



original article | UDC 631.3 | doi: 10.31210/visnyk2020.04.33

SUBSTANTIATION OF OPERATION SERVICE MODES OF HOUSEHOLD WOOD WASTE CHOPPER

S. V. Lyashenko*


O. V. Sivtsov

Y. V. Zaporozhets

S. I. Koshkalda

V. V. Shevchenko

ORCID  [0000-0002-3227-3738](https://orcid.org/0000-0002-3227-3738)

ORCID  [0000-0001-7050-7411](https://orcid.org/0000-0001-7050-7411)

Poltava State Agrarian Academy, 1/3, Skovorody Str., Poltava, 36003, Ukraine,

* Corresponding author

E-mail: sergii.liashenko@pdaa.edu.ua

How to Cite

Lyashenko, S. V., Sivtsov, O. V., Zaporozhets, Y. V., Koshkalda, S. I., & Shevchenko, V. V. (2020). Substantiation of operation service modes of household wood waste chopper. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (4), 259–266. doi: 10.31210/visnyk2020.04.33

Leading countries of the world are replacing traditional energy resources with their alternatives, including those of plant origin. Ukraine is no exception, so using wood and its waste in thermal energy production is a topical issue today, especially for owners of private farms. As the raw material potential of firewood has been rapidly declining in recent years, the search for alternatives leads to using wood waste, namely branches. Wood and branch waste is a raw material that can be processed into fuel chips, which are a crisis-resistant fuel, especially for private farms. The efficiency of biomass processing into energy products is achieved only with rational operating parameters of machines and technological processes. Thus, the study of operating modes of household wood chipper is an important scientific and applied task today. The purpose of the work is to substantiate the operation service modes of household chopper of wood waste for the production of fuel on personal farms. The main objectives of this work were choosing optimal operating modes and design parameters for a small chopper of wood waste and improving the mathematical model of the influence of material density and cutting angle on energy consumption of the technological process of its grinding. Production tests of the chopper were conducted and technical and economic indicators of its operation were established. To improve the mathematical model, the methods of physical and mathematical modeling of a real chopper and methods of mathematical statistics were used in processing and analyzing experimental data. As a result of the work, it has been found that the range of chopper rational values, namely wood slope at feeding cutting wood waste is in the range of $30^{\circ}00'$... $36^{\circ}38'$ and the density of grinding material – in the range of 440 kg/m^3 ... 530 kg/m^3 . In this case, power consumption of the household chopper electric motor will be $W = 1.30$... 1.40 kW/h , which is the optimal value. Based on production research, it has been established that the obtained equation makes it possible to determine the limits of energy consumption depending on the density of the material and feeding slope during the technological process of grinding wood waste.

Key words: operation service mode, wood waste chopper, fuel material, wood chips.

ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ПОБУТОВОГО ПОДРІБНЮВАЧА ВІДХОДІВ ДЕРЕВИНИ*С. В. Ляшенко, О. В. Сівцов, Ю. В. Запорожець, С. І. Кошкалда, В. В. Шевченко*

