязнова С.А., Домбровська А.В. №201807056; заявл. 23.06.2018; опубл. 11.03.2019, Бюл. № 5. 9 с.

References

1. Virginie Wiktor, Philippe Grosseau, Ren´e Guyonnet & Eric Garcia-Diaz (2007). Biodeterioration of cementitious matrix by fungi. *5th international conference on concrete under severe conditions of environment and loading*. Tours, France. 521–528.
2. Sanchez-Silva, M. & Rosowsky, D. V. (2008). Biodeterioration of Construction Materials: State of the Art and Future Challenges. *J. Mater. Civ. Eng.*, 20: 352–365.
3. Tiago, G.A.O., Mariquito, A., Martins-Dias, S., et al. (2023). The problem of polyethylene waste – Recent attempts for its mitigation. *Science of the Total Environment*. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164629>
4. Pavlo Lyutyty, Pavlo Bekhta & Galyna Ortynska. Lightweight Flat Pressed Wood Plastic Composites: Possibility of Manufacture and Properties. *Drvna Industrija*. 2018. 69 (1). Pp. 55-62.
5. Warscheid. T. & Braams J. (2000). Biodeterioration of stone: a review. *International Biodeterioration & Biodegradation*. 46. 343–368.
6. Pavlo Bekhta, Antonio Pizzi, Iryna Kusniak, Nataliya Bekhta, Orest Chernetskyi & Arif Nuryawan. (2022). A Comparative Study of Several Properties of Plywood Bonded with Virgin and Recycled LDPE Films. *Materials*, 15(14), 4942. doi:10.3390/ma15144942
7. Daniel Friedrich. (2023). Thermoforming of wood-plastic composites: a compolytics-approach translating combined polymer and policy analyses into industrial design principles. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 124. 3533–3551. doi:10.1007/s00170-022-10760-9
8. Elaine T. Evans. (1996). Biodeterioration of cellulose. *Biodeterioration Abstracts*. 10. No 3. 275-285.
9. Flemming H.-C. (2010). Biodeterioration of synthetic materials - A brief review. *Materials and Corrosion*. 61. 986–992.
10. Zhuravska, N. (2014). Protection of building materials against biodeterioration using energy saving nanotechnology. *Motrol. Commission of motorization and energetics in agriculture*. 13. № 8. 45-152.
11. Polianskyi, O. S., Diakonov, V. I., Diakonov, O. V., Pyrizhok, V. S. Modeliuvannia protsesiv bioushkodzhen palyvnykh bryketiv [Modeling of processes of biodamage of fuel briquettes]. (2021). *Modern scientific research: achievements, innovations and development prospects. Proceedings of the 6th International scientific and practical conference*. Berlin, Germany. 292-299.
12. Suska, A. A., Diakonov, V. I., Diakonov, O. V. Pyrizhok, V. S. (2023). Stvorennia kompozytsiinoho materialu dlia domobuduvannia ta meblevykh vyrobiv [Creation of composite material for home construction and furniture products]. *Science and innovation of modern world. Proceedings of*

the 7th International scientific and practical conference. London, United Kingdom. 285-292.

13. Ohriv, L. Iu., Yastribinskaia, A. B., Shapovalov, I. V., Manushkina, E. V. (2003). Kompozytsiini materialy z polipshenymy ekspluatatsiinymy kharakterystykamy i pidvyshchenoiu biostiikistiu {Composite materials with improved operational characteristics and increased biostability}. *Budivelni materialy ta vyroby [Building materials and products]*. No 9. 24-26.

14. Yurchenko, V. V., Tymofeieva, L. A., Pluhin, A. A. (2013). Metodyka eksperymentalnykh doslidzhen z rozroblennia skladu i tekhnolohii kompozytsiinoho materialu iz termoplastychnykh polimeriv i vidkhodiv derevyny [Methods of experimental research on the development of composition and technology of composite material from thermoplastic polymers and wood waste]. *Zbirnyk naukovykh prats UkrDAZT. Vyp. 138. S. 65-70.*

15. Ievlanov, M., Serdiuk, N., Feshchenko, A., Pivnenko, L., ... Dyakonov, V. (2020) Improving the mathematical model of change in the body state of an employee. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(10-103). 32–42.

16. Patent 104089 Ukraina, MPK S10L Pat. 5/44. Palyvnyi bryket [Fuel briquette]. Diakonov, O. V., Diakonov, V. I., Polianskyi, O. S., Khvorost, M. V., Bilym, P. A. – №201506879; zaiavl. 10.07.2015; opubl. 12.01.2016, Biul. 1. 2 s.

17. Patent 132620 Ukraina, MPK V27L 11/00. Hnuchka tekhnolohichna liniia vyhotovlennia palyvnykh bryketiv iz roslynnykh vidkhodiv z adapterom temperatury [Flexible technological line for the production of fuel briquettes from vegetable waste with a temperature adapter]. Diakonov, O. V., Diakonov, V. I., Polianskyi, O. S., Hriaznova, S. A., Dombrovska, A. V. №201807056; zaiavl. 23.06.2018; opubl. 11.03.2019, Biul. 5. 9 s.

Suska A.A., Dyakonov V.I., Shevchenko S.A. Composite fuel briquette with increased term of storage. Subject of study. *The paper analyzes the processes of biodamage of fuel briquettes. It has been established that biodestructors are able to quickly adapt to various materials as sources of power (even heavy metals), environmental conditions, and means of protection. The regularities of the influence of microorganisms on the operational properties of fuel briquettes are shown. Mass development of mold fungi can cause serious diseases, as among them there are species pathogenic for humans. As a result of complex physical and chemical research, the mechanisms of mycodestruction of the briquette mixture were established, which allows us to get an idea of the performance of the product.*

The aim of the study. *An important task related to the development of the scientific foundations of the directed application of physical modification of the*

briquette mixture in the form of microwave action in the technology of obtaining a wide range of products from a multicomponent component for solid fuel, which is aimed at increasing efficiency and achieving resource and energy saving in their production, has been solved.

Results of work. *Thanks to the comprehensive use of the results of the scientific researches and the proposed methods, improved technological bases and equipment for connecting the particles of the briquette mixture have been developed.*

The use of this composite material is associated with the possibility of shaping the energy and mechanical characteristics of the fuel briquette by selecting their qualitative and quantitative composition, the shape of the component particles, the geometry of the mutual placement (connectivity) of the components. It has been proven that, depending on the connectivity of the components, three main effects of the interaction of their properties are possible: the sum effect, the combination effect, and the product effect, which allows not only to strengthen or weaken the properties of its components in a composite material, but also to obtain fundamentally new properties that are not have composite components.

It has been experimentally investigated that the amount of energy saving during microwave fuel briquette formation can be controlled by selecting certain ratios between modes and static pressure. It has been established that the application of effective parameters of microwave volumetric impact on the mixture of fuel briquettes under negative pressure leads to improvement of operational properties (heat capacity, moisture resistance, strength, deformation at break,)

Key words: *biodamage, fuel briquettes, microscopic fungi, bacteria, yeast, heavy metals, composite material.*

Стаття надійшла до редакції: 11.05.2024р.