

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ МАШИН ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ПАЛИВНОЇ ТРІСКИ НА ЛІСОСІЦІ

Думич В.,

e-mail: v.dumich@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7813-5437>

Львівська філія УкрНДІПВТ Л. Погорілого

Крупич О., канд. техн. наук,

<https://orcid.org/0000-0002-5634-8116>

Львівський національний університет природокористування

Анотація

Мета дослідження – оцінити ефективність різних техніко-технологічних рішень виробництва паливної тріски на лісосіках.

Методи. У межах роботи проаналізовано шість варіантів організації виробництва тріски безпосередньо на лісосічних ділянках із використанням трьох типів деревоподрібнювальних машин: «DP 660 TC» з ручною подачею матеріалу, «Farmi CH-27ACC» з механізованою подачею біомаси та «Skorpion 350 RBP» на базі причепа з кузовом для тріски і механічною подачею матеріалу на подрібнення.

Результати. Система на базі «DP 660 TC» з ручною подачею забезпечила річний обсяг виробництва паливної тріски на рівні 912 т. Використання «Farmi CH-27ACC» у варіанті збирання та переробки порубкових залишків забезпечило продуктивність 2,08 т/год, що відповідає сезонному обсягу 1664 т. У випадку подрібнення деревних залишків, сформованих у вали, продуктивність «Farmi CH-27ACC» зросла до 3,47 т/год, а річне виробництво – до 2776 т. Найвищу продуктивність за основним часом – 19,74 т/год – продемонстрував «Skorpion 350 RBP». Однак значні витрати часу на транспортування біопалива до споживача у поточкових схемах спричинили зниження продуктивності за змінного часу більше ніж у десять разів. Економічна оцінка виявила збитковість застосування «Skorpion 350 RBP» у поточковому способі заготівлі тріски. За перевалочного способу продуктивність «Skorpion 350 RBP» зросла до 3,37 т/год, що дало змогу досягти позитивного економічного ефекту – 498 грн/т. Найвищу економічну ефективність – 922 грн/т – зафіксовано для поточкового способу виробництва тріски з використанням комплексу машин у складі тракторів ЛТ-105 «Solis» (4 од.), лісових граблів «ZP1», деревоподрібнювача «Farmi CH-27ACC» та двох причепів-трісковозів «2ТСП-14».

Висновки. Для котелень із різною річною потребою у паливі доцільними є такі техніко-технологічні рішення: до 1000 т – система на базі «DP 660 TC» з ручною подачею; до 2000 т – варіант із збиранням і подрібненням порубкових залишків на лісосіці за допомогою «Farmi CH-27ACC»; до 3000 т – варіант із подрібненням сформованих валків за участю «Farmi CH-27ACC» та перевалочного способу заготівлі з використанням «Skorpion 350 RBP». Отримані результати можуть бути використані у практичній діяльності органів державного управління, галузевих міністерств, підприємств та організацій, що займаються заготівлею деревно-паливної сировини, її подрібненням, транспортуванням і постачанням паливної тріски споживачам.

Ключові слова: порубкові залишки, деревна тріска, подрібнювач деревини, система машин, продуктивність, ефективність.

Вступ. Глобальне потепління є одним із найважливіших сучасних і майбутніх викликів для людства. Для пом'якшення його наслідків і адаптації до змін клімату міжнародна спільнота впроваджує різноманітні стратегії — від природоорієнтованих підходів до інженерно-технологічних рішень [Aguilar, Twardowski & Wohlgemuth, 2019; Pashakolaie et al., 2025].

На думку фахівців, ефективна протидія глобальним кліматичним змінам потребує комплексного підходу, який включає заходи щодо зменшення викидів парникових газів, підвищення енергоефективності, впровадження відновлюваних джерел енергії тощо. Заміна викопних енергоресурсів відновлюваними біологічними альтернативами є одним із дієвих шляхів досягнення цілі нульових викидів [Kuosmanen et al., 2020].

На сьогодні приблизно 14% світової енергії виробляється з біопалива, понад 85% якого становить деревна біомаса з лісового господарства та переробної промисловості. Основна частка лісової біомаси — паливна деревина (77%), водночас відходи лісопромислового виробництва та залишки після лісозаготівель — лише 8% [WBA, 2019].

Очікується подальше зростання обсягів використання біопалива, що сприятиме більш повному й ефективному використанню всіх видів деревних відходів, зокрема порубкових залишків [Directive (EU) 2018/2001; European Environment Agency, 2019; Konstantinavičienė, 2023].

Порубкові залишки у Європі становлять суттєвий резерв енергетичної біомаси. Загальні запаси деревини в лісах країн ЄС оцінюються у 28,6 млрд м³ [Eurostat, 2024]. Щорічно вирубується близько 610 млн м³ деревини, з яких 486 млн м³ заготовлюється, а близько 124 млн м³ — або 20% — залишаються на лісосіках у вигляді порубкових решток [Pilli et al., 2017; Samia et al., 2021].

Останнім часом в Європі, зокрема у скандинавських країнах, а також у Фінляндії, Швеції, Великій Британії, Ірландії та Німеччині активно впроваджують-

ся технології використання порубкових залишків для виробництва енергії, переважно у формі паливної тріски [EUBIA, 2025]. Для цього розробляються відповідні технологічні схеми та комплекси машин для їхньої реалізації.

Постановка завдання. У лісах України після проведення рубок головного користування щорічно залишається близько 2,74 млн м³ порубкових залишків, що еквівалентно приблизно 0,7 млн тон умовного палива (н.е.) [Гелетука та ін., 2018; Богомаз & Епик, 2024]. Загальний обсяг таких решток становить орієнтовно 14% від обсягу заготівлі ліквідної деревини [Kuiper & Oldenburger, 2006].

Водночас наявність лісової біомаси як сировини ще не гарантує можливості ефективного отримання енергії з неї. Для забезпечення повного логістичного циклу — від заготівлі до доставки біомаси до кінцевого споживача — необхідним є застосування відповідних технічних засобів і технологічних рішень [Ryżański & Jabłoński, 2014].

Серед основних способів використання порубкових залишків найбільш поширеними є подрібнення безпосередньо на лісосіках, збирання, пакування, транспортування до придорожніх майданчиків або терміналів, подальша переробка на паливну тріску.

У європейських країнах домінує технологія подрібнення біомаси на придорожніх площадках. Цей підхід передбачає збирання порубкових залишків за допомогою форвардерів, їхнє транспортування до місця переробки, подрібнення мобільними деревоподрібнювальними машинами, агрегованими з тракторами та доставку готової тріски до споживача спеціалізованими транспортними засобами — причепами або вантажівками-тріскоскозами [Kärhä & Oy, 2009; Nilsson, 2016].

На думку ряду дослідників, найефективнішим є виробництво тріски безпосередньо на лісосічній ділянці шляхом подрібнення порубкових залишків. Це дає змогу уникнути транспортування стовбурно-гілкової маси до окремого місця

подрібнення [Ryżański & Jabłoński, 2014; Драгнєв, 2023]. Для реалізації такого підходу використовуються комбіновані агрегати на базі самохідного форвардера або лісового причепа, обладнані деревоподрібнювачем, контейнером або кузовом для тріски та маніпулятором для подачі сировини до приймального отвору подрібнювального пристрою [EUBIA, 2025].

Альтернативним рішенням є мобільні машино-тракторні агрегати, що складаються з лісогосподарського трактора з навісним або причіпним деревоподрібнювачем і сільськогосподарським причепом для збору подрібненої біомаси [Ryżański & Jabłoński, 2014; Драгнєв, 2023; Леськів та ін., 2023].