Полтавська державна аграрна академія, м Полтава, Україна

Оскільки сировинний потенціал дров останніми роками стрімко зменшується, а пошук альтернатив призводить до освоєння відходів деревини, а саме: використання гілок, тому тріска як продукт подрібнення відноситься до кризи стійкого паливного матеріалу насамперед для особистих селянських господарств. Саме через це актуального значення набуває питання розробки технології та технічних засобів подрібнення відходів деревини на паливний матеріал. Завантаження матеріалу у приймальний бункер подрібнювача часто призводить до того, що порушується положення балансу (відповідно деревини). При такому завантаженні зміна кута між віссю нахилу деревини і віссю обертання диска призводить до рубання деревини з підвищеними енергозатратами. Це негативне явище призводить до затуплення різальних ножів машини і, як наслідок, підвищення споживання електроенергії. Для усунення цього недоліку використовуються завантажувальні лотки різної конструкції, за допомогою яких обмежують кут нахилу деревини при подачі до вісі обертання диска. Отже, дослідження експлуатаційних режимів роботи побутового подрібнювача відходів деревини є важливим науково-прикладним завданням сьогодення. Метою роботи є обґрунтувати експлуатаційні режими роботи побутового подрібнювача відходів деревини для виготовлення паливного матеріалу в умовах особистого селянського господарства. Основними завданнями цієї роботи є вибір оптимальних експлуатаційних режимів та конструктивних параметрів для подрібнювача відходів деревини. Для удосконалення математичної моделі були використані методи фізичного і математичного моделювання реального подрібнювача та методи математичної статистики при опрацюванні та аналізі експериментальних даних. У результаті проведеної роботи було з'ясовано, що область раціональних значень подрібнювача, а саме кута нахилу деревини при подачі перебуває в межах $30^{\circ}00' \dots 36^{\circ}38'$ а показник щільності матеріалу подрібнення в діапазоні $440 \text{ кг/м}^3 \dots 530 \text{ кг/м}^3$. До того ж споживання електроенергії електродвигуна побутового подрібнювача становитиме $W=1,30 \dots 1,40 \text{ кВт/год}$, що є оптимальним значенням. На основі проведених виробничих досліджень встановлено, що отримане рівняння дає можливість визначити межі енергоспоживання залежно від щільності матеріалу та кута нахилу подачі при проведенні технологічного процесу подрібнення відходів деревини.

Ключові слова: експлуатаційний режим роботи, подрібнювач відходів деревини, паливний матеріал, тріска.

Вступ

Одне з найбільш актуальних питань, що виникають після того, як ліс зрубаний – що робити з відходами? Останнім часом відбувається швидкий перехід до використання біомаси як палива. Тверде біопаливо відіграє істотну роль в енергозабезпеченні промислово розвинених країн: у США його частка становить близько 4 %, у Данії – 6 %, у Канаді – 7 %, в Австрії – 14 %, у Швеції – 16% від загального споживання первинних енергоресурсів [1, 2]. В Україні під час санітарного вирубування лісових насаджень, профілактичних розчищеннях дерев, що прилягають до транспортної інфраструктури, залишки не промислової деревини здебільшого спалюють прямо на місці проведення робіт. Відходи деревини, а це близько 46 % промислового дерева, включають: коріння; пеньки; гілки; сучки; листя; кора; відходи розкряжування; обпапи; відрізки пиломатеріалів та ін. В особистому селянському господарстві як паливний матеріал, окрім відходів деревини лісозаготівельної промисловості останнім часом широко використовують і відходи деревини після обрізуванні садків, розчищення ягідників, а також використовують вирощені енергетичні культури. Деревина та її відходи є сировиною, яку можна переробляти на паливну тріску. Тому тріска відноситься до кризостійкого паливного матеріалу.

Ефективність переробки біомаси в енергетичну продукцію досягається лише за раціональних параметрів технологічних процесів і машин, які її виконують. Науковці (Karwandy J., Campbell K., Yasenetskyi V., Krajnc M., Wegener J.) [3–7], що проводили дослідження технологічних процесів подрібнення відходів деревини, використовували, як правило, машини для подрібнення промислового виробництва.

Метою роботи є обґрунтувати експлуатаційні режими роботи побутового подрібнювача відходів деревини для виготовлення паливного матеріалу в умовах особистого селянського господарства.

Основними завданнями цієї роботи є вибір оптимальних експлуатаційних режимів та конструктивних

параметрів для подрібнювача відходів деревини, а також проаналізувати вплив кута нахилу деревини при подачі та її щільності на споживання електроенергії електродвигуна побутового подрібнювача.

Матеріали і методи досліджень

Дослідження експлуатаційних режимів роботи проводили на спроєктованому та запатентованому малогабаритному подрібнювачі відходів деревини для виготовлення паливного матеріалу, науковці кафедри Технології та засоби механізації аграрного виробництва інженерно-технологічного факультету Полтавської державної аграрної академії [8–10]. Під час проведення лабораторних досліджень використовували методику планування багатофакторного експерименту.

