


original article | UDC 631.3 | doi: 10.31210/visnyk2021.04.33

EXPERIMENTAL RESEARCH RESULTS OF ENERGY-SAVING OPERATING MODE OF MECHANIZATION IMPLEMENT FOR BREAKING TREE BRANCHES
*S. V. Lyashenko**

 ORCID  [0000-0002-3227-3738](https://orcid.org/0000-0002-3227-3738)
Y. V. Yatsenko
A. I. Lazorenko

Poltava State Agrarian University, 1/3, Skovorody str., Poltava, 36003, Ukraine

* Corresponding author

 E-mail: Lyashenko15@ukr.net

How to Cite

Lyashenko, S. V., Yatsenko, Y. V., & Lazorenko, A. I. (2021). Experimental research results of energy-saving operating mode of mechanization implement for breaking tree branches. Bulletin of Poltava State Agrarian Academy, (4), 249–258. doi: 10.31210/visnyk2021.04.33

Firewood raw material potential of Poltava region has been sharply decreasing during the recent years, and the search for alternatives induces house-owners to use wood waste. Waste-free technologies are much in demand. In this connection, the problem of utilizing fruit tree branches cut in orchards of personal peasants' farms has to be solved. The use of broken tree branches on private peasant farmsteads as crisis sustainable fuel material is an alternative source for heating premises. Therefore, the problem of developing the technology and mechanization implements for breaking tree branches to be used as fuel material is topical at present. As tree branch raw material leads to upsetting the position of cutting balance during loading into the crusher intake bin, it is necessary to study the operating mode parameters with this material more attentively. At such technological process of breaking, changing the angle between the axis of tree branch delivery and disk rotation axis results in cutting branches with increased energy consumption. To eliminate this drawback, it is necessary to use the loading tray containing the device, which limits the elevation angle of tree branches to the disk rotation axis. Thus, the experimental studies of energy-saving operating modes of mechanization implements for crushing tree branches is an important scientifically applied task of the present day in the field of technologies and means of agricultural production mechanization. The purpose of the work was to substantiate energy-saving operating mode of mechanization implement for breaking tree branches with the aim of making fuel material for personal peasant farmstead. The main tasks of this work were to choose the optimal operating modes and construction parameters for tree branch crusher. As a result of the conducted work, it has been found that the area of the crusher rational values, namely the angle of cutting tree branches at delivery is within 30,000'...41,025', and the distance of knife lug from the disk plane is in the range of 0.005m...0.011m. Moreover, electric engine power consumption of domestic crusher will make $W=1.29...1.83$ kW/h, which is the optimal value.

Key words: energy-saving operating mode, means of mechanization, technology, tree branch crusher, fuel material.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ЗАСОБУ МЕХАНІЗАЦІЇ ДЛЯ ПОДРІБНЕННЯ ГІЛОК ДЕРЕВ
С. В. Ляшенко, Ю. В. Яценко, А. І. Лазоренко

Полтавський державний аграрний університет, м. Полтава, Україна

Сировинний потенціал дров Полтавщини за останні роки стрімко зменшується, а пошук альтернатив приводить до освоєння відходів дерев а саме використання гілок тому, подрібнений матеріал відноситься до кризо стійкого паливного матеріалу особливо для особистих селянських