Незважаючи на певні напрацювання у сфері біоенергетики, питання ефективності виробництва тріски з порубкових залишків у лісових господарствах України, зокрема безпосередньо на місцях її утворення, наразі недостатньо висвітлене у науково-технічній літературі й потребує подальших досліджень.

Мета дослідження — оцінити ефективність різних техніко-технологічних рішень для виробництва тріски з порубкових залишків безпосередньо на лісосіках.

Методи і матеріали. У ході виконання роботи оцінено шість варіантів систем машин для заготівлі тріски безпосередньо на лісосіках на базі трьох типів деревоподрібнювачів:

- варіант 1 (потоківий спосіб, з ручною подачею біомаси): трактор ЛТ-105 «Solis» + деревоподрібнювач «DP 660 TC» + причіп тракторний «2ПТС-6» — трактор ЛТ-105 «Solis» + причіп тракторний «2ПТС-6,5» з сітчастими надставками; два робітники з бензопилами для підготовки порубкових залишків; два робітники для подачі біомаси в приймальний отвір подрібнювальної камери;
- варіант 2 (потоківий із механічною подачею біомаси): трактор ЛТ-105 «Solis» + деревоподрібнювач «Farmi CH-27ACC» — два транспортні агрегати трактор ЛТ-105 «Solis» + причіп тракторний «2ПТС-6,5» з сітчастими надставками;

- варіант 3 (потоківий із механічною подачею біомаси з валків порубкових залишків): трактор ЛТ-105 «Solis» + лісові граблі «ZP1» - трактор ЛТ-105 «Solis» + деревоподрібнювач «Farmi CH-27ACC»; два транспортні агрегати: трактор ЛТ-105 «Solis» + причіп-трісковоз «2ТСП-14»;

- варіант 4 (потоківий, комбінованою машиною — деревоподрібнювачем із маніпулятором і кузовом): трактор ЛТ-105 «Solis» + деревоподрібнювач «Skorpion 350 RBP»;

- варіант 5 (потоківий, комбінованою машиною — деревоподрібнювачем із маніпулятором і кузовом): трактор ЛТ-105 «Solis» + лісові граблі «ZP»; трактор ЛТ-105 «Solis» + деревоподрібнювач «Skorpion 350 RBP»;

- варіант 6 (перевалочний спосіб, комбінованою машиною — деревоподрібнювачем з маніпулятором і кузовом): трактор ЛТ-105 «Solis» + лісові граблі «ZP1» - трактор ЛТ-105 «Solis» + деревоподрібнювач «Skorpion 350 RBP»; трактор ЛТ-105 «Solis» + фронтальний навантажувач «Metal-Fach T-229D»; трактор ЛТ-105 «Solis» + причіп-трісковоз «2ТСП-14».

Вихідні вимоги для визначення експлуатаційно-технологічних показників:

- середній експлуатаційний запас деревини — 270 м³/га;
- середня щільність деревини вологістю 25% — 650 кг/м³;
- коефіцієнт фітомаси, яка підлягає переробці на тріску, — 0,14;
- відстань від майданчика споживача до лісосіки — 10 км;
- середня відстань до майданчика для тріски на краю лісосіки — 0,2 км;
- середня швидкість руху від лісосіки до майданчика споживача — 20 км/год;
- середня швидкість руху лісосікою — 5 км/год;
- місткість кузова причіпа тракторного «2ПТС-6» — 15,5 м³;
- місткість кузова причіпа-трісковоза «2ТСП-14» — 24 м³;
- коефіцієнт повнодеревності тріски — 0,39;
- коефіцієнт повнодеревності гілково-стовбурної маси, яка подається на подрібнення, — 0,40;

Таблиця 1 – Основні конструкційні параметри дерево подрібнювачів [Fordaq, 2021; Agrobiz, 2025; DLight, 2025]

Показник	Значення показника		
	DP 660 TC	Farmi CH27ACC	Skorpion 350 RBP
Виробник	СП ТзОВ “Олно-ва”, Україна	Farmi Forest, Фінляндія	Teknamotor Sp. z.o.o., Польща
Агрегатується з тракторами потужністю, к.с	100	54-156	100
Комплектування маніпулятором подачі біомаси	не має	оснащений	оснащений
Подача біомаси на подрібнення	вручну	механічна	механічна
Тип подрібнювального апарату	дисковий	дисковий	барабанний
Швидкість подачі деревини на подрібнення, м/с.	0,4-0,8	0,4-0,8	0,3-0,5
Розміри вхідного вікна подрібнювального пристрою, мм:			
- висота	210	270	310
- ширина	245	350	375
Можливість агрегування з причепом	так	ні; тріска подається у кузов поряд їдучого транспортного засобу	оснащений кузовом місткістю 16 м ³

- коефіцієнт використання машинного часу подрібнювального пристрою - 0,75-0,85;

- річне нормативне завантаження деревоподрібнювача — 800 год. [Драгнев, 2023].

Основними відмінностями досліджуваних машин є конструкційні рішення механізмів подачі деревини на подрібнення, подрібнювальних пристроїв і способів збирання тріски (табл. 1).

Місткість кузова причепа тракторного 2ПТС-6,5 — 15,5 м³, а кузова причіпа-тріскового 2ТСП-14 — 24 м³ [Київспецтех, 2025; ТОВ «Завод Кобзаренка», 2025]. Характеристики трактора ЛТ-105 «Solis», лісових граблів і фронтального навантажувача наведені в документах [Ролько та ін., 2016; Думич та ін., 2022].

Продуктивність причіпів, лісових граблів і ковшового навантажувача визначали згідно з ДСТУ 8424:2015 [ТК 69, 2015]. Методика визначення продуктивності деревоподрібнювальних машин і лісових граблів наведена в таблиці 2.

Економічна ефективність досліджуваних варіантів виробництва деревної трі-

ски оцінювалася згідно ДСТУ 4397:2005 “Сільськогосподарська техніка. Методи економічного оцінювання техніки на етапі випробувань”.

Статистична обробка результатів досліджень проводилася за загальноприйнятими науковими методиками, традиційними у лісівництві та рослинництві.

Результати. За результатами проведеного оцінювання техніко-технологічних рішень встановлено, що найвищу годинну продуктивність за змінного часу (4,47 т/год) забезпечує потоковий спосіб заготівлі біопалива (варіант 3), який передбачає переробку на тріску порубкових залишків, зібраних у валки, за допомогою деревоподрібнювача «Farmi CH-27ACC» (табл. 3). Застосування цього способу дає змогу зменшити кількість технологічних стоянок, покращити умови та підвищити безпеку експлуатації транспортних засобів, що обумовлено відсутністю потреби у їхньому переміщенні нерівностями на лісосіках. Це своєю чергою створює можливість для ефективного використання великогабаритних причепів-трісковозів із підвищеною вантажомісткістю.