Загальний вигляд експериментального малогабаритного подрібнювача для подрібнення відходів деревини представлений на рисунку 1. [11].

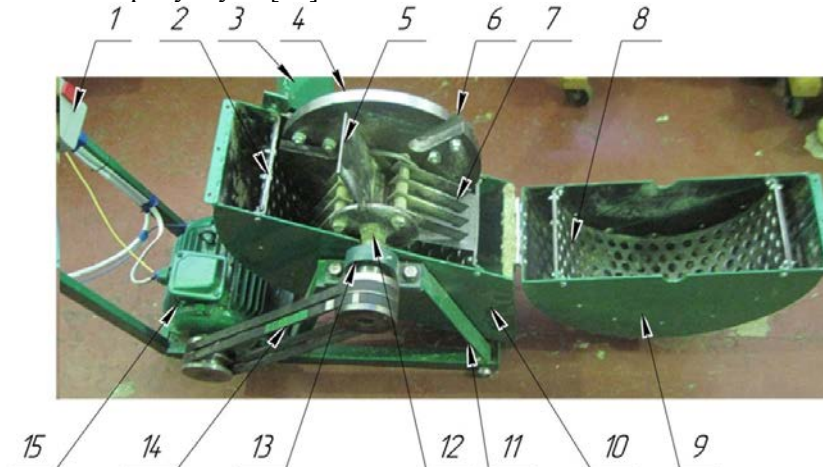


Рис. 1. Загальний вигляд малогабаритного подрібнювача відходів деревини:

- 1 – пульт керування; 2 – планка кріплення решета; 3 – завантажувальний бункер; 4 – диск кріплення ножів; 5 – лопаті вентилятора; 6 – різальний ніж; 7 – до подрібнюючі молотки; 8 – решето;
- 9 – верхній кожух; 10 – нижній кожух; 11 – рама; 12 – робочий вал; 13 – опорний підшипник;
- 14 – клинопасова передача; 15 – електродвигун

Аналіз теоретичних досліджень з обґрунтування експлуатаційних режимів роботи малогабаритних подрібнювачів показав, що кут нахилу деревини при подачі задається розміщенням завантажувального лотка по відношенню до різальних ножів диска (рис. 2).

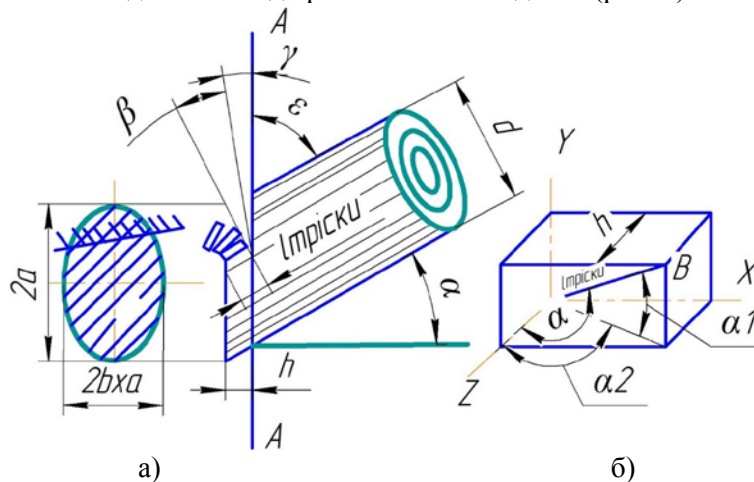


Рис. 2. Схема до визначення куті врізання:

а) – кути подрібнення деревини б) – схема для визначення довжини тріски

На рис. 2 наведені основні параметри кутів загострення і кута встановлення ножа. Кут β – кут загострення ножа, утворений передньою і задньою гранями, γ – задній кут між задньою гранню ножа і площиною різання; δ – кут різання між передньою гранню і площиною різання ($\delta = \beta + \gamma$); ε – кут перетину

деревини та ножа. Величина кута загострення β вибирається з діапазону $30 \dots 40^\circ$. Менше значення кута β призводить до отримання більш товстої тріски і обмежується стійкістю різальних ножів [12].