господарств. Саме тому актуального значення набуває питання розробки технології та засобів механізації для подрібнення гілок дерев на паливний матеріал. Оскільки гілкова сировина під час завантаження в приймальний бункер подрібнювача призводить до порушення положення балансу різання, необхідно більш досконало дослідити режимні параметри роботи з таким матеріалом. При такому технологічному процесі подрібнення, зміна кута між віссю подачі гілок дерев і віссю обертання диска призводить до рубання гілок з підвищеними енергозатратами. Це негативне явище призводить до швидкого затуплення різальних ножів подрібнювача і, як наслідок, підвищення споживання електроенергії. Для усунення цього недоліку слід використовувати завантажувальні лотки, які в своїй конструкції містять пристрої, що обмежують кут нахилу гілок дерев до вісі обертання диска. Отже, експериментальні дослідження енергозберігаючого режиму роботи засобу механізації для подрібнення гілок дерев є важливим науково-прикладним завданням сьогодення в галузі технологій та засобів механізації сільськогосподарського виробництва. Метою роботи є обґрунтування енергозберігаючого режиму роботи засобу механізації для подрібнення гілок дерев з метою виготовлення паливного матеріалу, в умовах особистого селянського господарства. Основними завданнями цієї роботи є вибір оптимального режиму роботи та конструктивних параметрів для подрібнювача гілок дерев. 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 різання гілок дерев при подачі знаходиться в межах $30000' \dots 41025'$ а відстань виступу ножів від площини диска в діапазоні $0,005\text{ м} \dots 0,011\text{ м}$. При цьому споживання електроенергії електродвигуна побутового подрібнювача становитиме $W=1,29 \dots 1,83\text{ кВт/год}$, що є оптимальним значенням.

Ключові слова: енергозберігаючий режим роботи, засіб механізації, технологія, подрібнювач гілок деревини, паливний матеріал.

Вступ

Збільшення вартості природного газу в Україні, та на Полтавщині зокрема, за останні роки змусили власників особистих селянських господарств приймати зважені рішення в бік пошуку альтернативних джерел опалення приміщень. 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 проблема екологічної безпеки з кожним роком стає все більш актуальною, а безвідходні технології користуються попитом. До таких, зокрема, і належить проблема утилізації гілок плодкових дерев зрізаних в садах особистих селянських господарств. Під час догляду за кроною плодкових дерев з однієї сотки ущільнених садів щорічно зрізується від 0,25 до 0,65 тон деревини в залежності від віку дерев, виду підщепи, сорту, породи, схеми посадки, типу обрізки. Трудомісткість операцій по обрізці, збиранню та утилізації гілок складає близько 220 люд.-год/га за рік. Якщо обрізування гілок в особистому селянському господарстві виконують за звичай в ручну, то подальша утилізації їх зводиться до формування куп з подальшим їх спалюванням. Тому подрібнені гілки дерев відносяться до кризо стійкого паливного матеріалу, що постійно поновлюється.

Ефективність переробки гілок дерев в енергетичну продукцію досягається лише за раціональних параметрів технологічних процесів і засобів механізації, 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 провести експериментальні дослідження енергозберігаючого режиму роботи засобу механізації для подрібнення гілок дерев, в умовах особистого селянського господарства.

Основними завданнями цієї роботи є вибір оптимального енергозберігаючого режиму роботи та раціональних конструктивних параметрів для засобу механізації, що використовується в технологічному процесі подрібнення гілок дерев, а також проаналізувати вплив кута різання гілок дерев при подачі та величину виступів ножів на споживання електроенергії електродвигуна побутового подрібнювача.

Матеріали і методи досліджень

Аналіз конструкцій засобів механізації для подрібнення гілок дерев показав, що існує три види різальної системи, яка є однією з найважливіших вузлів подрібнювача: дискова різальна система – із лезами загартованої сталі, які обертаючись подрібнюють гілки діаметром до 4 см. [8] (рис. 1).



Рис. 1. Дискава різальна система подрібнювача

Гвинтова різальна система – з гвинтовим різальним механізмом, який подрібнює гілки діаметром до 5 см, (рис. 2) [8].

Зазвичай корпус подрібнювача гілок зроблений розбірним, щоб полегшити доступ до ножової системи, яка вимагає періодичного обслуговування і загострення. Різальну систему можна з легкістю розібрати в домашніх умовах.



Рис. 2. Гвинтова різальна система подрібнювача

Фрезерна різальна система – з фрезерним барабаном, якими обладнані більш дорогі моделі подрібнювачів. Подрібнюють гілки діаметром до 6 см, працюють практично безшумно (рис. 3) [8].



