

DOI <https://doi.org/10.32782/2078-0877-2025-25-2-27>

УДК 669.01:621.9

О. О. Червоткіна, асистент

ORCID: 0009-0002-6814-0566

О. П. Прокопенко, асистент

ORCID: 0009-0005-7304-923X

Н. О. Паляничка, канд. техн. наук, доцент

ORCID: 0000-0001-8510-7146

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного

e-mail: olena.prokopenko@tsatu.edu.ua

ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ПАЛИВНИХ ПЕЛЛЕТ ІЗ ДЕРЕВИНИ ЛИСТЯНИХ ПОРІД

Анотація. Дані дослідження спрямовані на вивчення фізико-механічних властивостей паливних пелет, які отримуються з деревини листяних порід. У результаті дослідження встановлено, що використовувати листяні породи деревини у їх незмінному вигляді є недоцільним, оскільки отримані пелети з такої сировини мають знижену механічну міцність. Технологічним розв'язанням цієї проблеми стала обробка подрібненої деревної маси насиченою парою. Результати виробничих випробувань засвідчили, що таке активування деревних часток листяних порід дає можливість виробляти паливні пелети необхідного стандарту якості. Технічною рисою технології є застосування матриці з довжиною пресуючого каналу 33 мм.

Ключові слова: пелети, гранулювання, матриця, деревина, паливні гранули, пресуючий канал.

Постановка проблеми. Сучасна тенденція у розвитку паливно-енергетичного комплексу України пов'язується з якнайширшим застосуванням відновлюваних та екологічно безпечних джерел сировини. До таких найбільш доступних джерел належать відходи лісозаготівлі та переробки дерева. Ця сировина є висококалорійним паливом. Перспективним напрямом використання відходів деревообробних підприємств вважається виробництво пресованих матеріалів (біопалива) як паливних гранул. Сьогодні на ринку паливних пелет швидко зростає не тільки попит, а й сам ринок розширюється колосальними темпами [1].

У традиційній технології виробництва паливних пелет застосовуються хвойні породи дерев, а також відходи після обробки лісу. Слід зазначити, що деревина хвойних порід є дороговартісною та дефіцитною сировиною, а також вона широко використовується в деревообробній промисловості [2]. Попит на такі види сировини підвищений, тому ресурси цієї деревини неухильно скорочуються. Це зумовлює потребу здійснення робіт у напрямі залучення в технологію паливних пелет дешевшої та малоцінної деревини м'яколистяних порід, яка значною мірою все ще не має задовільного практичного використання в різних галузях промислового виробництва.

Аналіз останніх досліджень. Нині у багатьох країнах світу проводяться дослідження щодо отримання високоякісного палива, яке буде відновлюваним і матиме низьку собівартість [3]. Розроблення технологій переробки відходів потрібно виконувати з урахуванням комплексного застосування сировини та її екологічної безпечності. Сьогодні таким вимогам задовольняє біопаливо, яке можна отримувати за рахунок переробки відходів. Для того щоб отримати біопаливо, необхідно застосовувати технологію брикетування, але має бути попереднє сортування та подрібнення відходів, які надходять на комплекси сортування сміття [4].

Формування мети статті. Відомо, що технологія та якості застосованої деревної сировини значно впливають на якість здобутого біопалива. Тож інтерес становить дослідження фізико-механічних показників якості паливних пелет, вироблених із деревини листяних порід, та зіставлення їх із пелетами із хвойної деревини – сосни. Згідно з літературними даними, струк-

тура, морфологія та габарити анатомічних елементів істотно відрізняються не лише у хвойної та листяної деревини, а й у межах окремих порід [3].

Основна частина. Отримано паливні пелети з таких лісоутворювальних порід України: берези [*Betula verrucosa* Ehrh], вільхи [*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn] та сосни [*Pinus silvestris* L.]. Зразки було виготовлено за температури гранулювання 110°C, час пресування – 15 хв. Вологість вихідної сировини становила від 8% до 11%, використовувалася фракція розміром 1,0/3,0, охолодження пелет робили до температури 20°C. Для дослідження фізико-механічних характеристик одержаних зразків паливних пелет визначали такі показники: вологість, зольність, щільність, нижча теплота згоряння та механічна міцність. Результати випробувань отриманих паливних пелет подано в табл. 1.