Положення балансу (відповідно, деревини) характеризується кутами α_1 та α_2 в системі координат XYZ , у якій вісь OZ паралельна вісі обертання диска, а площина YOZ паралельна площині диска. Кут характеризує нахил деревини до горизонтальної площини, α_2 – кут нахилу деревини в горизонтальній площині, α – кут між віссю нахилу і віссю обертання диска.

Існує залежність:

$$\cos \alpha = \cos \alpha_1 + \cos \alpha_2, \quad (1)$$

де α_1 – кут нахилу деревини до горизонтальної площини;

α_2 – кут нахилу деревини в горизонтальній площині.

Використовуються різні варіанти орієнтації деревини (див. рис. 2 б):

1. З одним кутом нахилу α_1 до горизонтальної площини; кут $\alpha_2 = 0$. В такому випадку $\alpha_1 = \alpha_2$.
2. З кутом нахилу α_1 і з допоміжним кутом розвороту α_2 ;
3. З одним кутом нахилу α_1 в горизонтальній площині $\alpha_1 = 0$, та $\alpha_2 = \alpha$.

Перші два варіанти машини з похилою подачею. Кут α_1 вибирається із умови самоподачі деревини до диска під дією сили тяжіння і вибирається в діапазоні $\alpha_1 = 45 \dots 55^\circ$. Кут подачі приймається рівним $\alpha_2 = 10 \dots 30^\circ$, в деяких випадках $\alpha_2 = 0^\circ$ (варіант торцево-повздовжнього різання). Третій варіант – машина з горизонтальною подачею, кут подачі $\alpha_2 = 48 \dots 55^\circ$. [13]

Стосовно до умов роботи дискових подрібнювальних машин основні параметри різання деревини показані на рис. 2а. Для спрощення зображення показаний випадок, коли кут нахилу деревини $\alpha_1 = 0$, та $\alpha_2 = \alpha$.

Еліпс розрізу деревини. При рубанні деревини, нахиленої до площини диска, в розрізі деревини утворюється еліпс див. рис. 2а, який характеризується великою $2a$ та малою $2b\alpha$ осями, які визначаються відношеннями:

$$2b\alpha = d; 2a = \frac{d}{\cos \alpha} / (\cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2) \quad (2)$$

де d – діаметр деревини.

Довжина тріски визначається кутами нахилу деревини і виступом ножів h Із рисунка 2б, де зображено процес формування тріски, слідує, що довжина тріски:

$$l_{\text{тріски}} = \frac{h}{\cos \alpha} = \frac{h}{(\cos \alpha_1 \cdot \cos \alpha_2)}, \quad (3)$$

Умова безперервності різання. На безперервність різання деревини впливає декілька факторів: діаметр деревини d , кут нахилу деревини, число різальних ножів z та радіус різання R_p див. рис. 3.

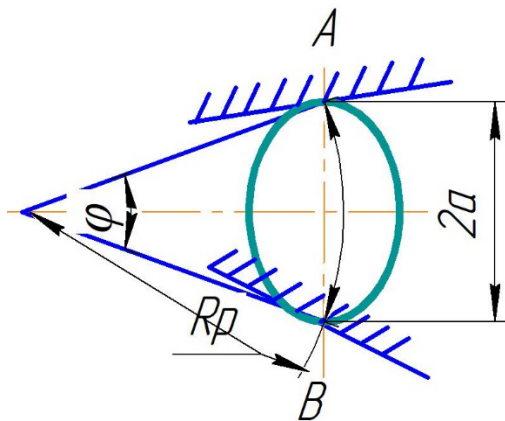


Рис. 3. Схема для визначення безперервності процесу різання

Безперервність різання з достатньою для практичних розрахунків точністю забезпечується при умові, що величина вісь еліпса 2α (при $\alpha_2 = 0$) повинна бути рівна або більше відстані AB між сусідніми ножами на коло різання.

$$2\alpha \geq AB; 2\alpha = \frac{d}{\cos \alpha_1} \geq \sin\left(\frac{\varphi}{2}\right), \quad (4)$$

де $\varphi = \frac{2 \cdot \pi}{z}$ – кут між сусідніми ножами.

z – число ножів.

