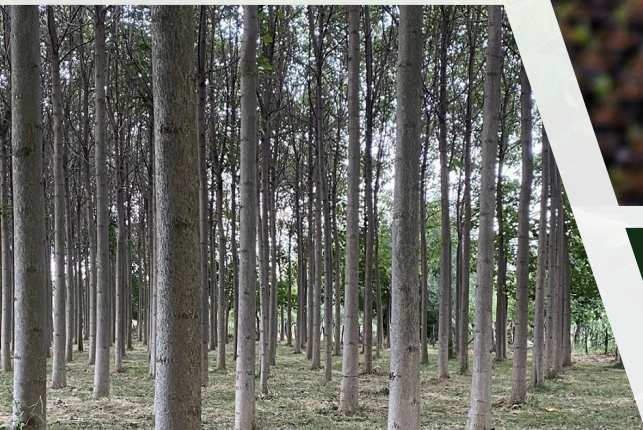


**М. Я. ГУМЕНТИК, В. М. СІНЧЕНКО, О. М. ГАНЖЕНКО, В. І. КРАВЧУК,
Я. Д. ФУЧИЛО, Л. А. ПРАВДИВА, В. М. КВАК, О. Б. ХІВРИЧ,
Г. С. ГОНЧАРУК, А. В. ФУРСА, Ю. А. ШАФАРЕНКО, В. М. ГУМЕНТИК,
Н. О. КОНОНЮК, О. М. АТАМАНЮК**

МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРАХУНКУ ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ОБҐРУНТУВАННЯ ВИРОЩУВАННЯ ТА ПЕРЕРОБЛЯННЯ БІОМАСИ ПАВЛОВНІЇ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ



КИЇВ 2025

**НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР І ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ**

**М. Я. Гументик, В. М. Сінченко, О. М. Ганженко, В. І. Кравчук,
Я. Д. Фучило, Л. А. Правдива, В. М. Квак, О. Б. Хіврич,
Г. С. Гончарук, А. В. Фурса, Ю. А. Шафаренко, В. М. Гументик,
Н. О. Кононюк, О. М. Атаманюк**

**МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРАХУНКУ
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ОБҐРУНТУВАННЯ
ВИРОЩУВАННЯ ТА ПЕРЕРОБЛЯННЯ БІОМАСИ
ПАВЛОВНІЇ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

Науково-методичні рекомендації

Київ 2025

УДК 632.631.620.952

<https://doi.org/10.47414/978-617-8706-30-2>

*Рекомендовано до опублікування вченою радою
Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН
(протокол № 18 від 10.11.2025)*

Рецензенти:

В. Т. Саблук, доктор с.-г. наук, професор;

В. В. Іваніна, доктор с.-г. наук, професор

(Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН)

Гументик М. Я., Сінченко В. М., Ганженко О. М., Кравчук В. І., Фучило Я. Д., Правдива Л. А., Квак В. М., Хіврич О. Б., Гончарук Г. С., Фурса А. В., Шафаренко Ю. А., Гументик В. М., Кононюк Н. О., Атаманюк О. М. Методологія розрахунку техніко-економічного обґрунтування вирощування та перероблення біомаси павловнії в умовах Лісостепу України : науково-методичні рекомендації / НААН України, Ін-т біоенергет. культ. і цукр. буряків. Електрон. вид. Київ : ІБКіЦБ НААН, 2025. 26 с.

ISBN 978-617-8706-30-2 (PDF)

У методичних рекомендаціях викладено основні підходи до розроблення техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) створення промислових плантацій павловнії. Видання рекомендовано для сільськогосподарських підприємств, фермерських господарств та особистих селянських господарств, зацікавлених у вирощуванні павловнії як сировини для деревообробної промисловості, виробництва будівельних матеріалів і енергетичної біомаси. Наведені економічні розрахунки та агротехнологічні рішення дають змогу оцінити ефективність закладання й експлуатації плантацій та забезпечити одержання стабільно високих урожаїв біомаси належної якості.