Таблиця 1

Фізико-механічні характеристики паливних пелет

Найменування показника	Порода деревини		
	Береза	Вільха	Сосна
Вологість, %	7,96	8,95	8,36
Зольність, %	0,77	0,71	0,27
Щільність, кг/м ³	1110	1200	1150
Механічна щільність, МПа	8,06	8,74	9,83
Нижча теплота горіння, МДж/кг	18,43	17,49	18,39

Із табл. 1 видно, що показники нижчої теплоти згоряння пелет із деревини листяних і хвойних порід можна порівняти, вони варіюються в інтервалі від 17,49 до 18,43 МДж/кг. Щодо зольності, то пелети з листяної деревини мають приблизно в 3,5 рази більшу зольність порівняно з хвойними породами. Однак утворюваний у процесі згоряння попіл може застосовуватися як добриво. Отримані з деревини вільхи та берези пелети мали знижену механічну міцність (відповідно на 11% і 18%) порівняно з тією, що досягається під час використання деревини сосни.

Це не дає змоги повною мірою використовувати її у складі паливних пелет. Наведені нижче результати промислових випробувань продемонстрували, що, застосовуючи додаткову обробку насиченою паром деревних часток із листяних порід, можна досягти показника механічної міцності паливних пелет (гранул), порівняного з показником використання деревини хвойних порід. Процес пропарювання деревних часток є досить дієвим способом підвищення механічної міцності паливних гранул.

Дія насиченої пари спричинила активізацію складників деревини, виникнення нових функціональних груп, які підсилюють адгезійні взаємодії у процесі формування пелет (гранул). Відбувалося додаткове зволоження деревних частинок, через що температура у прес-грануляторі зростала зі 110 до 120°C. Висока температура пресування сприяла швидкому плину реакцій та накопиченню все більшої кількості високомолекулярних сполук переважно за рахунок високореакційних геміцелюлоз. Розплавлені та розм'якшені складники заповнювали порожнечі між волокнами та капілярною і субмікрокапілярною системами клітинних стінок [4; 5]. Дедалі більше зростала кількість зшивок між молекулами компонентів деревини, зокрема і просторових, котрі й забезпечили формування міцні вироби. Отримували пелети у вигляді гранул таких геометричних розмірів: довжиною 10–30 мм та діаметром 6 мм. Уміст берези в композиції гранул становив 35%, вільхи – 20%, осики – 40%, сосни – 5%.

Промислова лінія повного циклу для виготовлення паливних гранул із пропарених деревних часточок охоплює таке основне обладнання: машина для рубання, подрібнювач, млин,

сушарка, прес-гранулятор, обладнаний пристроєм для подачі насиченої пари, охолоджувальною колоною та лінією для пакування. На рис. 1 представлено послідовність виконання операцій із застосуванням переліченого обладнання [6].

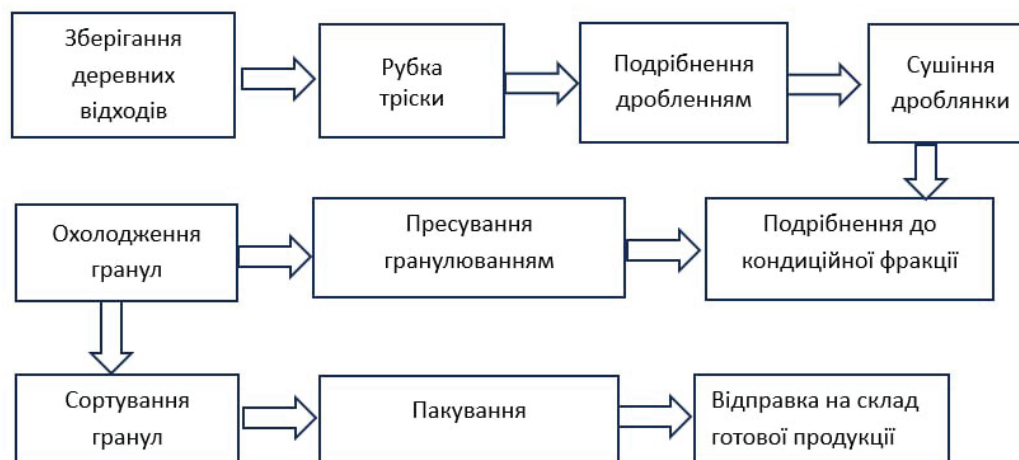


Рис. 1. Послідовність виконання операцій під час виготовлення паливних гранул із застосуванням деревини листяних порід

Загалом тепер технологічний процес одержання паливних гранул із застосуванням додатково до листяних порід деревини сосни є доволі простим, не трудомістким та найголовніше – автоматизованим.

Технічною рисою виробничого процесу стало використання матриці з довжиною ефективного пресувального каналу 33 мм (замість 45 мм), оскільки деревина листяних порід потребувала більш короткочасної термічної обробки порівняно з деревиною хвойних порід. У результаті відбулося зниження споживання електроенергії, що привертає особливий інтерес до використання деревини різних листяних порід технології паливних гранул.