Отже, з аналізу теоретичних досліджень видно, що важливими факторами впливу на процес подрібнення деревини, а саме на довжину тріски є кут нахилу деревини при подачі і виступ ножів на величину h [14].

У результаті досліджень пошуку значень оптимальних параметрів (кута нахилу деревини при подачі та щільності деревини) та їхній вплив на споживання електроенергії, а також, опрацювавши експериментальні дані (табл. 1.), було отримано рівняння регресії в натуральних значеннях.

1. Статистичні дані споживання електроенергії

№ дослідю	Значення факторів				Значення параметрів		
	кут нахилу деревини при подачі, градусів		щільність деревини, кг/м ³		витрата електроенергії, кВт/год	середнє квадратичне відхилення	коефіцієнт варіації
	код	натуральне значення	код	натуральне значення	W	ε	ρ
					експериментального	експериментального	експериментального
1	-1	30	-1	440	1,3	0,14	11,22
2	0	40	-1	440	1,38	0,12	9,09
3	+1	50	-1	440	1,65	0,13	9,42
4	-1	30	0	600	1,42	0,07	5,71
5	0	40	0	600	1,59	0,06	6,41
6	+1	50	0	600	1,95	0,1	8,11
7	-1	30	+1	760	2	0,06	5,01
8	0	40	+1	760	2,21	0,15	15,7
9	+1	50	+1	760	3	0,07	5,79

Для визначення витрат енергії електродвигуна малогабаритного подрібнювача отримали рівняння:

$$W = 7,2877 - 0,1576a - 0,0137P + 0,0016a^2 - 0,0001aP + 1,0547E - 5P^2,$$

де a – кут нахилу деревини при подачі (градусів);

P – P – щільність деревини кг/м³.

Отримані рівняння досліджувалися за допомогою програмного пакету Statistika [15]. Графічна інтерпретація та рівні регресії залежності кута нахилу деревини при подачі та щільності деревини від спожитої електроенергії малогабаритного подрібнювача на рисунку 4, 5.

Графік поверхні
 $W=7,2877-0,1576*a-0,0137*P+0,0016*a^2+0,0001*a*P+1,0547E-5*P^2 =$

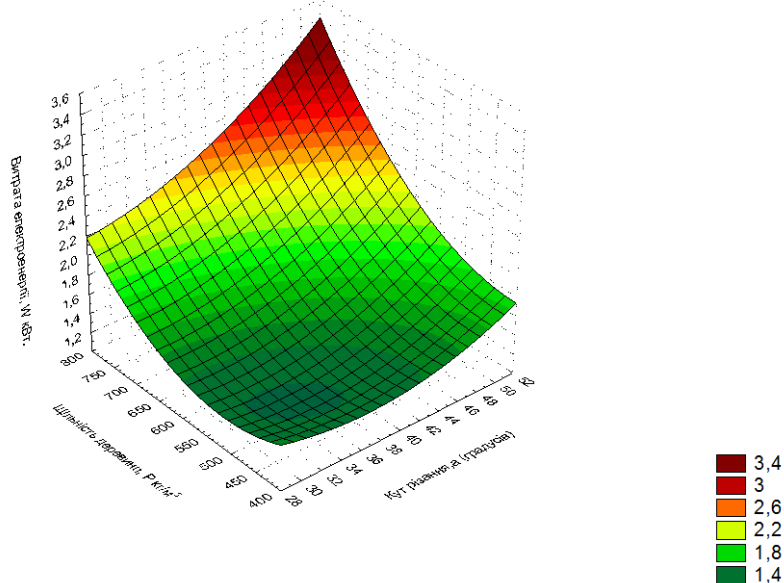


Рис. 4. Графічна інтерпретація залежності кута різання та щільності деревини від спожитої електроенергії малогабаритного подрібнювача