УДК 632.631.620.952

<https://doi.org/10.47414/978-617-8706-30-2>



Цей твір поширюється на умовах ліцензії CC BY-NC-SA 4.0

(Creative Commons «Attribution-NonCommercial-ShareAlike» 4.0 International)

ISBN 978-617-8706-30-2 (PDF)

© Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН, 2025

© Колектив авторів, 2025

ЗМІСТ

Вступ	4
1. Стан та перспективи вирощування деревних біоенергетичних культур в Україні	5
2. Економічна ефективність вирощування біомаси павловнії для виробництва біопалива	8
3. Визначення енергетичної ефективності вирощування біомаси павловнії в зоні центральної частини Лісостепу України	12
4. Методика розрахунку техніко-економічного обґрунтування кількості біомаси павловнії для отримання теплової енергії	14
Висновки	20
Список використаних джерел	21
Додаток	23

Вступ

В Україні останнім часом надзвичайно актуальними постають питання дефіциту енергетичних ресурсів, збільшення власного виробництва альтернативних видів палива та їх диверсифікація. Розв'язання цих проблем може забезпечити нова галузь економіки – біоенергетика, яка істотно зменшить використання викопних видів палива та знизить рівень вуглекислого газу в атмосфері.

Встановлено, що основну роль у вирішенні екологічних та енергетичних проблем можуть відіграти спеціально створені насадження швидко-рослих деревних біоенергетичних культур. Деревя найбільше поглинають через свої продихи (CO_2) та використовуючи енергію сонця перетворюють його в кисень (O_2) та можуть забезпечити високу продуктивність біомаси як сировини для виробництва біопалива [1–3]. Вирощування біоенергетичних культур, виробництво та використання біопалива сприяє підвищенню рівня зайнятості населення та є джерелом додаткового доходу, зокрема в сільській місцевості, де гостро відчувається нестача робочих місць. Створення енергетичних плантації біоенергетичних культур для виробництва біомаси стає актуальним в регіонах, в яких є низькопродуктивні землі, що не можуть бути використані для вирощування сільськогосподарських культур.

Однією з перспективних швидко-ростучих деревних культур у світі є павловнія, але культура для України є новою не інтродукованою в різних ґрунтово-кліматичних зонах, різні її види відрізняються між собою генотипами. Якщо для отримання промислової деревини та біомаси для виробництва біопалива з павловнії сорту Clone in vitro 112 потрібно 5–6 років, то для досягнення такої продуктивності павловнії повстистої (*Paulownia tomentosa* (Thunb.) Steud.) необхідно 8–9 років.

Для прогнозування та управління процесами формування урожайності біомаси павловнії залежно від ґрунтово-кліматичних та погодних умов зони Лісостепу України, розроблено модель виробництва високоякісної промислової сировини та енергоощадних екологічно чистих безвідхідних технологій. Зроблено економічні розрахунки для розробки техніко-економічного обґрунтування (ТЕО) виходу біомаси павловнії з площі, зниження витрат коштів і енергії на виробництво ділової деревини та біопалива у вигляді паливної тріски.

1. Стан та перспективи вирощування деревних біоенергетичних культур в Україні

Екологічні проблеми планети спонукають людство знаходити все нові джерела енергії серед яких важливу роль займають високопродуктивні біоенергетичні культури, які використовуються для виробництва біопалива та зменшують негативний вплив на довкілля. Серед них є найбільш перспективними та економічно вигідними є культури що відносяться до виду C_4 за фотосинтезом [4–6]. В останній час надзвичайно актуальними постає питання дефіциту енергетичних ресурсів, збільшення власного виробництва альтернативних видів палива. Розв'язання даних проблем може забезпечити нова галузь економіки біоенергетика, яка має потенціал для зменшення використання викопних видів палива, знизить викиди вуглекислого газу в атмосферу. Сьогодні вчені намагаються вловлювати атмосферний CO_2 та використовувати його для виробництва енергії разом з іншими життєво важливими комерційними застосуваннями, перетворюючи атмосферний CO_2 на кілька біологічно біоактивних вуглецевих сполук, таких виробництво білків, вуглеводів. Таким чином, регенерація біоенергії разом із захопленням атмосферного CO_2 , є ефективним рішенням проблеми глобального потепління [7, 8]. Це узгоджується також з цілями, викладеними в Паризькій угоді, і відображено в Сценарії сталого розвитку (IEA-SDS). Щоб стримати глобальне потепління, ми повинні обмежити щорічні викиди в атмосферу діоксиду CO_2 до 2,3 тонн на людину. Сьогодні середньо-статистичний мешканець європейських країн продукує близько 7,2 тонн CO_2 . Тобто кожна держава має зменшити свій вуглецевий слід, мінімум, втричі Тому останніми роками ринок торгівлі вуглецевими квотами швидко зростає і стає комерційно привабливим, вуглецевий еквівалент CO_2 у 2018 році у світі оцінювали у 5,17 доларів США за тону, а до кінця 2026 р., він збільшиться до 50 доларів США [8, 10].