Рис. 3. Фрезерна різальна система подрібнювача

Лезо дискової різальної системи, яке встановлено на дисковому ножі, закріплено двома гвинтами – при необхідності його можна зняти і підгострити. Робити це при необхідно періодично або в разі погіршення роботи подрібнювача після утворення сколів на ножах, які негативно впливають на якість різання [8]. Приймальний лоток подрібнювача призначений для завантаження матеріалу, який необхідно подрібнювати. Щоб матеріал було легше завантажувати, деякі моделі подрібнювачів роблять з похилою приймальною камерою. Вивантаження подрібненого матеріалу здійснюється через вихідний отвір. Деякі подрібнювачі обладнані контейнером для подрібненого матеріалу: Wolf-Garden SDL2500 EVO; Sadko GS 2800; AL-KO LH 2800 Easy Crush.

Колеса потрібні для зручності транспортування подрібнювача по ділянці. Подрібнювачі гілок бувають як з електричним, так і з бензиновим двигуном. Електричні мають потужність двигуна від 1,6 до 3 кВт і вони можуть подрібнювати гілки, діаметр яких не перевищує 5 см [8].

Відмінні риси електричних подрібнювачів: невеликий шум при роботі; відносно невелика ціна; простота обслуговування; потужні двигуни.

Аматорський клас подрібнювачів – до нього відносяться машини з потужністю двигуна не більше 2 кВт з ножовим різальним механізмом із загартованої сталі. Вага – 12...20 кг. Застосовуються вони, як правило, в невеликих селянських господарствах і молодих садах, де дерева і чагарники ще не дуже високі. Вони здатні подрібнювати грубу траву, гнилу деревину, тонкі сучки, але не справляються з гілками, діаметр яких перевищує 3 см. До даної серії відноситься подрібнювач гілок Gardena GH2500, (рис. 4) [8].



Рис. 4. Подрібнювач гілок Gardena GH2000 (аматорський клас)

До переваг даного класу подрібнювачів можна віднести: компактність конструкції; невелика вага; економічність; немає необхідності заправляти бензином. Але разом з тим вище згаданий клас подрібнювачів має і недоліки: необхідність приєднання до електромережі з використанням довгих кабелів живлення; обмежений діаметр завантажувальних гілок до 3 см.; не велика продуктивність.

Середній клас подрібнювачів – укомплектований двигунами, потужність яких становить від 2 до 2,5 кВт. Система ножів: сталевий валик зі спіральним різальним механізмом, а вага більше, ніж аматорського класу подрібнювачів, в межах 30 кг. Дані подрібнювачі добре справляються з подрібненням трави та гілок. Застосовуються як в невеликих, так і у великих за площею садах з дорослими деревами. Усі подрібнювачі даного класу обладнані функцією само затягування матеріалу і подрібнюють гілки діаметром до 3,5 см. Всі моделі обладнані спеціальними колесами для легкого пересування. До середнього класу відноситься подрібнювач гілок фірми Bosch модель АХТ 25 NC [8] (рис. 5). До переваг даного класу подрібнювачів можна віднести: компактність конструкції; економічність; підвищену продуктивність; немає необхідності заправляти бензином.



Рис. 5. Подрібнювач гілок Bosch AXT 25 NC (середній клас)

Але разом з тим вище згаданий клас подрібнювачів має і недоліки: пластиковий корпус машини; необхідність приєднання до електромережі з використанням довгих кабелів живлення; обмежений діаметр завантажувальних гілок до 4 см. [8].

Професійний клас подрібнювачів гілок – представлений Українським виробником фірми ARPAL м. Вінниця, модель МБ-40БД, який обладнаний бензиновими двигунами Weima (Вейма) WM170F-2 потужністю 7 к.с. і має робочий об'єм 212.00 куб. см., розхід пального складає всього 400 г/год бензину А-92 (рис. 6) [9]. Продуктивність даного тріскоріза МБ-40БД складає максимально 1.5 куб. м., готової продукції за годину роботи.



Рис. 6. Подрібнювач гілок МБ-40БД, (професійний клас)

Тріскоріз МБ-40БД барабанного типу рубає гілки, лозу та інші деревні відходи на технологічну тріску розміром 4...40 мм. Максимальний діаметр гілок 40 мм в залежності від породи та вологості дерева. Готова тріска подається через вихідний розтруб під тиском. Тріскоріз обладнано колесами для зручності пересування обладнання по території. Основне застосування вони знайшли у великих присадибних господарствах і великих плодкових садках з дорослими деревами. А також можуть використовуватися комунальними службами, яким доводиться проводити роботи з обрізки дерев в місті, по видаленню наслідків ураганів [9].