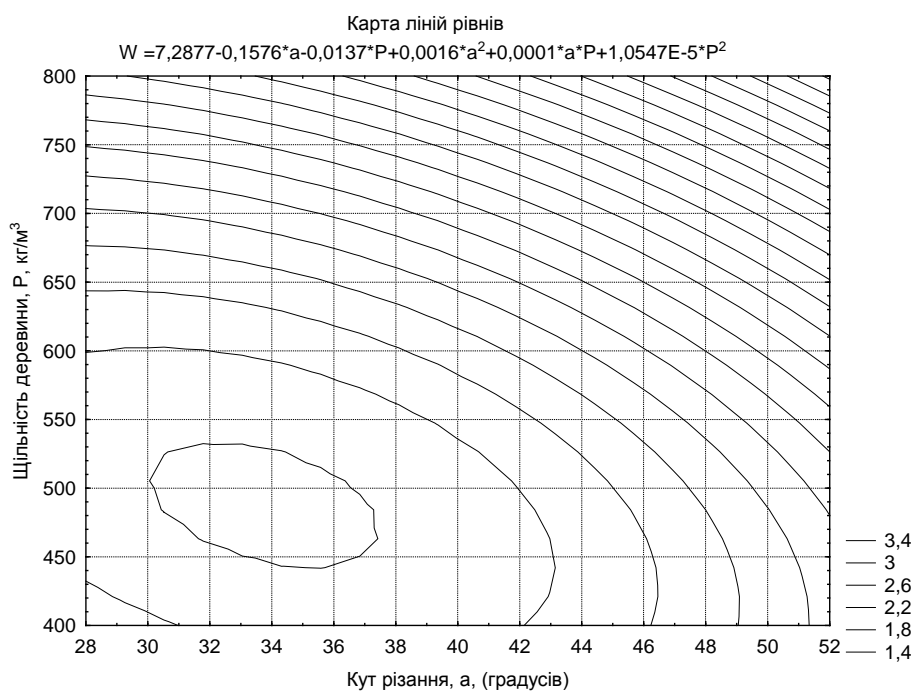


Рис. 5. Рівні регресії середньої витрати електроенергії

Як видно з рисунка 4, кут нахилу деревини при подачі (параметр а) та щільність деревини має значний вплив на споживання електроенергії при подрібненні відходів деревини на паливну тріску. Зважаючи на методику експериментальних досліджень та отримані результати випробувань, варто зазначити, що на зміну щільності деревини впливає її вологість. Дослідження з подрібнення деревини на паливний матеріал проводили з використанням деревини різної вологості в межах від 100 % (свіжоспиляна деревина) до 12 % (суха деревина) [16].

У результаті опрацювання графіка поверхні рівня регресії та карти ліній регресії отримали, що значення оптимального кута нахилу деревини при подачі перебуває в межах $30^{\circ}00' \dots 36^{\circ}38'$, а

показник щільності деревини матиме значення в діапазоні 440 кг/м³...530 кг/м³. При цьому споживання електроенергії електродвигуна малогабаритного подрібнювача становитиме $W=1,30...1,40$ кВт/год, що є оптимальним значенням.

Результати досліджень та їх обговорення

Якість роботи більшості подрібнювальних машин безпосередньо залежить від налаштування оптимальних експлуатаційних показників їх роботи. На основі аналізу існуючих технологій та технічних засобів для подрібнення відходів деревини з метою подальшого їх спалювання в котлах особистих селянських домогосподарств, необхідною умовою таких машин є мінімальне споживання електроенергії. Одним із перспективних напрямів розв'язання поставленої задачі є визначення оптимальних експлуатаційних режимів роботи подрібнювача та встановлення їх впливу на енергоспоживання у процесі подрібнення.

Для реалізації новітніх технологій енергоощадного подрібнення відходів деревини розробляються та впроваджуються відповідні машини нового покоління, що відрізняються від традиційних особливими конструкційними елементами та можливістю мінімізації енергоспоживання у процесі подрібнення відходів деревини [17].