Таблиця 2 – Методика визначення продуктивності деревоподрібнювальних машин і лісових граблів

Формула для визначення	Позначення (символ)
Методика визначення продуктивності деревоподрібнювальних машин	
Продуктивність за годину змінного часу, т/год $W_{зм} = W_{м.п} \cdot k_{зм} \cdot \rho_{дер} =$ $= 3600 \cdot v_n \cdot b \cdot h \cdot k_{6.6} \cdot k_{n-д.фито} \cdot k_{м.ч} \cdot k_{зм} \cdot \rho_{дер} =$ $= 3600 \cdot v_n \cdot b \cdot h \cdot k_{6.6} \cdot k_{n-д.фито} \cdot k_{м.ч} \cdot k_{ц} \cdot \delta_{ц} \cdot \rho_{дер} =$ $= 3600 \cdot \frac{T_{ц} \cdot T_o^1}{T_{зм} \cdot T_{ц}^1} \cdot v_n \cdot b \cdot h \cdot k_{6.6} \cdot k_{n-д.фито} \cdot k_{м.ч} \cdot \rho_{дер}$	$W_{зм}$ - продуктивність за годину змінного часу, т/год; $W_{м.п}$ - продуктивність подрібнюючого механізму за годину основного часу, м³/год; $k_{зм}$ - коефіцієнт використання змінного часу; $\rho_{дер}$ - щільність деревини, кг/м³: свіжозрубаної сосни вологістю 50% - 640 кг/м³; вологістю 25% - сосни - 520 кг/м³ [Vital Special Service, 2025]; v_n - швидкість подачі деревної біомаси в подрібнювальний пристрій, м/с; b - ширина вхідного вікна подрібнювальної камери, м; h - висота вхідного вікна подрібнювальної камери, м; $k_{6.6}$ - коефіцієнт використання отвору вхідного вікна; на подрібненні дров'яної деревини - 0,2-0,4, кускових відходів - 0,1-0,2, хмизу - 0,10-0,2, гілко-стовбурної маси - 0,3-0,6 [Кобельчук & Герасименко, 2013]; $k_{n-д. фито}$ - коефіцієнт повнодеревності: для дрібних гілок (хмизу) - 0,10-0,20, для дрібних стовбурів діаметром від 4 до 10 см - 0,61-0,66, для дров'яної деревини і кускових відходів - 0,40-0,50, для гілко-стовбурної маси порубкових залишків - 0,30-0,40 [Кобельчук & Герасименко, 2013; Бровко та ін., 2022]; $k_{м.ч}$ - коефіцієнт використання машинного часу подрібнювального пристрою, який враховує враховує тривалість виходу на робочі режими подрібнювального пристрою після його вмикання в роботу; $k_{м.ч} = 0,75-0,85$ [Кобельчук & Герасименко, 2013]; $k_{ц}$ - коефіцієнт використання циклового часу; $\delta_{ц}$ - коефіцієнт циклового часу зміни; $T_{зм}$ - тривалість зміни, год; =8 год; $T_{ц}$ - тривалість циклового часу, год; $T_{ТЕХН}$ - затрати часу на технологічне обслуговування, год; $T_{то.тр}$ - затрати часу на технічне обслуговування трактора, год; $T_{то.м}$ - затрати часу на технічне обслуговування подрібнювача, год; $T_{пер1}, T_{пер2}$ - затрати часу на переїзди з місця стоянки на лісосіку і навпаки, год; $T_{первед}$ - затрати часу на переведення деревоподрібнювача з транспортного положення в робоче і навпаки, год; $T_{в}$ - час на відпочинок обслуговуючого персоналу, год;
Продуктивність подрібнюючого механізму за годину основного часу, м³/год; $W_{м.п} = 3600 \cdot v_n \cdot b \cdot h \cdot k_{6.6} \cdot k_{n-д.фито} \cdot k_{м.ч}$	
Структура часу зміни $T_{зм} = T_{ц} + T_{ТЕХН} + T_{то.тр} + T_{то.м} + T_{пер1} +$ $+ T_{пер2} + T_{первед} + T_{в}$	
Затрати часу на переїзди з місця стоянки на лісосіку $T_{пер1} = \frac{L}{g_1}$	
Затрати часу на переїзди з лісосіки до місця стоянки $T_{пер2} = \frac{L}{g_2}$	
Тривалість циклового часу $T_{ц} = T_{зм} - (T_{ТЕХН} + T_{то.тр} + T_{то.м} + T_{пер2} +$ $+ T_{пер1} + T_{первед} + T_{в})$	
Тривалість одного робочого циклу $T_{ц}^1 = T_o^1 + T_{д}^1 + T_{техн}^1 + T_{первед}^1$	
Затрати часу на зміну технологічної стоянки $T_{д}^1 = n_{м.с} \cdot \left(T_{первед} + \frac{10^{-3} \cdot m_{к.д}^1 \cdot \ell}{g_3} \right) =$ $= \frac{n_{к.д}}{m_{к.д}^1} \cdot \left(T_{первед} + \frac{10^{-3} \cdot m_{к.д}^1 \cdot \ell}{g_3} \right) =$ $= \left(\frac{10^4 \cdot V_{куз} \cdot k_{n-д.трис}}{m_{к.д}^1 \cdot \ell \cdot 6 \cdot 3 \cdot \rho_{дер} \cdot k_{фито}} \right) \cdot \left(T_{первед} + \frac{10^{-3} \cdot m_{к.д}^1 \cdot \ell}{g_3} \right)$	
Тривалість часу основної роботи впродовж одного робочого циклу $T_o^1 = \frac{V_{трис.кузов}}{W_{м.п}}$	

Продовження таблиці 2

Формула для визначення	Позначення (символ)
Методика визначення продуктивності деревоподрібнювальних машин	
Об'єм тріски в кузові причіпа-тріско- воза $V_{тріск.кузов} = V_{кузов} \cdot k_{n-д.тріс}$	Тривалість відпочинку для машинноручних і ручних процесів - 12 хв на годину операційної роботи [Ткачук та ін., 2022]; L - відстань від місця стоянки до лісосіки, км; ϑ_1 - середня швидкість руху трактора з порожнім причіпом, км/год; ϑ_2 - середня швидкість руху трактора із завантаженим причіпом, км/год; T_u^1 - тривалість одного робочого циклу, год; T_o^1 - тривалість часу основної роботи за один цикл, год; T_d^1 - затрати часу на зміну технологічної стоянки, год; $T_{техн1}^1$ - затрати часу на одну заміну причіпа, год; $T_{перевез}^1$ - затрати часу на перевезення тріски до місця вивантаження, год. Стосується лише деревоподрібнювачів оснащених місткостями для збору тріски і визначаються згідно з ДСТУ 8424:2015 [ТК 69, 2015]; $n_{т.с}$ - кількість технологічних стоянок протягом одного робочого циклу; $n_{к.д}$ - кількість куп деревини, необхідних для завантаження одного причіпа; $m_{к.д}^1$ - кількість куп деревини, які переробляються на тріску за однієї технологічної стоянки; l - відстань між купами деревини, м; v - ширина пасіки, з якої формуються одна купа деревної фітомаси, м; $V_{куз}$ - конструкційна місткість кузова причіпа, м ³ ; $k_{n-д.тріс}$ - коефіцієнт повнодеревності тріски; $k_{n-д.тріс} = 0,39$ [Кобельчук & Герасименко, 2013]; $Z_{дерев}$ - експлуатаційний запас деревини, м ³ /га; Середній експлуатаційний запас деревини в Україні за видами дерев варіюється в діапазоні 190-325 м ³ /га, у тому числі - хвойних - 258-294 м ³ /га [Торосов та ін., 2019]; $k_{фито}$ - коефіцієнт фітомаси звалених дерев, яка може бути використанна для переробки на тріску: за суцільних рубок - 0,12 - 0,20, на очищенні - $k_{фито} = 1,0$ [Гелетуша та ін., 2018]; ϑ_3 - швидкість руху лісосікою, км/год; $\vartheta_3 = 3-5$ км/год; $V_{трісккузова}$ - об'єм тріски в кузові причіпа-тріскового, м ³ .

Упорядкування технологічного процесу сприяє скороченню витрат часу на переїзди між купами порубкових залишків, підвищенню тривалості основного робочого циклу подрібнювального механізму, що призводить до зростання коефіцієнтів використання як циклового, так і змінного часу. Сукупність зазначених чинників зумовлює підвищення загальної продук-

тивності агрегата. Порівняно з варіантом 2, що передбачає підбирання та подрібнення деревних залишків, розподілених площею лісосіки, приріст продуктивності становить 1,67 раза.