Поряд з тим в Україні постає актуальним питання ефективного використання сільськогосподарських угідь, які вилучені з інтенсивного обробітку. У вирішенні цього питання важлива роль може належати збільшенню площ багаторічних насаджень багатофункціонального призначення з періодом продуктивного довголіття 10–15 років, які за мінімального обробітку ґрунту забезпечують 25–30 т/га абсолютно сухої фітомаси різного напрямку використання. Важливе значення має використання біомаси багаторічних високопродуктивних культур на енергетичні та технічні цілі, що дозволяє значно заощадити матеріально-технічні ресурси на виробництво сировини. Серед широкого спектру фотосинтезуючих організмів перспективною багатоцільовою культурою є Павловнія, що набуває популярності в усьому світі завдяки високій продуктивності біомаси

може використовуватись для поглинання CO₂, якісна деревина для промисловості та сировина для виробництва твердих видів біопалива [8–12].

Найшвидше поглинання CO₂ відбувається у молодих дерев в яких інтенсивно відбувається приріст листового апарату. Рослини павлонії можуть поглинати в 10 разів більше CO₂, необхідного для її метаболізму, ніж будь-які інші види дерев, виділяючи велику кількість O₂ [13, 14]. Окрім того, рослини павлонії можна висаджувати на деградованих або маргінальних землях, сприяючи відновленню екосистеми та забезпечуючи низку додаткових переваг, таких як покращення стану ґрунту та збільшенню біорізноманіття. Високий коефіцієнт енергоефективності біомаси павлонії свідчить про можливість використання культури для масштабного створення енергетичних плантацій, в умовах центральної частини Лісо-степу України.

Україна відзначається значним потенціалом біоенергетичних ресурсів, але за темпами розвитку біоенергетики все ще відчутно відстає від європейських країн, окремі з яких вже досягли заміщення понад 50 % викопних видів палива на біологічні. На даний час в Україні виробляється лише 4 % енергії з біопалива від загального обсягу спожитої. Заміна викопних видів палива органічною сировиною на основі біоенергетичних культур в останні роки стала актуальною для багатьох країн, у тому числі й для України. Тому для сучасної аграрної науки є надто важливим пошук і дослідження нових високопродуктивних культур, сировина яких може бути використана для виробництва біопалива, а також поєднання потенціалу ґрунтово-кліматичних умов вирощування біоенергетичних культур з їх біологічними особливостями й здатністю до трансформації енергії сонця в доступні для господарської діяльності форми. Саме в поєднанні системних заходів землеробства з новітніми технологіями може бути реалізований найефективніший підхід щодо інтенсифікації біоенергетики, що виникає на межі синтезу біологічних можливостей агроценозу рослин і технологічного потенціалу його використання.

Павлонія (*Paulownia* spp.), або адамове дерево – деревна рослина, яка характеризується надзвичайно високою продуктивністю, а тому відноситься в багатьох країнах світу до перспективних біоенергетичних культур Її деревина використовується для виготовлення паливної тріски та інших видів твердих видів біопалива [13–15]. Окрім того, насадження павлонії відзначаються високими меліоративними якостями, маючи здатність закріплювати ерозійно небезпечні ґрунти, а також відновлювати ділянки, що постраждали від пожеж, зсувів. Листя павлонії багате на протеїн їх використовують як корм у тваринництві. За фізико-механічними властивостями, зокрема величиною щільності, деревина павлонії подібна до деревини ялини європейської та ялиці білої, але завдяки вмісту дубильних речовин є стійкішою до гниття [15]. Павлонію вважають також потужним джерелом важливих регуляторних екологічних послуг, оскільки

вона не лише сприяє очищенню повітря, але й характеризується високими вуглецепоглиняльною здатністю і киснепродуктивністю. З огляду на це актуальним науковим завданням є визначення потенціалу низки екологічних послуг насаджень павловнії в Україні та моделювання його вікової динаміки.