Наукові дослідження доводять, що застосування доподрібнювальних елементів у конструкції подрібнювача дає змогу виконувати за одне завантаження декілька технологічних операцій, а саме: відрізання частини деревини та розбивання цієї частини на дрібніші елементи, без збільшення енергозатрат на таку технологічну операцію. Це дозволяє зменшити трудозатрати, автоматизувати систему керування та контролю за процесом, підвищити надійність машини в роботі та її економічність, особливо це важливо в умовах особистого селянського господарства.

За даними [18], до агрегатів для подрібнення відходів деревини невеликої потужності, що випускаються промисловістю України, можна віднести машини з приводом від 30 кВт. Аналіз проведених досліджень показав, що для особистих селянських господарств необхідно запропонувати подрібнювач з приводом потужністю до 5 кВт. (оптимальне співвідношення ціни та якості).

Найбільш перспективними подрібнювальними машинами вважаються подрібнювачі відходів деревини з джерелом живлення двигуна від мережі 220 В. Відповідні переваги таких подрібнювачів полягають у тому, що вони найбільш оптимально пристосовані до умов особистого селянського господарства, малогабаритні, мобільні, доступні за ціною [19, 20].

Висновки

Дослідження експлуатаційних режимів роботи подрібнювача відходів деревини можна провести без урахування щільності матеріалу подрібнення, оскільки вологість матеріалу безпосередньо впливає на зміну його щільності. На основі проведених теоретичних досліджень встановлено, що отримане рівняння для визначення споживання енергії електродвигуна малогабаритного подрібнювача дає можливість визначити межі кута нахилу деревини при подачі та щільності деревини в разі проведення технологічного процесу подрібнення відходів деревини. Зважаючи на великий розбіг зі щільності матеріалу подрібнення, що накопичується в особистому селянському господарстві, оптимальні межі їх значень дають можливість коригувати технологічний процес подрібнення в напрямку просушування матеріалу перед його подрібненням. Використання оптимальних значень параметрів налаштування машини для подрібнення призведе до сортування відходів за критерієм щільності. Такі дослідження будуть перспективними тому, що зростає попит на універсальні машини з можливістю їхнього налаштування під окремі види сировини для подрібнення, а їх експлуатація вимагає теоретичного підґрунтя.

Перспективи подальших досліджень. Зважаючи на те, що удосконалення подрібнювачів не припиняється в жодному разі, теоретичні дослідження їх експлуатаційних параметрів будуть мати продовження. Машини для подрібнювання стають усе складнішими, у своїй роботі вони поєднують усе більше операцій (різання, подрібнення, сепарування і т. д.), тому вивчення їх можливостей до застосування в різних сферах господарювання і в домогосподарствах зокрема є складною практичною задачею, яка потребує нестандартних підходів і оригінальних рішень.

References

1. Hoornweg, D., & Bhada-Tata, P. (2012). *What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management*. Washington: World Bank.

