

<https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-353-44>

УДК 674.81; 621.926.4

КРАВЕЦЬ ОЛЕКСАНДР

Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»
<https://orcid.org/0000-0002-3079-7562>
e-mail: oleksandr@kravets.com.ua

ТІТОВА ОЛЕНА

Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»
<https://orcid.org/0009-0004-7474-2506>
e-mail: elenatitova@gmail.com

КРАВЕЦЬ ВАСИЛЬ

Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»
<https://orcid.org/0000-0001-7231-2175>
e-mail: kravets_vi@outlook.com

КАБАТ ОЛЕГ

Український державний університет науки і технологій,
ННІ «Український державний хіміко-технологічний університет»
<https://orcid.org/0000-0001-7995-5333>
e-mail: amber_UDHTU@i.ua

РОЗРОБКА ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ОРГАНІЧНИХ НАПОВНЮВАЧІВ ДЛЯ БІОДЕГРАДАБЕЛЬНИХ ПОЛІМЕРІВ

На сьогоднішній день актуальним питанням є розробка методів і обладнання для подрібнення органічних наповнювачів. Вони відіграють важливу роль у виробництві біодеградабельних полімерів. Органічні наповнювачі допомагають знизити вартість матеріалу, поліпшують його властивості, такі як біорозкладність, механічні характеристики та здатність до компостування. В роботі представлена принципова схема експериментальної установки та розроблений млин для подрібнення органічних наповнювачів. Проведені дослідження геометричних параметрів млина, елементів граничної сепарації та їх взаємозв'язок з технологічними параметрами здрибнювання для забезпечення сушки та гранулометричного складу готового продукту. Наведені результати досліджень впливу ширини сепараційних кілець млина на гранулометричний склад подрібненого продукту при подрібненні деревини хвойних порід та пшеничної соломи.

Ключові слова: органічні наповнювачі, млин ударно-відбивної дії, біодеградабельні полімери.

KRAVETS OLEKSANDR, TITOVA OLENA, KRAVETS VASYL, KABAT OLEH

Ukrainian State University of Science and Technology,
Research Institute "Ukrainian State University of Chemical Technology"

DEVELOPMENT OF EQUIPMENT FOR GRINDING ORGANIC FILLERS FOR BIODEGRADABLE POLYMERS

This work is dedicated to the development of methods and equipment for grinding organic fillers, which play a crucial role in the production of biodegradable polymers. Organic fillers help reduce material costs and improve properties such as biodegradability, mechanical characteristics, and compostability. The fine grinding process of organic fillers is a critical stage in the production of composite materials based on biodegradable polymers, which are widely used in the food, construction, agricultural, and biomedical industries, among others. The use of fillers in biodegradable polymers allows for the creation of environmentally friendly materials with a wide range of properties that meet modern sustainability requirements.

This study presents the conceptual design of an experimental setup and the development of a grinding mill for processing organic fillers. The vertical shaft impact mill is designed for continuous fine and ultra-fine grinding of organic fillers. It enables material drying without additional heat supply. The mill combines high-speed impact fragmentation, particle attrition in vortex flows, and air classification of the material at each stage.

The research investigates the geometric parameters of the mill, the elements of boundary separation, and their relationship with the technological parameters of grinding. The study examines how the width of the mill's separation rings affects the particle size distribution of the ground material. During the experimental studies, the following plant raw materials were processed: coniferous wood and wheat straw. Grinding was carried out with an air supply through the mill in the range of 400–600 m³/h. The mill temperature under different settings ranged from 52°C to 67°C. The particle size distribution of the product was analyzed using sieve analysis and digital optical microscopy.

Keywords: organic fillers, vertical shaft impact mill, biodegradable polymers.