Рід Павловнія налічує до 20 видів, серед яких 6 видів мають промислове значення – *Paulownia elongata*, *P. fargesii*, *P. fortunei*, *P. giabrata*, *P. taiwaniana*, *P. tormentosa* (Thunb.) Steud. Найпоширенішими видами, які культивують в Україні є: *P. tomentosa*, *P. fortunei*, *P. elongata* й гібриди *P. tomentosa* × *P. fortunei* та *P. elongata* × *P. fortunei* [8–12].

Найбільш перспективним для отримання біомаси вважається гібрид Clone in Vitro 112, виведений в Іспанії. В останні роки увага українських та зарубіжних дослідників була направлена на удосконалення технології вирощування плантацій павловнії [8], методів отримання якісного садивного матеріалу, вивчення фізико-механічних властивостей деревини.

Павловнія характеризується досить значною вуглецепоглиняльною здатністю [12]. В науковій літературі зустрічаються різні дані щодо кількісної оцінки вуглецепоглиняльної здатності павловнії. Така різниця, очевидно, пояснюється різними типами плантацій, видами павловнії, яка представлена на них, кліматичними умовами країн вирощування, технологіями культивування. В одній з публікацій стверджується, що щорічні обсяги поглинання вуглекислого газу можуть становити навіть 140 т/га. Ці дані очевидно стосуються плантацій павловнії віком понад 5 років. В іншому дослідженні встановлено, що два клони (Coteviza 2 та Suntzu 11) гібрида *Paulownia elongata* × *fortunei* в Іспанії в провінції Севілья у дворічному віці формують біомасу 7,2 та 14 т сухої речовини і депонують вуглець в обсязі 3,2 і 7,4 т на 1 га.

У моделі визначення вуглецепоглиняльної та киснетвірної здатності павловнії однією з ключових екзогенних змінних є обсяг продукованої фітомаси на її плантаціях різного типу, яка також значно варіює в різних умовах вирощування. Так, в Італії в північно-західній частині о. Сіцилія плантації павловнії Clone in Vitro 112 (*Paulownia elongata* × *P. fortunei*) з цільовим призначенням – деревина і паливна тріска створюють з густотою садіння 500–700 шт./га. Їх життєвий цикл становить 20 років, а періодичність заготівлі деревини – 4–5 років. Під час кожного рубання можна отримати 65–90 т/га продукції, з яких 50 % це деревина, а ще 50 % – інша біомаса.

Плантації, призначені виключно для заготівлі біомаси, створюють значно густішими з кількістю садивних місць 1500–3000 шт./га на менш коротший період – 14 років. На таких плантаціях кожних 2–3 роки отримують 40–70 т/га біомаси [8].

Результати досліджень у віддаленій сільській місцевості в Непалі показали, що середня загальна біомаса вуглецю п'ятирічного дерева павлов-

нії становила $4,52 \pm 0,53$ кг С·рік на дерево, тобто $9,04 \pm 1,06$ тонн С га · рік за густоти посадки 1000 рослин на гектар. Подібним чином було встановлено, що середня загальна біомаса вуглецю нещодавно висадженого *P. tomentosa* протягом 4 місяців становила $6,07 \pm 0,38$ кг. Розрахункова біомаса вуглецю новопосаджених рослин становила $18,21 \pm 1,14$ кг/рік, тобто 0,36 тонни С га/рік [15].

2. Економічна ефективність вирощування біомаси павловнії для виробництва біопалива

Важливою умовою підвищення економічної ефективності вирощування біомаси павловнії є зниження рівня собівартості. Щоб покращити ефективність технології вирощування біомаси, доцільно підходити до кожної плантації окремо, визначити кислотність ґрунту, наявність запасу NPK, гумусу та інші показники.

На основі проведених досліджень удосконалено нові ефективні елементи технологій вирощування павловнії на площі 1 га. Показники економічної ефективності виробництва біомаси оцінювали за фактичними витратами і відповідними нормативами. Для цього використовували технологічну карту, складену для умов інтенсивної технології виробництва. В технології передбачалась традиційна система основного обробітку ґрунту, оранка з обертанням пласта.