2. Hamelinck, C. N., Suurs, R. A. A., & Faaij, A. P. C. (2005). International bioenergy transport costs and energy balance. *Biomass and Bioenergy*, 29 (2), 114–134. doi: 10.1016/j.biombioe.2005.04.002.
3. Karwandy, J. (2007). Pellet production from sawmill residue: a Saskatchewan perspective. Forest Development Fund Project 2006-29. Retrived from: <https://inis.iaea.org/search/searchsinglerecord.aspx?recordsFor=SingleRecord&RN=39034546>.
4. Campbell, K. (2007). *A Feasibility Study Guide for an Agricultural Biomass Pellet Company*. Retrived from: <http://www.canadiancleanpowercoalition.com/files/6212/8330/1259/BM12%20-%202007-11%20Feasibility%20Pelleting.pdf>.
5. Yasenetskyi, V. (2017). Equipment for chopping of groundwood pulp. *Proposal*, 2, 178–180.
6. Krajnc, M., & Dolšak, B. (2014). The influence of drum chipper configuration on the quality of wood chips. *Biomass and Bioenergy*, 64, 133–139. doi: 10.1016/j.biombioe.2014.03.011
7. Wegener, J. K., Frerichs, L., Kemper, S., & Sümening, F. (2015). Wood chipping with conical helical blades – Practical experiments concerning the impact of the infeed angle on the power requirement of a helical chipper. *Biomass and Bioenergy*, 80, 173–178. doi: 10.1016/j.biombioe.2015.04.037
8. Liashenko, S., Sakalo, V., Minkova, O., & Kalinichenko, A. (2019). Justification of Construction Parameters of the Screen in the Small-Sized Household Biomass Chopper. *2019 IEEE International Conference on Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*. doi:10.1109/mees.2019.8896664
9. Liashenko, S. V., & Poshyvailo, Yu. O. (2017). Vdoskonalennia mashyn dlia vyhotovlennia palyvnoho materialu neobkhidnoi fraktsii dlia pobutovoho vykorystannia. *Visnyk Poltavskoi Derzhavnoi Ahrarnoi Akademii*, (4), 106–109. doi: 10.31210/visnyk2017.04.25 [In Ukrainian].
10. Liashenko, S. V., Sakalo, V. M., Kalinichenko, A. V., Zaporozhets Yu. V., & Ivanov, O. M. (2019). *Patent Ukrainy № 135923*. Kyiv: Ukrainyskyi instytut intelektualnoi vlasnosti – Ukrpatent [In Ukrainian].
11. Liashenko, S. V., Bublyk, A. V., Poshyvailo, Yu. O., Ivanov, O. M., & Kalinichenko, V. M. (2018). *Patent Ukrainy № 125965*. Kyiv: Ukrainyskyi instytut intelektualnoi vlasnosti – Ukrpatent [In Ukrainian].
12. Glebov, I. T. (1975). *Rezanie drevesiny: uchebnoe posobie*. – Ekaterinburg: Uralskij gosudarstvennyj. Lesotekhnicheskij universitet [In Russian].
13. Reznik, N. E. (1975). *Teoriya rezaniya lezviem i osnovy rascheta rezhushih preparatov*. Moskva: Mashinostroenie [In Russian].
14. Facello, A., Cavallo, E., Magagnotti, N., Paletto, G., & Spinelli, R. (2013). The effect of chipper cut length on wood fuel processing performance. *Fuel Processing Technology*, 116, 228–233.
15. *Prikladnaya statistika. Pravila proverki soglasiya opitnogo raspredeleniya s teoreticheskim GOST-P. 606-74. Vveden 01.03.2080*. (1980). Moskva: Izdatelstvo standartov [In Russian].
16. Pichler, P., Springer, S., & Leitner, M. (2018). Evaluation of wood cutting forces in dry and wet conditions by small-scale chipping tests applying different analysis methods. *Wood Material Science & Engineering*, 14 (3), 185–190. doi: 10.1080/17480272.2018.1458749
17. Spinelli, R., Magagnotti, N., Paletto, G., & Preti, C. (2011). Determining the impact of some wood characteristics on the performance of a mobile chipper. *Silva Fennica*, 45 (1), 85–95. doi: 10.14214/sf.33.
18. Yasenetskyi, V. (2017). Obladnannia dlia podribnennia derevnoi masy. *Propozytisia*, 2, 178–180 [In Ukrainian].
19. TOP 15: reitynh luchshykh yzmelchytel'ei vetok. *Internet-mahazyn s torhom*. Retrived from: <https://storgom.ua/novosti/top-15-luchshih-izmelchitelej-vetok.html> [In Russian].
20. Sadovye izmelchiteli. *Internet-magazin hotline*. Retrived from: https://hotline.ua/dacha_sad/sadovye-izmelchiteli/ [In Russian].

Стаття надійшла до редакції 27.09.2020 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Ляшенко С. В., Сівцов О. В., Запорожець Ю. В., Кошкалда С. І., Шевченко В. В. Обґрунтування експлуатаційних режимів роботи побутового подрібнювача відходів деревини. *Вісник ПДАА*. 2020. № 4. С. 259–266.

© Ляшенко Сергій Васильович, Сівцов Олександр Володимирович, Запорожець Юрій Васильович, Кошкалда Станіслав Іванович, Шевченко Віталій Володимирович, 2020