Стаття надійшла до редакції / Received 01.04.2025

Прийнята до друку / Accepted 25.04.2025

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Процес тонкого подрібнення органічних наповнювачів є критичним етапом у виробництві композитних матеріалів на основі біодеградабельних полімерів, які широко застосовуються в харчовій,

будівельній промисловості, сільському господарстві, біомедицині тощо.[1] Використання наповнювачів у біодеградабельних полімерах дозволяє створювати екологічно чисті матеріали з широким спектром властивостей, що відповідають сучасним вимогам сталого розвитку.[2]

Органічні наповнювачі відіграють важливу роль у виробництві біодеградабельних полімерів. Вони не тільки допомагають знизити вартість матеріалу, але й поліпшують його властивості, такі як біорозкладність, механічні характеристики та здатність до компостування. Найпоширеніші органічні наповнювачі: деревна мука, крохмаль, волокна рослин та ін.[3,4] Також широко використовуються відходи сільського господарства та харчової промисловості: вичавки зерна, яєчна шкаралупа, шкаралупа горіхів, лушпиння соняшника. Ці відходи можуть бути перероблені в наповнювачі, що сприяє вирішенню проблеми утилізації відходів. [5]

Таким чином, актуальним завданням є розробка методів і обладнання для подрібнення органічних наповнювачів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

На сьогоднішній день у виробництві рослинних наповнювачів в промисловості використовують стандартні схеми з багатадійними сушкою, подрібненням та класифікацією [6-8]. Відрізняються схеми тільки різним сушильним обладнанням та млинами, такими як молоткові, барабанні дробарки та дезінтегратори [7]. Наприклад, в [8] передбачається окрема сушарка та три стадії подрібнення. Зараз найбільш часто використовуються при виробництві деревного борошна молоткові дробарки, які відносять до млинів ударної дії. Процес подрібнення матеріалу відбувається в просторі між ротором млина і решетом-калібрувальником, з якого і виходить деревне борошно певного розміру. Такий принцип подрібнення використовують на підприємствах у тих випадках, коли достатньо отримати продукт грубого помелу. Однак створити таким способом дисперсний порошок досить складно. Відцентровий млин має істотні переваги, порівняно зі стандартним обладнанням для подрібнення.

Формулювання цілей статті

Метою роботи є розробка методів і обладнання для подрібнення органічних наповнювачів. Робота спрямована на проведення досліджень геометричних параметрів самого млина, елементів граничної сепарації та їх взаємозв'язок з технологічними параметрами здрібнювання для забезпечення сушки та гранулометричного складу готового продукту.

Виклад основного матеріалу

Дослідження проводилися на експериментальній установці, схема якої наведена на рис. 1.