Технологічні засоби, обладнання, знаряддя застосовували в основному вітчизняного виробництва, які повністю забезпечують дотримання агротехнічних вимог. Обсяги внесення добрив та засобів захисту відповідали потребам рослин для отримання оптимального рівня врожаю (табл. 2.1).

Приведені розрахунки відображають основні витрати на вирощування деревини павловнії у 2025 р. Надалі статті витрат будуть змінюватися в залежності залежно від зміни на сировину, матеріально-технічні засоби для вирощування павловнії та ряду інших важливих факторів. На даний час середня ринкова ціна однієї рослини (саджанця) павловнії становить 2,0 долари США, а середня світова ціна на деревину – 200 доларів за 1 м³.

Показники економічної ефективності виробництва деревини павловнії оцінювали за фактичними витратами, здійсненими в процесі вирощування, а за їх відсутності – за відповідними нормативами. Для цього використовували показники технологічної карти, складеної для умов екологічної та енергоощадної технології виробництва біомаси (Додаток А).

Таблиця 2.1

Розрахунок економічної ефективності вирощування біомаси павловнії в зоні Лісостепу України на площі 1 га за густоти садіння 625 шт./га

№ з/п	Статті витрат	Витрат на 1 га, грн
1	Оплата праці з нарахуванням	59 511
2	Паливо-мастильні матеріали	31 822
3	Амортизаційні відрахування	12 039
4	Поточний ремонт	7 223
5	Посадковий матеріал	58 310
6	Мінеральні добрива	12 093
7	Засоби захисту рослин	3 478
8	Інші витрати	6 456
9	Плата за оренду земельної ділянки	31 214
10	Витрати на транспортування	15 534
11	Повна собівартість товарної продукції	237 683
12	Ринкова ціна 1 м ³	8000
13	Виручка від реалізації	2 400 000
14	Прибуток	2 162 316
15	Рівень рентабельності, %	909
16	Урожайність, м ³	300
17	Собівартість 1 м ³ деревини	792

Технологічні засоби, обладнання, знаряддя застосовували в основному вітчизняного виробництва, які повністю забезпечують дотримання агротехнічних вимог. Обсяги внесення добрив та засобів захисту відповідали потребі рослин для отримання приросту біомаси (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

Розрахунок статі витрат за вирощування біомаси павловнії на 1 га

№ з/п	Статті витрат	грн	%
1	Оплата праці з нарахуванням	59 511	25,1
2	Паливо-мастильні матеріали	31 822	13,4
3	Амортизаційні відрахування	12 039	5,1
4	Поточний ремонт	7 223	3,0
5	Посадковий матеріал	58 310	24,5
6	Мінеральні добрива	12 093	5,1
7	Засоби захисту рослин	3 478	1,5
8	Інші витрати	6 456	2,7
9	Плата за оренду земельної ділянки	31 214	13,1
10	Витрати на транспортування	15 534	6,5
11	Всього виробничих витрат	237 684	100

Аналіз структури витрат коштів на 1 га свідчить, про те, що найбільшою складовою частиною їх є посадковий матеріал 24,5 % та оплата праці 25,2 % які в усіх випадках дорівнюють майже 50 % від загальних витрат.

В розрахунку економічної ефективності вирощування біомаси павловнії враховувались усі енергозатрати, необхідні на здійснення технологічних процесів і акумульовані в матеріально-технічних засобах (машинах, пальному, добривах, гербіцидах та ін.). При цьому врахували вміст валової і обмінної енергії (BE і OE) в одиниці врожаю сухої сировини. Співвідношення між акумульованою енергією в урожаї і енергією, затраченою на вирощування біомаси, дало змогу дати об'єктивну оцінку ефективності окремим елементам і технології в цілому. Затрати сукупної енергії на вирощування культури, вміст енергії в урожаї виражали в МДж та ГДж. Технології вирощування були енергозберігаючими, тобто забезпечувався мінімальний рівень затрат сукупної енергії на одиницю продукції. В ефективному виробництві на одиницю затраченої сукупної енергії в процесі вирощування високопродуктивних енергетичних культур припадає зазвичай від 3 до 6 одиниць акумульованої енергії. Співвідношення валової енергії (BE) і сукупної енергії (SE), затраченої вирощування, називається енергетичним коефіцієнтом (ЕК) вирощуваної даної культури;