Перевагами конструкції є мобільність, використання власного двигуна. Основною відмінністю тріскоріза МБ-40БД є принцип його дії, робочим органом є барабан на якому розташовано 2 ножі на всю довжину барабана, барабан обертається зі швидкістю близько 3600 об/хв. Завдяки чому створюється необхідний тиск повітря для того щоб подати тріску по розтрубу вивантаження. До недоліків слід віднести високу вартість подрібнювача. Діаметр матеріалу, що завантажується у приймальний лоток не повинен перевищувати 40 мм. [9]

Отже, проаналізувавши конструктивні особливості трьох машин різного класу можна зробити висновок: конструкція подрібнювача гілок в умовах особистого селянського господарства повинна поєднувати у собі дисково-ножовий робочий орган, та мати привід від електродвигуна потужністю від 2 до 3 кВт.

Враховавши усі переваги та усунувши недоліки проаналізованих конструкцій вище згаданих засобів механізації науковцями кафедри «Технології та засоби механізації аграрного виробництва» інженерно-технологічного факультету Полтавського державного аграрного університету був спроектований та запатентований малогабаритному подрібнювачі гілок деревини (рис. 7) [10–13].

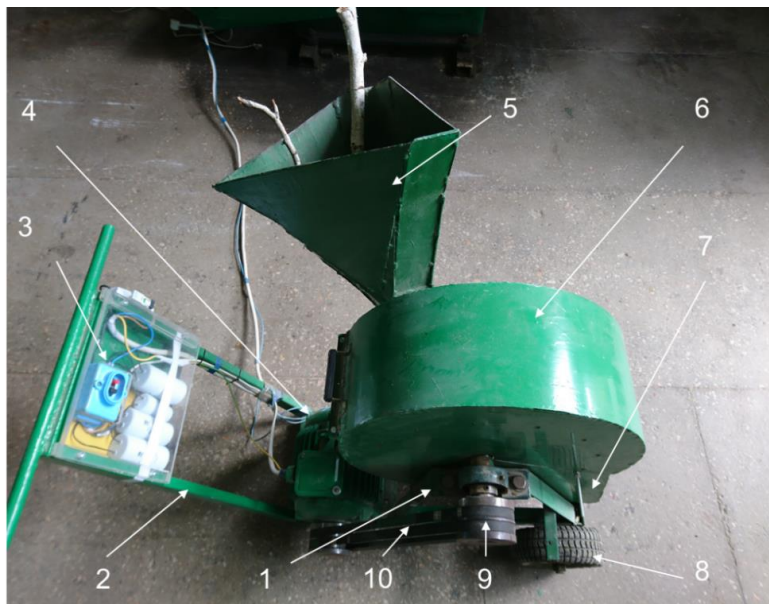


Рис. 7. Загальний вигляд розробленого подрібнювача гілок дерев

Позначення: 1 – опорна стійка; 2 – ручка переміщення подрібнювача; 3 – пульт керування; 4 – електродвигун; 5 – завантажувальний лоток; 6 – подрібнювальний барабан; 7 – вивантажувальний отвір; 8 – гумові колеса; 9 – ведений шків; 10 – клинопасова передача.

З аналізу теоретичних досліджень встановлено, що важливими факторами впливу на процес подрібнення гілок дерев, а саме на розмір подрібненого матеріалу є кут різання α гілок дерев і величина виступу ножів h , (рис. 8) [14].