У варіанті 1, що передбачає використання деревоподрібнювача «DP 660 TC» із ручною підготовкою та подачею стовбурно-гілкової біомаси на подрібнення,

Таблиця 3 – Показники експлуатаційно-технологічної оцінки систем машин, які застосовуються для заготівлі тріски на зрубках

Показник	Значення показника					
Варіант досліджу	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5	Варіант 6
Марка деревоподрібнювача	DP 660 TC	Farmi CH-27ACC	Skorpion 350 RBP			
Структура часу зміни, год.						
- на підготовчо-заклучні роботи (технічне і технологічне обслуговування, переїзди на лісосіку і навпаки, переведення з транспортного в робоче положення і навпаки	1,57	1,65	1,70			
- на відпочинок	1,07	0,5	0,5			
- цикловий час	5,36	5,85	5,80			
Структура часу одного циклу, год.						
- тривалість одного робочого циклу	1,84	1,09	1,00	1,96	1,62	0,70
- на основну роботу	1,21	0,32	0,49	0,21	0,21	0,21
- на очікування та заміну причепа	0,1	0,1	0,19	-	-	-
- переїзди між технологічними стоянками	0,53	0,67	0,32	0,65	0,31	0,31
- переїзди до місця вивантаження і навпаки	-	-	-	1,1	1,1	0,18
Продуктивність за годину основної роботи:						
м³/год.	5,0	19,05	29,46			
т/год. (вологість тріски 50 %)	3,20	12,19	18,85			
Коефіцієнт використання циклового часу	0,66	0,29	0,49	0,11	0,13	0,30
Коефіцієнт циклового часу зміни	0,67	0,72	0,73			
Коефіцієнт використання змінного часу	0,44	0,21	0,35	0,08	0,09	0,22
Продуктивність за годину змінної роботи,						
м³/год.	2,20	4,00	6,67	2,36	2,65	6,48
т/год. (вологість тріски 50 %)	1,41	2,56	4,23	1,51	1,70	4,15
т/год. (вологість тріски 25 %)	1,14	2,08	3,47	1,23	1,38	3,37
Змінний виробіток, (вологість тріски 25%) т.	9,12	16,64	27,76	9,84	11,04	26,96
Сезонний виробіток за нормативного завантаження, т	912	1664	2776	984	1104	2696
Питома витрата палива за змінним часом, кг/т	4,47	2,36	1,46	3,63	3,49	1,38

¹ Вологість паливної тріски для ефективної роботи котлів - до 30%.

Таблиця 4 – Показники ефективності досліджуваних варіантів технології заготівлі тріски на зрубах¹

Варіант досліджу (система машин)	Значення показника							
	Балансова вартість технічних засобів, тис. грн.	Продуктивність подрібнювача деревини за змінним часом, т/год.	Затрати праці, люд.-год/т	Сумарні витрати палива кг/т	Прямі експлуатаційні витрати, грн./т	Приведені витрати, грн./т	Собівартість тріски (приведені+ накладні витрати (36%)), грн./т	2Економічний ефект, грн./т
Варіант 1 Трактор ЛТ-105 «Solis» (2 шт.), Подрібнювач «DP 660 TC», Причіп «2ПТС-6,5» (2шт.)	3794,00	1,14	4,08	6,48	1269	1691	2230	270
Варіант 2 Трактор ЛТ-105 «Solis» (3 шт.), Подрібнювач «Farmi CH-27ACC», Причіп «2ПТС-6,5» (2шт.)	6866,00	2,68	1.11	5,85	1057	1512	2056	444
Варіант 3 Трактор ЛТ-105 «Solis» (4 шт.), Подрібнювач «Farmi CH-27ACC», Причіп-трісковоз «2ТСП-14» (2шт.) Лісові граблі «ZP1»	8778,00	4,47	0,9	4,32	792	1160	1578	922
Варіант 4 Трактор ЛТ-105 «Solis» (1 шт.), Подрібнювач «Skorpion 350 RBP»	5172,00	1,58	0,63	3,63	1353	2039	2773	-273
Варіант 5 Трактор ЛТ-105 «Solis» (2 шт.), Подрібнювач «Skorpion 350 RBP» Лісові граблі «ZP1»	6640,00	1,78	0,76	4,61	1346	2021	2749	-249
Варіант 6 Трактор ЛТ-105 «Solis» (5 шт.), Подрібнювач «Skorpion 350 RBP» Лісові граблі «ZP1» Навантажувач «Metal-Fach T-229D» Причіп-трісковоз «2ТСП-14» (2шт.)	12111,60	4,34	0,94	4,81	1042	1472	2002	498

¹ показники економічної ефективності визначалися за нормативного річного завантаження деревоподрібнювальних машин 800 год.

² ціна паливної тріски 1800-3600 грн./т [Олійник, 2023; Коцупей, 2024; Настільні книги, 2025]. Економічний ефект розраховано за ціни тріски 2500 грн./т

годинна продуктивність за змінного часу становила 1,47 т/год, що у 1,82 рази менше порівняно з варіантом 2. Останній реалізовував аналогічну схему роботи, однак із застосуванням деревоподрібнювача «Farmi CH-27ACC», оснащеного маніпулятором, приймальним лотком із рухомим подавальним транспортером і подрібнювальним пристроєм з вищою пропускною

здатністю.

Максимальну продуктивність за основним часом (19,74 т/год) забезпечив деревоподрібнювач «Skorpion 350 RBP», оснащений барабанним подрібнювальним механізмом, грейфером для подачі порубкових залишків і системою активної подачі фітоматеріалу на подрібнення. Однак при потоковій організації процесу

заготівлі тріски (варіанти 4 і 5) значні витрати часу на транспортування біопалива до споживача зумовили істотне зниження продуктивності за змінного часу — до 1,58-1,78 т/год, що у 10 разів менше порівняно з показником основного часу.

У випадку застосування машини «Skorpion 350 RBP» для перевалочного способу заготівлі тріски, який передбачає подрібнення порубкових залишків у валках із подальшим транспортуванням тріски до обочини ділянки, продуктивність за змінного часу становила 4,34 т/год. Це у 2,43-2,75 рази вище порівняно з поточковим способом виробництва біопалива. Водночас упровадження перевалочного способу потребує залучення додаткової навантажувальної та транспортної техніки.

Показники ефективності досліджуваних технологічних варіантів заготівлі тріски на лісозаготівельних ділянках наведено в таблиці 4.

Найвищу економічну ефективність — 922 грн/т — забезпечує поточковий спосіб виробництва паливної тріски безпосередньо на лісосіках із подальшим транспортуванням до споживача, що реалізується з використанням машинно-тракторної системи, до складу якої входять чотири трактори ЛТ-105 «Solis», лісові граблі «ZP1», деревоподрібнювач «Farmi CH-27ACC», а також два причепа-трісковози «2ТСП-14» (варіант 3).

У варіанті 6, що передбачає перевалочний спосіб заготівлі біопалива, економічний ефект становив 498 грн/т, що у 1,85 рази менше, ніж у варіанті 3 попри незначну різницю у продуктивності деревоподрібнювачів (лише 0,13 т/год). Водночас у варіанті 6 відзначено значно вищу собівартість виробництва тріски, зумовлену залученням більшої кількості технічних засобів і відповідно, більшими інвестиційними витратами на їхню закупівлю.

Економічна оцінка показала, що технологічні варіанти 4 і 5 виявилися збитковими, що свідчить про недоцільність застосування деревоподрібнювача «Skorpion 350 RBP» у поточковому способі виробництва тріски на лісосічних ділянках.