$$EK = SE \times BE$$

Кількість валової енергії визначають за сухою речовиною врожаю. Один кілограм сухої речовини в середньому забезпечує 16 730 кДж. Добуток енергії, яка міститься в кілограмі сухої речовини на кількість кілограмів врожаю основної і побічної продукції дає змогу визначити обсяг валової енергії, акумульованої енергетичною плантацією в кДж. Затрати сукупної енергії на вирощування павловнії визначають по кожному агротехнічному заходу (лущенні стерні, оранці, енергоємності добрив та витратах на їх внесення, весняному обробітку, садінні, догляду за плантацією, збиранні врожаю), а також енергію акумульовану в паливно-мастильних матеріалах, насінні, пестицидах, машинах, знаряддях і механізмах, транспортних засобах тощо. Сума енергетичних затрат становить сукупну енергію на вирощування біомаси павловнії. Значна частина енергетичних затрат припадає на посадковий матеріал, пальне, добрива та гербіциди. Тому слід впроваджувати такі технології вирощування біомаси, які б сприяли зменшенню сукупних енергетичних витрат. В системі технологій все більше значення починає відігравати диференційоване використання природних ресурсів, техногенних факторів і адаптивного потенціалу культивованих видів і сортів рослин, розробка сортової агротехніки, застосування певних методів боротьби з бур'янами, шкідниками й хворобами.

Одним із шляхів зменшення енергозатрат при вирощуванні павловнії є мінімалізація обробітку ґрунту та вдосконалення технологічних операцій догляду. Рослини павловнії саме цінні високим рівнем урожайності і невибагливістю до родючості ґрунтів та високим рівнем механізації

виробничих процесів. У перерахунку на еквівалент енергії витрати на вирощування павловнії значно менші, ніж вартість енергоносіїв, отриманих від традиційних джерел. В промисловому варіанті вирощування біомаси павловнії обов'язково потрібно визначитися з термінами та способами збору врожаю, зберіганням та переробкою. Дослідженнями встановлено, що економічно доцільна відстань транспортування біомаси до місця переробки не повинна перевищувати 30 км.

Підготовка ґрунту для їх вирощування павловнії не вимагає великих енергетичних витрат, урожай біомаси може збиратися восени або взимку використанням звичайної лісозаготівельної техніки.

Після зрізу ділової деревини, гілля подрібнюють щепорізкою «Гайзо-гак» в паливну тріску. Енергетична ємність 2 кг біомаси павловнії прирівнюється за енергією до 1 л дизельного палива (табл. 2.3).

Таблиця 2.3

Енергетична продуктивність біомаси (гілля) павловнії шостого року вегетації в зоні Лісостепу України, 2025 р.

Урожай біомаси (гілля) павловнії, т/га	Суха речовина, %	Урожай сухої біомаси, т/га	Вихід твердого палива, т/га	Теплота згоряння, Ккал/кг	Вихід енергії, ГДж/га	Теплова енергії, Гкал/га
51,2	47,0	25,51	30,8	3860–4211	539,0	130,0

Коефіцієнт енергетичної ефективності біопалива α визначали як відношення енергії, отриманої в біопаливі до затраченої енергії. Енергетичну ефективність вирощування біомаси, як відношення енергетичної вартості врожаю до енергетичних витрат на вирощування визначали за формулою [14]:

$$\alpha = E_0 / E,$$

де α – коефіцієнт енергетичної ефективності вирощування біомаси; E_0 – енергетична оцінка отриманого врожаю, ГДж/га; E – енергетичні витрати на вирощування біомаси, ГДж/га.

Для визначення енергетичної ефективності вирощування біомаси павловнії оцінено кількість щорічно отримуваної енергії з одного гектара.

Отримані результати свідчать про те, що найвищий економічний і енергетичний ефект, можна отримати, за умови дотримання енергозберігаючих елементів технології при вирощуванні біомаси на біопаливо. Реалізацію біомаси як сировини для виробництва біопалива можна здійснювати на внутрішньому та зовнішньому ринках

При перероблянні гілля в паливну тріску і спалювання в твердопаливних котлах можна додатково отримати з 1 га 130 Гкал теплової енергії (1 Гкал – 2000 грн). Прибуток від реалізації теплової енергії з паливної тріски павловнії з одного гектара складає 260 тис. грн. Розрахунки показників економічної ефективності закладання та вирощування павловнії доводять перспективність цього напрямку в рослинництві.