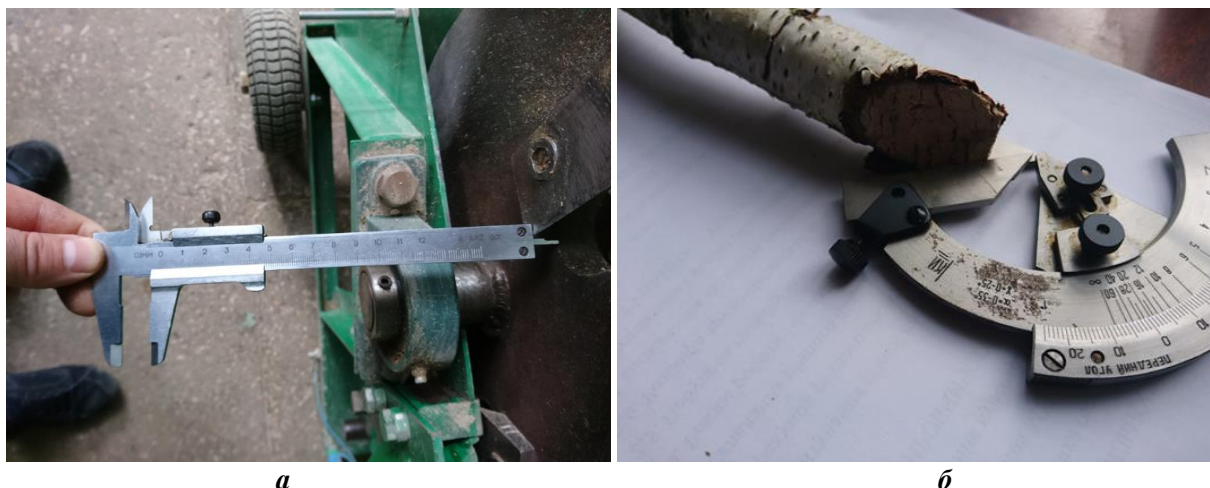


Рис. 8. Фото визначення оптимальних значень параметрів впливу: а) вимірювання величини виступу ножів; б) вимірювання кута різання гілок деревини

В результаті досліджень пошуку значень оптимальних параметрів (кута різання гілок дерев при подачі та відстань виступу ножів від площини диска) та їх вплив на споживання електроенергії електродвигуна подрібнювача, та опрацювавши експериментальні дані (табл. 1.), було отримано рівняння регресії.

1. Статистичні показники споживання електроенергії

Умови експерименту			Результати експерименту				Результати розрахунків			
	$j = 0$	$j = 1$	$j = 2$	y'_{ei}	y''_{ei}	y'''_{ei}	y_{ei}	y'_{pi}	$y_{ei} - y'_{pi}$	$\Delta\%$
i	X_0	X_1	X_2							
1	+1	-1	-1	1,29	1,32	1,28	1,30	1,29	0,01	0,77
2	+1	0	-1	1,36	1,38	1,40	1,38	1,39	0,01	0,72
3	+1	+1	-1	1,66	1,62	1,67	1,65	1,63	0,02	1,21
4	+1	-1	0	1,42	1,44	1,40	1,42	1,42	0	0
5	+1	0	0	1,60	1,60	1,57	1,59	1,62	0,03	1,85
6	+1	+1	0	1,97	1,94	1,94	1,95	1,94	0,01	0,51
7	+1	-1	+1	2,10	1,89	2,01	2,00	1,99	0,01	0,50
8	+1	0	+1	2,20	2,21	2,22	2,21	2,18	0,03	1,36
9	+1	+1	+1	3,01	3,00	2,99	3,00	3,02	0,02	0,67

Для визначення споживання електроенергії малогабаритним подрібнювачем гілок рівняння в кодованій формі матиме вигляд:

$$y = 1,5467 + 0,3138 \cdot X_1 + 0,4800 \cdot X_2 + 0,1600 \cdot X_1^2 + 0,1625 \cdot X_1 \cdot X_2 + 0,2700 \cdot X_2^2, \quad (1)$$

де X_1 – параметр кута різання (кут подачі гілок у завантажувальний лоток) в кодованій формі,

$$X_1 = \frac{\alpha - 45}{15};$$

X_2 – параметр величини виступу ножів в кодованій формі, $X_2 = \frac{h - 0,015}{0,01}$.