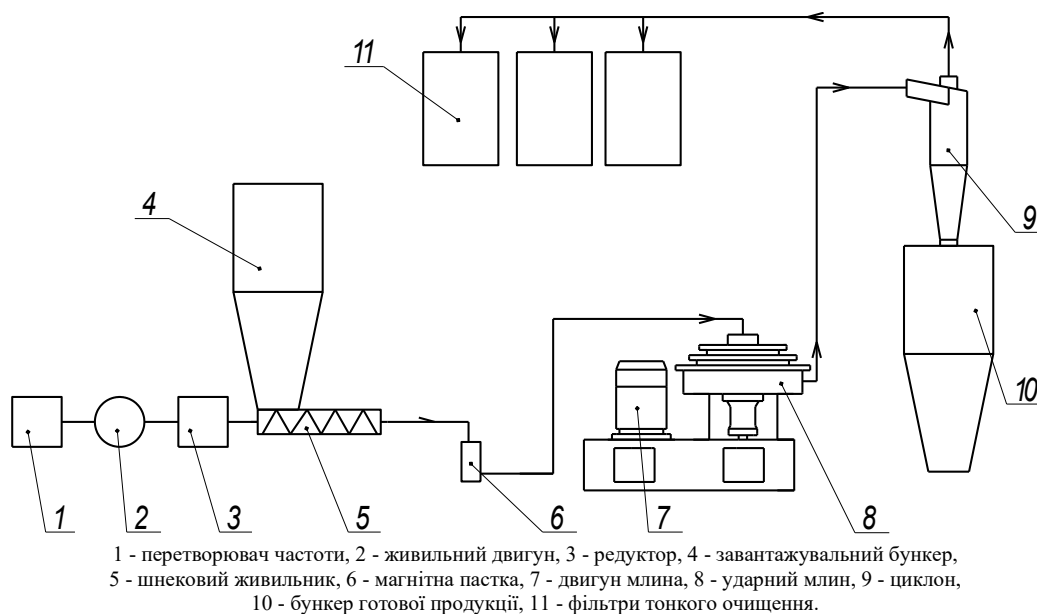


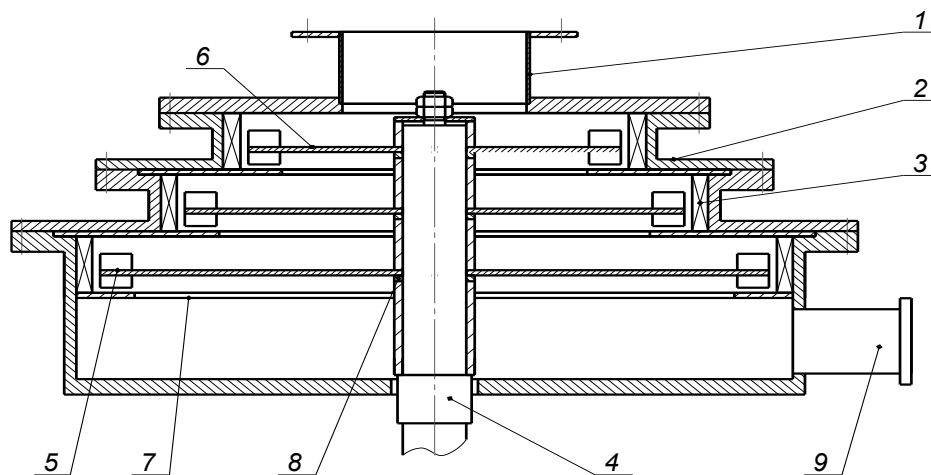
Рис. 1. Принципова схема експериментальної установки

Установка працює наступним чином. З завантажувального бункера 4 матеріал подається шнековим живильником 5 в живильну трубу млина 8. Привід шнекового живильника складається з асинхронного двигуна 2 і черв'ячного редуктора 3. Перетворювач частоти 1 дозволяє плавно змінювати частоту напруги живлення і, таким чином, продуктивність шнекового живильника 5. Подаючий трубопровід оснащений магнітною пасткою 6, яка запобігає потраплянню металевих включень в зону подрібнення. Очищений від металевих домішок матеріал надходить в робочу камеру млина 8. Подрібнений до необхідного розміру матеріал транспортується разом з повітрям в циклон 9. Відокремлений від пилогазової суміші матеріал надходить в бункер готової продукції 10. Пилогазова

суміш остаточно очищається в тканинних фільтрах тонкого очищення 11. Очищене повітря викидається в атмосферу.

Млин працює наступним чином (рис.2). Сировина надходить на диск першого ступеня 6 через вхідний отвір 1 через трубу, що подає, і під дією відцентрових сил і повітряного потоку переміщається в зону подрібнення, яка створюється білами 5 і відбійниками 3. Великі частинки або руйнуються в момент удару відбійниками 3, або повертаються на диск ротора 6 за рахунок пружних сил і вихрових потоків.

Дрібні частинки, що утворюються в процесі руйнування вихідних частинок, під впливом повітряного потоку проходять через зазор між диском ротора 6 і відбійниками 3 і потрапляють в зону розділення, утворену сепараційним кільцеподібним диском 7 і нижньою поверхнею диска ротора 6. Частинки, що надходять в сепараційний тунель, піддаються дії відцентрових і аеродинамічних сил, спрямованих один навпроти одного. Якщо відцентрова сила, що діє на частинку, більше аеродинамічної, частинка повертається в зону інтенсивного подрібнення, а якщо навпаки, то переходить в наступну стадію подрібнення, де описаний вище процес подрібнення і сепарації повторюється при більш високих навантаженнях. Подрібнений продукт разом з потоком повітрям видаляється з камери подрібнення через вихідний отвір 9.