Фізико-механічні властивості здобутих паливних гранул наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Фізико-механічні характеристики паливних гранул, виготовлених з обробленої насиченою парою деревини

Найменування показника	Вимоги	Порода деревини	
		Сосна	Суміш листяних порід
Вологість, %	9–10	7,9	6,3
Зольність, %	0,4–1,2	0,22	0,78
Щільність, кг/м ³	1200–1400	1170	1220
Частка, %	7,0–8,5	1,4	2,0
Нижча теплота згоряння	більше 16 900	17 520	17 810

Із табл. 2 видно, що у паливних гранул, вироблених з оброблених насиченою парою деревинних часточок, показник частки дріб'язку має низьке значення, яке перевищує його у 3,5 рази, що вказує на високу механічну міцність, яка зіставна з міцністю пелет, здобутих із деревини сосни. Листяні породи деревини виділяють достатню кількість тепла під час згоряння, що дає змогу робити висновок про їхню високу теплотворну здатність. Деяке збільшення показника зольності гранул, здобутих із композиції, що містить листяні породи деревини, знаходиться в межах припустимих значень.



Висновки. Проведені дослідження показали ймовірність майже повної заміни у виробництві паливних пелет у формі гранул цінної та дефіцитної деревини хвойних порід на недорогі та малоцінні м'яколистяні породи. Це досягається завдяки обробці деревних часток насиченою парою безпосередньо перед їх пресуванням (гранулюванням). Активування парою деревних часток листяних порід дає змогу отримувати паливні гранули з показниками.

Список використаних джерел

1. Червоткіна О.О., Олексієнко В.О., Фучаджи Н.О. Рациональное використання відходів виробництва морквяного соку *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2012. Вип. 12. Т. 4. С. 216–221.
2. Олексієнко В.О., Червоткіна О.О., Циб В.Г. Дослідження механізмів гранулювання. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2016. Вип. 16. Т. 1. С. 269–273.
3. Назаров В.І., Макаренков Д.А., Булатов І.А. Дослідження процесу гранулювання дисперсних відходів на роторних пресах із плоскою матрицею. *Вісник КПІ*. 2010. Т. 5. № 6. С. 13–16.
4. Модін Н.А., Єрошкін О.М. Брикетування подрібненої деревини та деревної кори. Київ : Ліра, 2020. 112 с.
5. Модін Н.А., Єрошкін О.М., Мурзіч Р.М., Гудців Р.І. Зусилля, що розпирають та коефіцієнти тертя при пресуванні подрібненої деревини в матрицях. Технічна інформація. Харків : ХНТУСГ, 2018. С. 23–26.
6. Івін Є.Л., Глухівський В.М. Гранулювання деревини. Практичні та теоретичні основи, або Що відбувається всередині гранулятора. *Біоенергетика*. 2007. № 3. С. 15–19.
7. Завражнов А.А. Пресування деревних композиційних матеріалів із продукуючою парою і вакуумуванням : автореф. дис. ... канд.техн. наук. 2020. 19 с.
8. Юдіна Р.В. Розробка режимів гідравлічного вібратора преса підвищення фізико-механічних властивостей ущільненої деревини : автореф. дис. ... канд. техн. наук. 2017. 16 с.
9. Ялпачик В.Ф., Буденко С.Ф., Олексієнко В.О., Червоткіна О.О. Дослідження коефіцієнта тертя гранульованого жому моркви *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету*. 2018. Вип. 18. Т. 1. С. 112–118.
10. Червоткіна О.О., Стручаєв М.І., Тарасенко В.Г. Дослідження процесу гранулювання овочевих відходів за допомогою пресгранулятора з плоскою матрицею. *Праці Таврійського державного агротехнологічного університету* 2021. Вип. 21. Т. 1. С. 160–168.

Стаття надійшла до редакції 17.04.2025

O. Chervotkina, O. Prokopenko, O. Palyanychka

Dmytro Motornyi Tavria State Agrotechnological University

FEATURES OF TECHNOLOGY OF FUEL PELLETS MADE FROM HARDWOOD

Summary

These studies are aimed at studying the physical and mechanical properties of fuel pellets obtained from hardwood. It was established that the use of these wood species in their unchanged form is impractical, since the pellets obtained from them have reduced mechanical strength. The technological solution to this problem was the treatment of crushed wood raw materials with saturated steam. The results of industrial tests confirmed that such activation of hardwood wood particles allows obtaining fuel pellets of the required quality standard. The technical feature of the technology is the use of a matrix with a pressing channel length of 33 mm.

Keywords: pellets, granulation, matrix, wood, fuel pellets, pressing channel.