Щодо доцільності вибору техніко-технологічних рішень для різних категорій споживачів із урахуванням річної потреби у паливній трісці встановлено таке:

— для котелень із потребою до 1000 т/рік — ефективним є використання деревоподрібнювача «DP 660 TC» з ручною подачею порубкових залишків (варіант 1);

— для потреб у межах 2000 т/рік доцільним є варіант 2 збирання біомаси на лісосіці з подальшим подрібненням деревоподрібнювачем «Farmi CH-27ACC» із механічною подачею;

— для споживачів із потребою близько 3000 т/рік оптимальним є варіант 3 подрібнення стовбурно-гілкового матеріалу, зібраного у валки, із застосуванням «Farmi CH-27ACC» з механічною подачею або ж перевалочний спосіб заготівлі тріски з використанням комбінованої машини «Skorpion 350 RBP».

Обговорення. Дослідження різних технологій виробництва паливної тріски з порубкових залишків здійснювали як вітчизняні, так і зарубіжні наукові установи. Отримані результати свідчать про співставність продуктивності та вартості виробництва біопалива за різних підходів і технічних рішень.

Фахівцями ТОВ «НТЦ «Біомаса» Біоенергетичної асоціації України встановлено, що продуктивність деревоподрібнювальної машини «RM52» з ручною подачею матеріалу становить 0,82 т/год, водночас прямі експлуатаційні витрати на подрібнення порубкових залишків і транспортування тріски сягають 1829 грн/т. Загальна вартість комплексу вітчизняної техніки, що застосовувалася у дослідженні, оцінюється на рівні 2,6 млн грн [Драгнєв, 2023].

Науковці Познанського університету природничих наук (Польща) зазначають, що собівартість виробництва паливної тріски з порубкових залишків становить 25 USD/мі (або 38 USD/т), що за актуальним валютним курсом еквівалентно приблизно 1606 грн/т. Автори підкреслюють, що витрати на виробництво можна

суттєво знизити за рахунок використання менш потужних і дешевших машин за умови, що їхній технічний потенціал відповідає потребам споживача [Szewczyk & Polowy, 2020].

Фахівці Університету в м. Брно (Чехія) наголошують, що для виробництва невеликих обсягів тріски доцільним є використання деревоподрібнювачів із ручною подачею та тракторних причепів, агрегованих із сільськогосподарськими тракторами, хоча такі системи характеризуються низькою продуктивністю і вищою трудомісткістю, вони є більш універсальними, придатними до подрібнення різних видів деревної біомаси, здатні працювати в умовах пересіченої місцевості та використовуються також для виконання інших сільськогосподарських операцій [Neruda et al., 2022].

Водночас, у випадку виробництва значних обсягів паливної тріски доцільним є подрібнення порубкових залишків безпосередньо на поверхні лісосіки або на узбіччі лісової дороги із застосуванням потужних агрегатів із механізованою подачею сировини до камери подрібнення [Rozanski & Jablonski, 2012].

Так, використання мобільного деревоподрібнювача «JENZ 540R-Truck», змонтованого на шасі вантажного автомобіля, у поєднанні з двома транспортними засобами, забезпечило продуктивність за змінного часу на рівні 10,82 т/год, а прямі експлуатаційні витрати становили 960 грн/т. Загальна вартість технічного комплексу – понад 26 млн грн [Драгнєв, 2023]. За іншими дослідженнями, система, що включала подрібнювальну машину «Starchl MK74 600», встановлену на вантажівці, та перевезення тріски трактором і вантажним автомобілем забезпечила продуктивність 11,1 т/год при витратах 26,7 EUR/т [Mihelič et al., 2018].

Італійські дослідники виявили, що вартість виробництва тріски на лісосіці з використанням мобільного подрібнювача і двох тракторних причепів становить 22,7 EUR/т, що на 10% дешевше, ніж подрібнення деревини на придорожньому

майданчику [Spinelli et al., 2014].

Таким чином, результати наведених досліджень демонструють широкий спектр цін і продуктивності виробництва паливної тріски залежно від обраної технологічної схеми, рівня механізації, умов заготівлі та обсягів виробництва. Водночас зазначається, що представлені показники є орієнтовними і відображають лише загальну картину в межах конкретних дослідницьких умов. Для отримання точніших економічних висновків доцільне проведення більш глибоких і локалізованих досліджень.

Висновки. Система машин на базі деревоподрібнювача «DP 660 TC» з ручною подачею порубкових залишків у завантажувальний отвір подрібнювального апарата (включає подрібнювач і два тракторні причепа) здатна забезпечити потреби котельні з річним споживанням палива до 1000 т. За продуктивності 1,14 т/год за змінного часу сезонний обсяг виробленого палива становить 912 т.

Деревоподрібнювач «Farmi CH-27ACC» із механізованою подачею матеріалу на подрібнення, використаний у варіанті, що передбачає збір і переробку порубкових залишків, розподілених площею лісосіки після роботи харвестера, продемонстрував продуктивність 2,08 т/год при вологості тріски 25%. Сезонний обсяг виробленої тріски становив 1664 т, що забезпечує функціонування котелень із річною потребою до 2000 т.

Застосування деревоподрібнювача «Farmi CH-27ACC» для подрібнення порубкових залишків, зібраних у вали, забезпечило підвищення продуктивності до 3,47 т/год, при цьому сезонний обсяг виробництва тріски становив 2776 т. Комплекс технічних засобів у складі деревоподрібнювача «Farmi CH-27ACC», лісових граблів і двох причепів-трісковозів із місткістю кузова 24 м³ є ефективним для забезпечення котелень із потребою до 3000 т/рік.

Деревоподрібнювач «Skorpion 350 RBP» забезпечив найвищу продуктивність за основним часом – 19,74 т/год. Однак

при потоковому способі виробництва тріски значні витрати часу на транспортування біопалива до споживача призвели до зниження продуктивності за змінного часу більше, ніж у 10 разів. Економічна оцінка засвідчила збитковість технологічних варіантів із використанням «Skorpion 350 RBP» у потоковому режимі, що свідчить про недоцільність його застосування для виробництва тріски на лісосіках за цією схемою.

За перевалочного способу, що передбачає виробництво тріски на лісосіці та її транспортування до узбіччя з подальшим навантаженням і доставкою споживачу, продуктивність «Skorpion 350 RBP» за змінного часу зросла у 2,43–2,75 рази і становила 3,37 т/год. Незважаючи на необхідність залучення додаткових машин — фронтального навантажувача та двох причепів-трісковозів — перевалочна схема забезпечила економічний ефект до 498 грн/т і є доцільною для забезпечення котельень із річною потребою до 3000 т.

Найвищу економічну ефективність — 922 грн/т — продемонстрував поточковий спосіб виробництва тріски на лісосіках із подальшим транспортуванням до споживача за участю системи машин, до складу якої входять трактори ЛТ-105 «Solis» (4 од.), лісові граблі «ZP1», деревоподрібнювач «Farmi СН-27АСС», два причепа-трісковози «2ТСП-14».

Практична значущість отриманих результатів полягає в можливості їхнього застосування органами державного управління, міністерствами, профільними установами та підприємствами, що здійснюють заготівлю деревної біомаси, її подрібнення, транспортування та зберігання для забезпечення сталого постачання паливної тріски споживачам.