1 - вхідний патрубков, 2 - корпус ступені, 3 - елементи відбійника, 4 - вал, 5 - біли, 6 - робочі диски, 7 - сепараційні кільцеподібні диски, 8 - регулювальні кільця, 9 - вивантажувальний патрубков

Рис. 2. Відцентровий млин

При проведенні експериментальних досліджень подрібнювалась наступна рослинна сировина: деревина хвойних порід, пшенична солома. Фотографії початкового матеріалу для подрібнення наведені на рис. 3.



а)



б)

Рис. 3. Початковий матеріал: а) – деревина хвойних порід, б) – пшенична солома

Подрібнення проводилось при витратах повітря через млин в діапазоні 400-600 м³/год. Температура млина на різних варіантах налаштування складала від 52°C до 67°C. При аналізі отриманих результатів використовувались ситовий аналіз та цифрова оптична мікроскопія. Витрати повітря контролювались анемометром ProsKit MT-4005, температура – лазерним пірометром TermoSpot One 082.038A. Для зразка 1 використовувалось сепараційне кільце діаметром 590 мм, для зразка 2 – діаметром 530 мм. Фотографії подрібненої деревини (рис. 4) та пшеничної соломи (рис.5) наведені нижче.

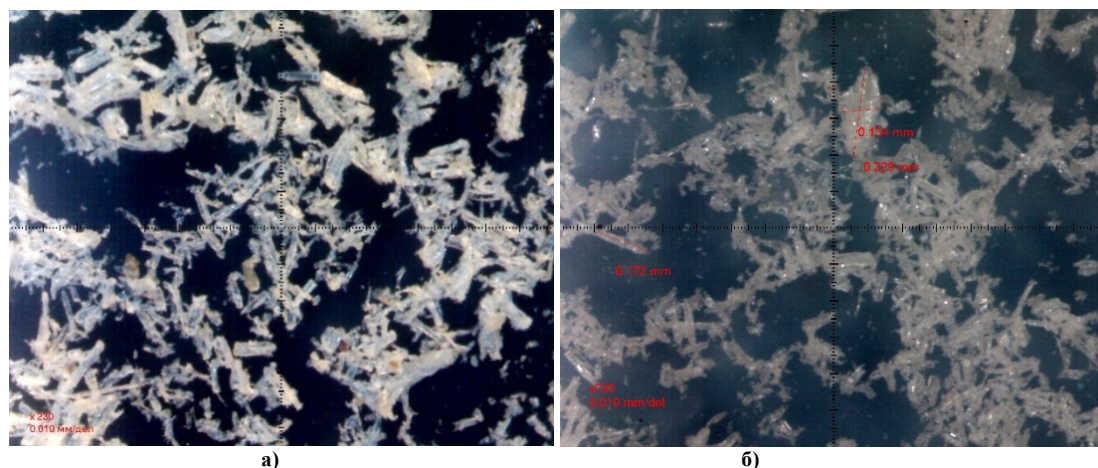


Рис. 4. Подрібнена деревина. Ціна поділки сітки: 0,010 мм. а) зразок 1, б) зразок 2