3. Визначення енергетичної ефективності вирощування біомаси павловнії в зоні центральної частини Лісостепу України

Встановлено, що основний період накопичення деревинної біомаси відбувається у перші три роки вегетації і має один з найвищих показників продуктивності біомаси серед деревних багаторічних культур, що використовуються на цілях біоенергетики. За 6 років вегетації в умовах центральної частини Лісостепу України приріст біомаси з одного дерева павловнії Clone in vitro-112 в середньому становить 0,4–0,5 м³ та павловнії Томентоза (повстистої) – 0,2–0,3 м³ (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Динаміка росту та розвитку рослин павловнії Clone in vitro-112 та Томентози (повстистої) після технічного зрізу (Дослідна ділянка ІБКіЦБ, 2020–2025 рр.)

Вид павловнії	Вік вегетації рослини	Стовбур, см		Урожай-ть біомаси рослини, кг	Об'єм деревини рослини, м ³	Об'єм ділової деревини, га/м ³
		висота	діаметр			
Clone in vitro-112	Перший	315	6,5	5,9	0,03	18,7
	Другий	620	11,0	18,4	0,05	31,2
	Третій	790	16,0	47,6	0,11	68,7
	Четвертий	1020	20,5	137,5	0,25	156,2
	П'ятий	1150	25,0	226,1	0,37	231,2
	Шостий	1420	32,0	275,5	0,53	341,7
Томентоза (повстиста)	Перший	270,0	4,5	4,6	0,01	6,2
	Другий	410,0	7,0	14,5	0,03	18,7
	Третій	520,0	11,5	62,0	0,12	75,0
	Четвертий	760,0	15,5	102,8	0,19	118,7
	П'ятий	880,0	18,7	176,0	0,24	150,0
	Шостий	950,0	24,5	205,0	0,32	200,0

Кількість CO₂, що вловлюється на гектарі, використовуючи формулу, засновану на фотосинтезі рослин і хімічному складі деревини, можна оцінити шляхом розрахунку середньорічного приросту дерев, і це значення було оцінено в 981 кг/м³ [15, 16].

Урожайність біомаси павловнії залежить від біометричних показників, а саме висоти та діаметра стовбура рослини що мають лінійний характер. Встановлено, що істотний вплив на урожайність біомаси павловнії має також оптимальна кількість рослин на площі вирощування. Дослідженнями встановлено, що приріст наростання біомаси павловнії за 6 років вегетації рослин та об'єм ділової деревини складає 50 % від загальної кількості біомаси. Другою вегетативною частиною павловнії є гілля та листя, що становить 42–44 % від загальної кількості біомаси і є ефектив-

ною сировиною для виготовлення паливної тріски та виробництва твердих видів біопалива (рис. 3.1 і 3.2).

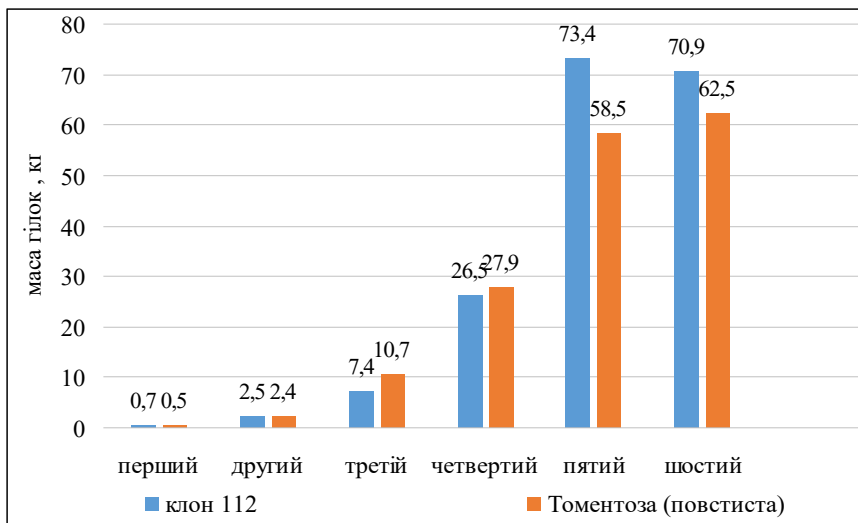


Рис. 3.1. Динаміка приросту маси гілок рослин павлонії Clone in vitro-112 та Томентози (повстистої) за шість років вегетації (Дослідна ділянка ІБКіЦБ)