Перелік літератури

Богомаз, М. В. & Епик, О. В. (2024). Аналіз ринку лісової та деревної біомаси в Україні. Київ: WWF-Україна. 54 с. <https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/analysis-of-the-forest-and-wood-biomass->

[market-in-ukraine.pdf](https://www.wwf.org.uk/publications/analysis-of-the-forest-and-wood-biomass-market-in-ukraine.pdf)

Бровко, Ф.М., Таран, Н. Ю., Бровко, О. Ф., Войцехівська О. В., (2022). Ландшафтна таксація. Частина 1. Визначення таксаційних показників у деревного стовбура: Методичні рекомендації для виконання лабораторних робіт студентами ОР «Бакалавр», які навчаються за спеціальністю 206 «Садово-паркове господарство». Київ: ТОВ «ЦП Компрінт». URL: https://biomed.knu.ua/images/stories/Kafedry/Biologii_roslyn/Library/Landshaftna_taksaciia_2022_Chast_1.pdf

Гелетуша, Г.Г., Железна, Т.А., Пастух, А.В., Драгнєв, С.В. (2018). Аналітична записка БАУ №10. Можливості заготівлі деревного палива в лісах України. Біоенергетична асоціація України. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-10-ua.pdf>

Драгнєв, С. (2023). Техніко-економічні показники логістичних операцій постачання біомаси на енергетичні об'єкти. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2023/12/10.-Dragnyev-S.-V.-Tehniko-ekonomichni-pokaznykylolistychnyh-operatsij-postachannya-biomasy-na-energetychni-obyekty.pdf>

Думич, В.В., Сало, Я.М., Москаленко, О.Д., Іванкевич, М.М., Мазурак, М.В., Труш, Г.І., Борис, М.М., Герис, М.І. (2022). Дослідження ринку та прогноз технічного забезпечення АПК машинами та обладнанням для лісового господарства. Звіт про НДР, інв. № 0223U002133. Львівська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

Київспецтех (2025). Причіп тракторний 2ПТС-6,5 (з надставними сітчастими бортами). URL: <https://kievspecteh.com/prichep/prichep-traktorniy-2pts-6-5-s-nadstavnimi-sitchastimi-bortami?srsltid=AfmBOooN4qU-z5wTj0pMw7iGAiReNxWwBGHtvaFpXbVLWCHfFYclz8-P>

Кобельчук, Ю.М., Герасименко, К.О. (2013). Методичні вказівки до практичних занять з курсу “Основи проектування підприємств з виробництва деревних плит і пластиків” для студентів V курсу спеціальності 7.05130110 «Хімічні технології переробки деревини та рослинної сировини»

вини». Дніпропетровськ: ДВНЗ УДХТУ

Коцупей, О. (2024). Недороге тепло: на Хмельниччині виготовляють тріску для опалення. URL: https://ye.ua/syspilstvo/70301_Nedoroge_teplo__na_Hmelnichchini_vigotovlyayit_trisku_dlya_opalennya.html

Леськів, Г. З., Гобела, В. В., & Лесик, Н. А. (2023). Зелена логістика в системі еколого-економічної безпеки лісгосподарського підприємства. Науковий вісник Львівського державного університету внутрішніх справ (серія економічна), 1, 23-29.

Настільні книги (2025). Скільки коштує тонна тріски URL <https://bora.prosto.sx.ua/maysternist/skilki-koshtuie-tonnatriski.html>

Олійник, Є. (2023). SAF Україна: Аналіз публічних закупівель паливної тріски за 2018-2023 роки. URL: <https://uabio.org/materials/14776/>

Ролько, Т.З., Сало, Я.М., Ценюх, Я.О. (2016). Навантажувач фронтальний Т 229-Д та його модифікації. (Протокол державних приймальних випробувань технічного засобу для АПК № 2000/0101-02-2016). Львівська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого

ТК 69 (2015). Технічний комітет стандартизації «Трактори і сільськогосподарські машини». Сільськогосподарська техніка. Машини спеціалізовані й універсальні та машинні комплекси. Методи експлуатаційно-технологічного оцінювання на етапі випробувань. ДСТУ 8424:2015. Київ: ДП «Український науково-дослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості»

Ткачук, В. А., Ланченко, Є. О., Балан, О. Д., Гаврилюк, І. П. (2022). Економіка праці й соціально-трудові відносини: навч. посібник. Київ: НУБіП України.

ТОВ «Завод Кобзаренка» (2025). Причеп-щеповіз. URL: <https://kobzarenko.com.ua/ua/produkcija/podrbnyuvach-derevini/354-prichep-schepovz.html>

Торосов, А. С., Жежкун, І. М., Калашніков, А. О., Харченко, Ю. В (2019). Науково-практичні рекомендації щодо оцінки ефективності використання лісових ресурсів на основі комплексного визначення їх потен-

ціалу в розрізі регіонів. Харків: УкрНДІЛГА Agrobiz (2025). Рубальна машина DP 660 T (кутова) DP 660 TC. URL: <https://agrobiz.net/rubalna-mashina-dp-660-t-kutova-dp-660-t-c.html>

Aguilar, A., Twardowski, T., & Wohlge-muth, R. (2019). Bioeconomy for sustainable development. *Biotechnology Journal*, 14(8), 1800638.

Camia, A., Giuntoli, J., Jonsson, K., Robert, N., Cazzaniga, N., Jasinevičius, G., Avitabile, V., Grassi, G., Barredo, Cano, J.I., Mubareka, S. (2021). The use of woody biomass for energy production in the EU. Publications Office of the European Union. Luxembourg, Europe. DOI: 10.2760/831621

Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). Official Journal of the European Union. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj/eng>

DLight (2025). Подрібнювач деревини Farmi CH-27ACC, Фінляндія. URL: <https://dlight.com.ua/ua/akcii/podribnyuvach-derevini-farmi-ch-27acc-finlyandiya>

EUBIA (2025). Recovery of forest residues. URL: <https://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/biomass-resources/challenges-related-to-biomass/recovery-of-forest-residues/>

European Environment Agency (2019). The European Environment - State and Outlook 2020. Knowledge for Transition to a Sustainable Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://www.eea.europa.eu/soer/2020>

Eurostat (2024). Forests, forestry and logging. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Forests,_forestry_and_logging

Fordaq (2021). New Wood Chipper Skorpion 350 RBP – Teknamotor URL: <https://www.fordaq.com/catalog/wood-chipper-scorpion-350-rbp-teknomotor-18036830>

Kärhä K., & Oy M. (2009). Supply chains of forest chip production in Finland. Bioenergy 2009. Conference proceedings. Jyväskylä, 2009. URL: https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2009/09/Tiedote_19_2009_1_2_Proceedings_Sup-

ply_chains.pdf

Konstantinavičienė, J. (2023). Assessment of Potential of Forest Wood Biomass in Terms of Sustainable Development. *Sustainability*, 15(18), doi:10.3390/su151813871

Kuiperen, L. & Oldenburger J. (2006). The harvest of forest residues in Europe. URL: <https://biomassmurder.org/lobby-facts/2006-02-00-bus-biomassa-upstream-stuurgroep-probos-biomassalobby-the-harvest-of-forest-residues-in-europe.pdf>

Kuosmanen, T., Kuosmanen, N., El-Melligli, A., Ronzon, T., Gurria, P., Iost, S., M'Barek, R. (2020). How Big is the Bioeconomy? Reflections from an economic perspective. Luxembourg: Publications Office of the European Union. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d746df29-8508-11ea-bf12-01aa75ed71a1/language-en>

Mihelič, M., Spinelli, R., & Poje, A. (2018). Production of wood chips from logging residue under space-constrained conditions. *Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering*, 39(2), 223-232.