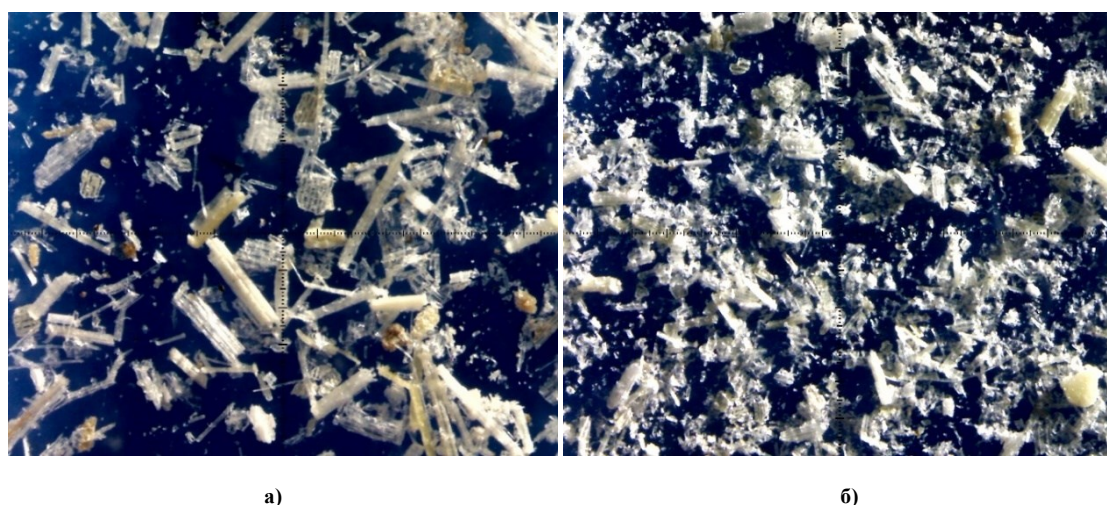


Рис. 4. Подрібнена пшенична солома. Ціна поділки сітки: 0,020 мм. а) зразок 1, б) зразок 2

Результати досліджень впливу ширини сепараційних кілець млина на гранулометричний склад подрібненого продукту наведені нижче (табл. 1).

Таблиця 1

Гранулометричний склад подрібнених матеріалів

Розмір часток початкового матеріалу	Зразок № 1 деревина	Зразок № 2 деревина	Зразок № 1 пшенична солома	Зразок № 2 пшенична солома
0 – 160 мкм	84,04	90,31	57,54	85,6
160 – 400 мкм	13,06	8,59	38,8	11,3
> 400 мкм	2,90	1,10	3,66	3,1

Висновки

Розроблений нами млин ударно відбивної дії застосовується для безперервного тонкого та надтонкого подрібнення органічних наповнювачів. Дозволяє здійснювати сушіння подрібнюваного матеріалу без додаткового підведення тепла. За необхідності дає змогу поєднувати подрібнення і якісне змішування з невеликими кількостями (1-5%) добавок. У млині поєднані процеси високошвидкісного ударного руйнування, стирання частинок у вихрових потоках і повітряної класифікації матеріалу на кожному ступені.

Нами були проведені дослідження і отримані хороші результати з подрібнення у відцентровому млині деяких видів найпоширеніших органічних наповнювачів, таких як деревина, солома та ін. Під час подрібнення різних матеріалів у млині було досягнуто високої продуктивності за невеликих енерговитрат, а також необхідного гранулометричного складу кінцевого продукту без використання додаткового обладнання для класифікації. Якість подрібнених порошоків відповідає нормам міжнародних стандартів і не поступається закордонним аналогам.

Література

1. Суховій А. В. Нові наповнювачі для полімерних композиційних матеріалів / А. В. Суховій, Л. А. Чурсіна, Г. А. Тіхосова, Н. В. Нежлукченко // Вісник Національного технічного університету „ХНТУ”. — 2020. — Вип. 2. — С. 61—68.
2. Danchenko Yu. Research of chemical nature and surface properties of plant disperse fillers / Yu. Danchenko, A. Kariev, V. Andronov, A. Cherkashina, V. Lebedev, T. Shkolnikova, O. Burlutskyi, A. Kosse, Yu. Lutsenko, D. Yavorska // East.-Europ. J. of Enterp. Tech. — 2020. — Vol. 1, no. 6. — P. 32—41.
3. Застосування деревної муки [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://yak.koshachek.com/articles/zastosuvannja-derevnoi-muki.html> (дата звернення: 11.02.2025). — Назва з екрана.
4. Застосування деревного борошна. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://bio.ukr.bio.ua/articles/5242/> (дата звернення: 11.02.2025). — Назва з екрана.
5. Данченко Ю.М. Фізико-механічні властивості композитів на основі вторинного поліпропілену та дисперсних рослинних відходів / Ю. М. Данченко, А. І. Карєв, О. С. Барабаш, Т. М. Обіженко, В. В. Лебедев // Problems of Emergency Situations : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., [Харків], 20 трав. 2020 р. / Національний університет цивільного захисту України. — Харків, 2020. — С. 285—287.
6. Кашицький В. П. Розробка біокомпозитів, наповнених продуктами переробки вторинної сировини рослинного походження / В. П. Кашицький, О. Л. Садова, О. В. Заболотний, В. М. Малець, В. С. Мазурок // Вісник Вінницького політехнічного інституту. Серія: Машинобудування і транспорт. — 2022. — № 1. — С. 95—102.
7. Барабанний млин для подрібнення рослинної сировини : пат. 42288 Україна : B02C17/00 / О. І. Черевко, Г. І. Максименко. — № у 2020 03823 ; заявл. 25.06.2020 ; опубл. 07.01.2021, Бюл. №1. — 4 с.
8. Засіб для подрібнення висушеної рослинної сировини : пат. 135967 Україна : B02C 7/00, B02C 7/17 / О. І. Черевко, М. О. Янчева, Г. І. Максименко. — № у 2019 01791 ; заявл. 21.02.2019 ; опубл. 25.07.2019, Бюл. №14. — 2 с.