Отримані рівняння досліджувались за допомогою програмного пакету Statistika [15]. Графічна інтерпретація та рівні регресії залежності споживання електроенергії подрібнювача гілок від кута різання та значення виступу ножів представлені на рис. 9 та рис. 10.

$$Y = 1,5467 + 0,3138X_1 + 0,4800X_2 + 0,1600X_1^2 + 0,1625X_1X_2 + 0,2700X_2^2$$

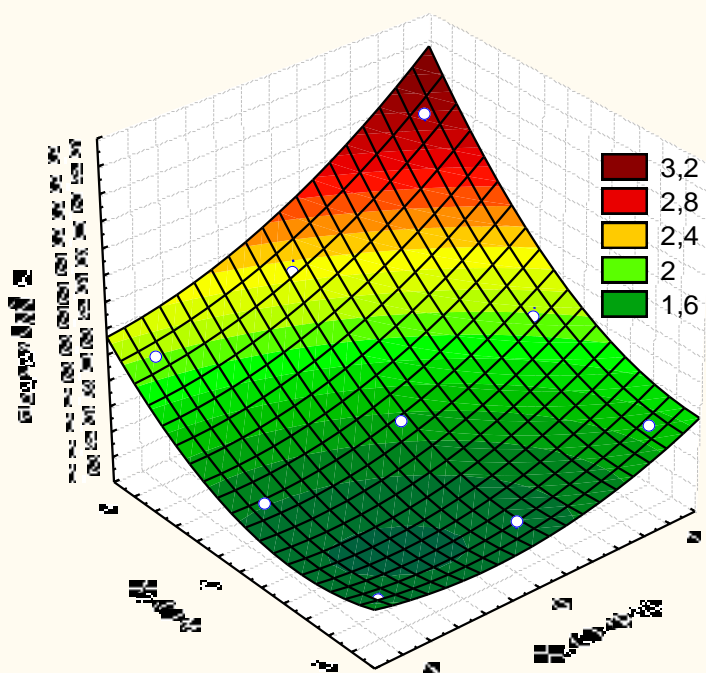


Рис. 9. Графічна інтерпретація залежності споживання електроенергії подрібнювача гілок $Y(W)$ від кута різання $X_1(a)$ та величини виступу ножів $X_2(h)$.