Neruda, Simanov, V., Klvač, R., Skoupě, A., Kadlec, J., Zeměnek, T., & Nevrkla, P. (2022). *Technika a technologie v lesnictví – dříví dřívě*. Brno: Mendelova univerzita v Brně. URL: https://ut.ldf.mendelu.cz/wc-d/w-ldf-ut/soubory/skripta_ttl_2022_2dil.pdf

Nilsson, B. (2016). Extraction of logging residues for bioenergy- effects of operational methods on fuel quality and biomass losses in the forest. Doctoral dissertation, Linnaeus University, Sweden. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1049815/FULLTEXT01.pdf>

Pashakolaie, V. G., Gonella, S., & Muhit, I. B. (2025). Integrating modern bioeconomy into macroeconomics: A comprehensive review of impacts and interactions. *Bioresource Technology Reports*, 30, 102125. doi:10.1016/j.biteb.2025.102125

Pilli, R., Grassi, G., Kurz, W. A., Fiorese, G., and Cescatti, A. (2017). The European forest sector: past and future carbon budget and fluxes under different management scenarios. *Biogeosciences*, 14, 2387-2405.

doi:10.5194/bg-14-2387-2017

Ryzański, H. & Jabłoński, K. (2014). Technologie pozyskiwania biomasy leśnej na cele energetyczne. *Czasopismo inżynierii ładowej, środowiska i architektury*. XXXI, № 61 (3/II/14). 453-458. <https://doi.prz.edu.pl/pl/pdf/biis/212>

Spinelli, R., Di Gironimo, G., Esposito, G., Magagnotti, N., (2014). Alternative supply chains for logging residues under access constraints. *Scandinavian Journal of Forest Research* 29(3): 266–274

Szewczyk, K., & Polowy, K. (2020). Production of fuel wood chips as an example of supply chain reorganisation resulting from socioeconomic changes in Poland. *Drewno*. 63. (205), 141-154. doi:/10.12841/wood.1644-3985.274.02.

Vital Special Service (2025). Щільність дерев різної вологості. URL: <https://ua.pereezd.net.ua/shilnist-dereva-riznoyi-vologosti.html>

WBA (2019). Global bioenergy statistics 2019. Stockholm https://www.world-bioenergy.org/uploads/191129%20WBA%20GBS%202019_HQ.pdf

References

Bohomaz, M. V., & Epik, O. V. (2024). Analysis of the forest and wood biomass market in Ukraine. Kyiv: WWF-Ukraine. 54 p. <https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/analysis-of-the-forest-and-wood-biomass-market-in-ukraine.pdf>

Brovko, F. M., Taran, N. Yu., Brovko, O. F., & Voitsekhivska, O. V. (2022). Landscape taxation. Part 1. Determination of taxation indicators of tree stems: Methodological recommendations for laboratory work for Bachelor's students majoring in 206 "Horticulture". Kyiv: "CP Komprint" LLC. URL: https://biomed.knu.ua/images/stories/Kafedry/Biologii_roslyn/Library/Landshaft-na_taksacii_2022_Chast_1.pdf

Vital Spec Service (n.d.). Density of wood with different moisture content. URL: <https://ua.pereezd.net.ua/shilnist-dereva-riznoyi-vologosti.html>

Heletukha, H. H., Zhelezna, T. A., Pas-tukh, A. V., & Dragniev, S. V. (2018). Analytical

note of UABio No. 10. Potential for firewood harvesting in the forests of Ukraine. Bioenergy Association of Ukraine. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2020/04/position-paper-uabio-10-ua.pdf>

Dragnev, S. (2023). Techno-economic indicators of biomass supply logistics for energy facilities. URL: <https://uabio.org/wp-content/uploads/2023/12/10.-Dragnyev-S.-V.-Tehniko-ekonomichni-pokaznyky-logistychnyh-operatsij-postachannya-biomasy-na-energetychni-obyekty.pdf>

Dumych, V. V., Salo, Ya. M., Moskalenko, O. D., Ivankevych, M. M., Mazurak, M. V., Trush, H. I., Borys, M. M., & Heris, M. I. (2022). Study of the market and forecast of technical support in the agro-industrial complex with forest machinery and equipment. Research report, inv. No. 0223U002133. Lviv Branch of the UkrNDIPVT named after L. Pohorilyi.

Kyivspectech (2025). Tractor trailer 2PTS-6.5 (with mesh side extensions). URL: <https://kievspecteh.com/prichep/prichep-traktorniy-2pts-6-5-s-nadstavnimi-sitchastimi-bortami?srsId=Afm-BOooN4qU-z5wTj0pMw7iGAiReNxWwB-GHtvaFpxbVLWCHfFYclz8-P>

Kobelchuk, Yu. M., & Herasymenko, K. O. (2013). Methodological guidelines for practical classes on the course “Fundamentals of designing enterprises for the production of wood-based panels and plastics” for 5th year students majoring in 7.05130110 “Chemical Technologies of Wood and Plant Raw Material Processing”. Dnipropetrovsk: State HEI Ukrainian State University of Chemical Technology.

Kotsupe, O. (2024). Affordable heat: wood chips for heating are being produced in Khmelnytskyi region. URL: https://ye.ua/sypilstvo/70301_Nedoroge_teplo__na_Hmelnichchini_vigotovlyayit_trisku_dlya_opalennya.html

Leskiv, H. Z., Hobela, V. V., & Lesyk, N. A. (2023). Green logistics in the system of environmental and economic security of a forestry enterprise. Scientific Bulletin of the Lviv State University of Internal Affairs (Economic Series), 1, 23–29.

Mihelič, M., Spinelli, R., & Poje, A. (2018). Production of wood chips from logging residue under space-constrained conditions. Croatian Journal of Forest Engineering: Journal for Theory and Application of Forestry Engineering, 39(2), 223–232.

Nastilni Knyhy (2025). How much does a ton of wood chips cost? URL: <https://bora.prosto.cx.ua/maysternist/skilki-koshtuie-ton-na-triski.html>

Oliynyk, Ye. (2023). SAF Ukraine: Analysis of public procurement of wood chips for 2018–2023. URL: <https://uabio.org/materials/14776/>

Rolka, T. Z., Salo, Ya. M., & Tsenyukh, Ya. O. (2016). Front loader T 229-D and its modifications. (Protocol of State Acceptance Tests of Technical Means for the Agro-industrial Complex No. 2000/0101-02-2016). Lviv Branch of the UkrNDIPVT named after L. Pohorilyi.

TC 69 (2015). Technical Committee for Standardization “Tractors and Agricultural Machines”. Agricultural machinery. Specialized and universal machines and machine complexes. Methods of operational and technological evaluation at the testing stage. DSTU 8424:2015. Kyiv: SE “Ukrainian Scientific Research and Training Center for Standardization, Certification and Quality”.

Tkachuk, V. A., Lanchenko, Ye. O., Balan, O. D., & Havryliuk, I. P. (2022). Labour Economics and Socio-Labour Relations: Textbook. Kyiv: NUBiP of Ukraine.

Kobzarenko Plant LLC (2025). Wood chip trailer. URL: <https://kobzarenko.com.ua/ua/produkcija/podrbnyuvach-derevini/354-prichep-schepovz.html>

Torosov, A. S., Zhezkun, I. M., Kalashnikov, A. O., & Kharchenko, Yu. V. (2019). Scientific and practical recommendations for evaluating the efficiency of forest resource use based on a comprehensive assessment of their potential by region. Kharkiv: UkrNDILGA.

Agrobiz (2025). Chipping machine DP 660 T (angled) DP 660 TC. URL: <https://agrobiz.net/rubalna-mashina-dp-660-t-kuto-va-dp-660-t-c.html>

Aguilar, A., Twardowski, T., & Wohlgemuth, R. (2019). Bioeconomy for sustainable development. Biotechnology Journal, 14(8), 1800638.