References

1. Sukhovii A. V. Novi napovniuvachi dlia polimernykh kompozytsiinykh materialiv / A. V. Sukhovii, L. A. Chursina, H. A. Tikhosova, N. V. Nezhlukchenko // Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu „KhNTU”. — 2020. — Vyp. 2. — S. 61—68.
2. Danchenko Yu. Research of chemical nature and surface properties of plant disperse fillers / Yu. Danchenko, A. Kariev, V. Andronov, A. Cherkashina, V. Lebedev, T. Shkolnikova, O. Burlutskyi, A. Kosse, Yu. Lutsenko, D. Yavorska // East.-Europ. J. of Enterp. Tech. — 2020. — Vol. 1, no. 6. — P. 32—41.
3. Zastosuvannia derevnoi muki [Elektronnyi resurs]. — Rezhym dostupu: <https://yak.koshachek.com/articles/zastosuvannja-derevnoi-muki.html> (data zvernennia: 11.02.2025). — Nazva z ekrana.
4. Zastosuvannia derevnoho boroshna. [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <https://bio.ukr.bio.ua/articles/5242/> (data zvernennia: 11.02.2025). — Nazva z ekrana.
5. Danchenko Yu.M. Fyzyko-mekhanichni vlastyvyosti kompozytiv na osnovi vtorynnoho polipropilenu ta dyspersnykh rosllynnykh vidkhodiv / Yu. M. Danchenko, A. I. Kariev, O. S. Barabash, T. M. Obizhenko, V. V. Lebedev // Problems of Emergency Situations : materialy Mizhnar. nauk.-prakt. konf., [Kharkiv], 20 trav. 2020 r. / Natsionalnyi universytet tsyvilnoho zakhystu Ukrainy. — Kharkiv, 2020. — S. 285—287.
6. Kashytskyi V. P. Rozrobka biokompozytiv, napovnenykh produktamy pererobky vtorynnoi syrovyny rosllynnoho pokhodzhennia / V. P. Kashytskyi, O. L. Sadova, O. V. Zabolotnyi, V. M. Malets, V. S. Mazurok // Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. Seriya: Mashynobuduvannia i transport. — 2022. — № 1. — S. 95—102.
7. Barabannyi mlyn dlia podribnennia rosllynnoi syrovyny : pat. 42288 Ukraina : B02C17/00 / O. I. Cherevko, H. I. Maksymenko. — № u 2020 03823 ; zaiavl. 25.06.2020 ; opubl. 07.01.2021, Biul. №1. — 4 s.
8. Zasib dlia podribnennia vysushenoї rosllynnoi syrovyny : pat. 135967 Ukraina : V02S 7/00, V02S 7/17 / O. I. Cherevko, M. O. Yancheva, H. I. Maksymenko. — № u 2019 01791 ; zaiavl. 21.02.2019 ; opubl. 25.07.2019, Biul. №14. — 2 s.