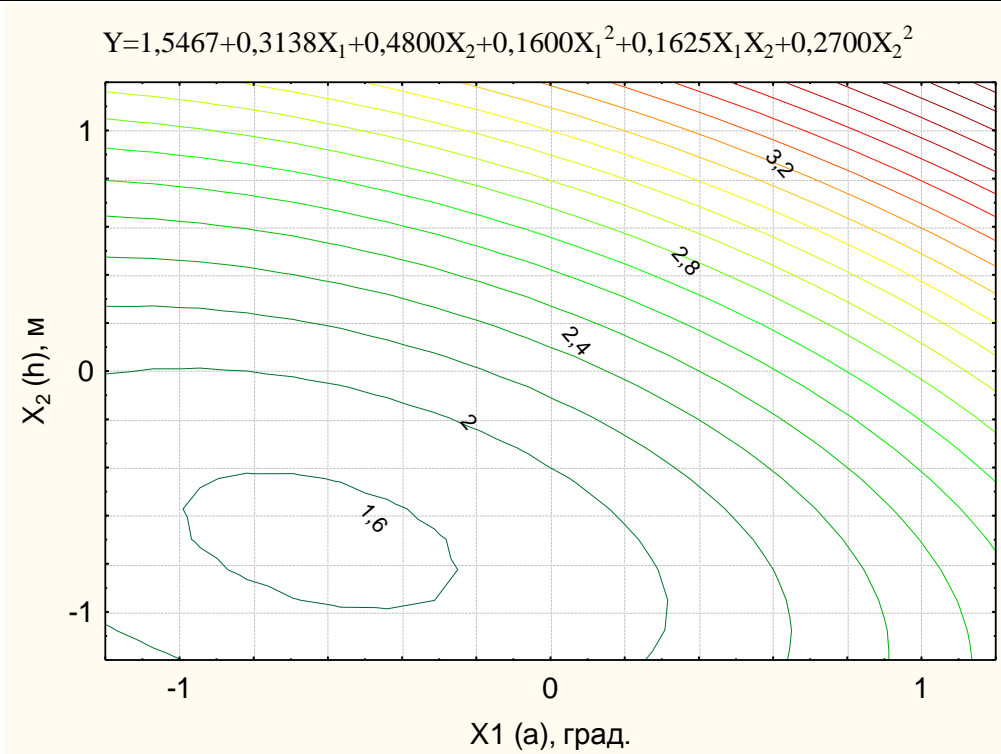


Рис. 10. Рівні регресії споживання електроенергії подрібнювача гілок

Як видно із рис. 10, кут різання (параметр α) має значний вплив на споживання електроенергії електродвигуном малогабаритного подрібнювача гілок. Із збільшенням кута різання енергоспоживання процесу подрібнення збільшується. Із збільшенням величини виступу ножів (параметр h) на дисковий подрібнювача, споживання електроенергії теж збільшується.

Враховуючи методика експериментальних досліджень та отримані результати випробувань слід зазначити, що на зміну енергетичних показників машини під час подрібнення гілок дерев впливає їх вологість. Дослідження з подрібнення гілок дерев на паливний матеріал проводили з використанням гілок різної вологості в межах від 100 % (свіжоспиляна деревина) до 12 % (суха деревина) [16].

Після переходу від кодованих позначень параметрів до натуральних, отримали:

$$W = 0,3138 \cdot \alpha - 0,6167 \cdot h + 0,0244 \alpha \cdot h + 0,1600 \cdot \alpha^2 + 0,2700 \cdot h^2 - 283,35, \quad (2)$$

де α – кут різання (кут подачі гілок у завантажувальний лоток), $\alpha = 15 \cdot X_1 + 45$;

h – величини виступу ножів, $h = 0,01 \cdot X_2 + 0,015$.

Отримані рівняння досліджувались за допомогою програмного пакету Mathcad.

В результаті опрацювання графіків отримали, що при $\alpha = 30^{\circ}00' \dots 41^{\circ}25'$, і $h = 0,005 \dots 0,01$ м, енергоспоживання електродвигуна малогабаритного подрібнювача гілок дерев буде оптимальним та становитиме $W = 1,29 \dots 1,83$ кВт/год.

Результати досліджень та їх обговорення

Якість роботи більшості засобів механізації безпосередньо залежить від налаштування оптимальних режимів їх роботи. На основі аналізу існуючих засобів механізації для енергозберігаючої технології подрібнення гілок дерев в умовах особистих селянських домогосподарств, параметром оптимізації обрано мінімальне споживання електродвигуном електроенергії. Одним із перспективних напрямків вирішення поставленої задачі є проведення експериментальних досліджень визначення енергозберігаючого режиму роботи подрібнювача та встановлення їх впливу на енергоспоживання в процесі подрібнення.

Для реалізації новітніх технологій енергоощадного подрібнення гілок дерев розробляються та впроваджуються засоби механізації нового покоління, що відрізняються від традиційних особливими конструкційними елементами, та можливістю, за рахунок налаштувань конструктивних параметрів, мінімізації енергоспоживання в процесі подрібнення гілок дерев [17].

Науковими дослідженнями доведено, що застосування регулювань величини виступу ножів в конструкції подрібнювача, дозволяє виконувати відрізання гілок дерев різної товщини на частинки однакового розміру по довжині, без збільшення енергоспоживання. А оптимальне встановлення кута різання (кут нахилу завантажувального лотка), оскільки гілкова сировина під час завантаження в приймальний лоток подрібнювача призводить до порушення положення балансу різання, в поєднанні з ефектом само затягування гілок, дозволяє зменшити трудозатрати. Усі вище перераховані удосконалення розробленого подрібнювача, підвищують його надійність в роботі та економічність, особливо це важливо в умовах особистого селянського господарства.