Camia, A., Giuntoli, J., Jonsson, K., Robert, N., Cazzaniga, N., Jasinevičius, G., Avitabile, V., Grassi, G., Barredo, Cano, J.I., Mubareka, S. (2021). The use of woody biomass for energy production in the EU. Publications Office of the European Union. Luxembourg, Europe. DOI: 10.2760/831621

Directive (EU) 2018/2001 of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources (recast). Official Journal of the European Union. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2018/2001/oj/eng>

DLight (2025). Подрібноювач деревини Farmi CH-27ACC, Фінляндія. URL: <https://dlight.com.ua/ua/akcii/podribnyuvach-derevini-farmi-ch-27acc-finlyandiya>

EUBIA (2025). Recovery of forest residues. URL: <https://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/biomass-resources/challenges-related-to-biomass/recovery-of-forest-residues/>

European Environment Agency (2019). The European Environment - State and Outlook 2020. Knowledge for Transition to a Sustainable Europe. Luxembourg: Publications Office of the European Union. <https://www.eea.europa.eu/soer/2020>

Eurostat (2024). Forests, forestry and logging. URL: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Forests,_forestry_and_logging

Fordaq (2021). New Wood Chipper Skorpion 350 RBP – Teknamotor URL: <https://www.fordaq.com/catalog/wood-chipper-scorpion-350-rbp-teknamotor-18036830>

Kärhä K., & Oy M. (2009). Supply chains of forest chip production in Finland. Bioenergy 2009. Conference proceedings. Jyväskylä, 2009. URL: https://www.metsateho.fi/wp-content/uploads/2009/09/Tiedote_19_2009_1_2_Proceedings_Supply_chains.pdf

Konstantinavičienė, J. (2023). Assessment of Potential of Forest Wood Biomass in Terms of Sustainable Development. Sustainability, 15(18), doi:10.3390/su151813871

Kuiperen, L. & Oldenburger J. (2006). The harvest of forest residues in Europe. URL: <https://biomassmurder.org/lobby-facts/2006-02-00-bus-biomassa-upstream-stu->

[urgroep-probos-biomassalobby-the-harvest-of-forest-residues-in-europe.pdf](https://biomassmurder.org/lobby-facts/2006-02-00-bus-biomassa-upstream-stu-urgroep-probos-biomassalobby-the-harvest-of-forest-residues-in-europe.pdf)

Kuosmanen, T., Kuosmanen, N., El-Melligli, A., Ronzon, T., Gurria, P., Iost, S., M'Barek, R. (2020). How Big is the Bioeconomy? Reflections from an economic perspective. Luxembourg: Publications Office of the European Union. URL: <https://op.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/d746df29-8508-11ea-bf12-01aa75ed71a1/language-en>

Neruda, Simanov, V., Klvač, R., Skoupě, A., Kadlec, J., Zeměnek, T., & Nevrla, P. (2022). Technika a technologie v lesnictví – dříví dřívě. Brno: Mendelova univerzita v Brně. URL: https://ut.ldf.mendelu.cz/wc-d/w-ldf-ut/soubory/skripta_ttl_2022_2dil.pdf

Nilsson, B. (2016). Extraction of logging residues for bioenergy- effects of operational methods on fuel quality and biomass losses in the forest. Doctoral dissertation, Linnaeus University, Sweden. URL: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1049815/FULLTEXT01.pdf>

Pashakolaie, V. G., Gonella, S., & Muhit, I. B. (2025). Integrating modern bioeconomy into macroeconomics: A comprehensive review of impacts and interactions. Bioresource Technology Reports. 30. 102125. doi:10.1016/j.biteb.2025.102125

Pilli, R., Grassi, G., Kurz, W. A., Fiorese, G., and Cescatti, A. (2017). The European forest sector: past and future carbon budget and fluxes under different management scenarios. Biogeosciences, 14, 2387-2405. doi:10.5194/bg-14-2387-2017

Ryzański, H. & Jabłoński, K. (2014). Technologie pozyskiwania biomasy leśnej na cele energetyczne. Czasopismo inżynierii lądowej, środowiska i architektury. XXXI, № 61 (3/II/14). 453-458. <https://doi.prz.edu.pl/pl/pdf/biis/212>

Spinelli, R., Di Gironimo, G., Esposito, G., Magagnotti, N., (2014). Alternative supply chains for logging residues under access constraints. Scandinavian Journal of Forest Research 29(3): 266–274

Szewczyk, K., & Polowy, K. (2020). Production of fuel wood chips as an example of supply chain reorganisation resulting from socioeconomic changes in Poland. Drewno.63.

(205), 141-154. doi:/10.12841/wood.1644-3985.274.02. noyi-vologosti.html

Vital Special Service (2025). Density of trees of different humidity. URL: [https://ua.pereezd.net.ua/shilnist-dereva-riz-](https://ua.pereezd.net.ua/shilnist-dereva-riz-ua.pereezd.net.ua/shilnist-dereva-riz-)

WBA (2019). Global bioenergy statistics 2019. Stockholm https://www.world-bioenergy.org/uploads/191129%20WBA%20GBS%202019_HQ.pdf

UDC 630.3:662.63

STUDY OF THE EFFICIENCY OF MACHINE SYSTEMS FOR FUEL CHIP PRODUCTION AT LOGGING SITES

Dumych V.,

e-mail: v.dumych@i.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7813-5437>

Lviv Branch of the L. Pogorilyy UkrNDIPVT

Krupych O., PhD in Technical Sc.,

<https://orcid.org/0000-0002-5634-8116>

Lviv National University of Environmental Management

Summary

Purpose of the research – to evaluate the efficiency of various technical and technological solutions for the production of fuel chips at logging sites.

Methods. Within the scope of this work, six options for organizing the production of chips directly at logging sites were analyzed using three types of wood chipping machines: the DP 660 TC with manual material feeding, the Farmi CH-27ACC with mechanized biomass feeding, and the Skorpion 350 RBP mounted on a trailer with a chip container and mechanical material feeding for chipping.

Results. The system based on the DP 660 TC with manual feeding provided an annual production volume of fuel chips at the level of 912 tons. The use of the Farmi CH-27ACC in the variant of collecting and processing logging residues ensured a productivity of 2.08 t/h, which corresponds to a seasonal volume of 1664 tons. When chipping wood residues formed into windrows, the productivity of the Farmi CH-27ACC increased to 3.47 t/h, and the annual production to 2776 tons. The highest productivity during main operational time – 19.74 t/h – was demonstrated by the Skorpion 350 RBP. However, significant time costs for transporting biofuel to the consumer in in-line systems caused a decrease in productivity per shift time by more than tenfold. The economic assessment revealed the unprofitability of using the Skorpion 350 RBP in the in-line method of chip harvesting. With the reloading method, the productivity of the Skorpion 350 RBP increased to 3.37 t/h, which allowed for a positive economic effect of 498 UAH/t. The highest economic efficiency – 922 UAH/t – was recorded for the in-line method of chip production using a machine complex consisting of LT-105 “Solis” tractors (4 units), a ZPI forest rake, a Farmi CH-27ACC wood chipper, and two 2TSP-14 chip trailers.

Conclusions. For boiler houses with different annual fuel needs, the following technical and technological solutions are advisable: up to 1000 t – a system based on the DP 660 TC with manual feeding; up to 2000 t – the option of collecting and chipping logging residues at the logging site using the Farmi CH-27ACC; up to 3000 t – the option of chipping formed windrows with the Farmi CH-27ACC and the reloading method of harvesting using the Skorpion 350 RBP. The obtained results can be used in the practical activities of state administration bodies, industry ministries, enterprises, and organizations involved in the harvesting of wood fuel raw materials, its chipping, transportation, and supply of fuel chips to consumers.

Keywords: logging residues, wood chips, wood chipper, machine system, productivity, efficiency.