За даними [18], до засобів механізації для подрібнення гілок дерев невеликої потужності, що випускаються промисловістю України, можна віднести машини з приводом від 5 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 засобами механізації для подрібнення гілок вважаються подрібнювачі 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

Порівняльний багатокритеріальний аналіз існуючих технологій подрібнення гілок плодкових дерев, зрізаних під час догляду за їх кроною, свідчить про доцільність застосування технологічного процесу подрібнення гілок з подальшим їх використанням в якості паливного матеріалу. На основі проведених теоретичних досліджень, встановлено закономірність впливу на зниження енергоспоживання подрібнення гілок кута різання та величини виступу ножів від площини диску. На підставі експериментальних досліджень отримано рівняння регресії для однороторного мобільного подрібнювача гілок, яке враховує залежності значення споживання електродвигуном електроенергії на сам процес подрібнення гілок від величини кута різання та значення виступу ножів за площину диска. Впровадження технології утилізації зрізаних гілок з використанням розробленого подрібнювача гілок дерев, дасть змогу зменшити витрати праці в 1,4 рази, отримати більше паливного матеріалу в 2,6 рази та знизити приведені експлуатаційні витрати в 1,9 рази порівняно з існуючою технологією, яка передбачає спалювання гілок деревини. Запропонована технологія утилізації зрізаних гілок, дозволить виключити забруднення навколишнього середовища і додатково використати подрібнену деревину як органічне добриво або мульчу. Встановлено, що середня довжина частинки подрібнених гілок дерев, що задовольняє технічні вимоги роботи котлів, в загальній вазі подрібненого матеріалу становить близько 87 % розміром по довжині від 3,15 мм до 67,5 мм. Отже, подрібнений матеріал можна віднести за стандартом класифікації до класу P100CEN/TS 14961:2005. Використання оптимальних значень параметрів налаштування машини для подрібнення призведе до сортування гілок за їх діаметром. Такі дослідження будуть перспективними тому, що зростає попит на універсальні машини з можливістю їх налаштування під окремі види гілкової 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 енергозберігаючих режимів роботи будуть мати продовження. Засоби механізації для подрібнення стають все складнішими, у своїй роботі вони поєднують все більше операцій (різання, подрібнення, просіювання 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*. Retrieved 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. Retrieved 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. TOP 15: reitynh luchshykh yzmelchytelei vetok. *Internet- mahazyn s torhom*. Retrived from: <https://storgom.ua/novosti/top-15-luchshih-izmelchitelej-vetok.html> [In Russian].
9. Shcheporiz MB-40BD. "Arpal". Retrived from: <https://arpal.ua/ua/mb-40bd/p237>
10. Liashenko, S. V. (2017). Investigation of the formation of the harvest and the quality of fruit of grapes with different methods of pruning the vine. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, (3), 6–10. doi: 10.31210/visnyk2017.03.01
11. 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
12. Liashenko, S. V., Sakalo, V. M., Kalinichenko, A. V., Zaporozhets, Yu. V., & Ivanov, O. M. (2019). *Patent Ukrainy № 135923*. Kyiv: Ukrainskyi instytut intelektualnoi vlasnosti – Ukrpatent [In Ukrainian].
13. Skyba, V. H., & Skyba, V. V. (2018). *Patent Ukrainy № 125969*. Kyiv: Ukrainskyi instytut intelektualnoi vlasnosti – Ukrpatent [In Ukrainian].
14. Glebov, I. T. (1975). *Rezanie drevesiny: uchebnoe posobie*. Ekaterinburg: Uralskij gosudarstvennyj. Lesotekhnicheskij universitet [In Russian].
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. 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. doi: 10.1016/j.fuproc.2013.07.002
17. Reznik, N. E. (1975). *Teoriya rezaniya lezviem i osnovy rascheta rezhushih preparatov*. Moskva: Mashinostroenie [In Russian].
18. 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
19. 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.
20. Yasenetskyi, V. (2017). Obladnannia dlia podribnennia derevnoi masy. *Propozytsiia*, 2, 178–180. [In Ukrainian].

Стаття надійшла до редакції: 15.10.2021 р.

Бібліографічний опис для цитування:

Ляшенко С. В., Яценко Ю. В., Лазоренко А. І. Результати експериментальних досліджень енергозберігаючого режиму роботи засобу механізації для подрібнення гілок дерев. *Вісник ПДАА*. 2021. № 4. С. 249–258.

© Ляшенко Сергій Васильович, Яценко Юрій Васильович, Лазоренко Андрій Ігорович, 2021