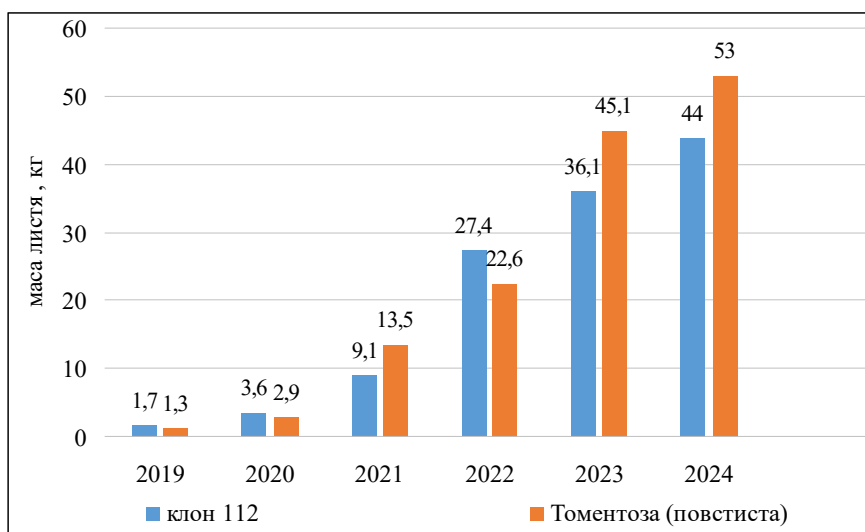


Рис. 3.2. Динаміка приросту маси листя рослин павлонії Clone in vitro-112 та Томентози (повстистої) за шість років вегетації (Дослідна ділянка ІБКіЦБ)

Впродовж вегетаційного періоду найбільший приріст біомаси припадає на червень – липень коли відбувається пік сонячної активності. Кількість поглиненої фотосинтетичної активної радіації листками павловнії великою мірою визначається розміром асиміляційного апарату рослин. Листя рослини павловнії сорту Clone in vitro-112 та Томентози (поввстистої) розміщені на стовбурі рослин супротивно, середній розмір листків Clone in vitro-112 першого року вегетації після технічного зрізу по довжині складає 50–60 см, ширині 55–65 см, і розміщені біля основи кореневої системи стовбура. Середній розмір листків павловнії сорту поввстистої по довжині складає 35–45 см, і відповідно по ширині 45–55 см.

За збільшення густоти посадки понад 1000 рослин на одному гектарі двох досліджуваних сортів площа листків рослини зменшується порівняно і зменшується їх кількість, а це в свою чергу призводить до зниження урожайності біомаси в цілому. Максимальна кількість листків на одній рослині павловнії сорту Clone in vitro-112 в кінці вегетації становила на 24–26 шт., а в сорту поввстиста 22–24 шт. Загальна площа листків однієї рослини павловнії становила 5,0–5,5 м², і відповідно площа листків сорту поввстиста становила 4,0–4,5 м².

Встановлено, що насипна енергетична щільність деревини павловнії становить 310 кг/м³, середній коефіцієнт перерахунку щільності паливної тріски з павловнії становить – 0,35. Використання гілля деревини павловнії Clone in vitro-112 на енергетичні цілі може забезпечити на шостому році вегетації отримання теплової енергії – 142,0 Гкал/га, та Томентоза (поввстиста) – 110,0 Гкал/га (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Енергетичний розрахунок потенціалу гілля павловнії в умовах центральної частини Лісостепу України як сировини для виробництва біопалива на шостий рік вегетації (Дослідна ділянка ІБКІЦБ)

Вид павловнії	Продуктивність сухої біомаси, гілля, т/га	Теплота згоряння		Насипна щільність деревини, кг/м ³	Витрати біомаси для виробництва 1 Гкал, кг	Виробництво тепла, Гкал/га
		МДж/кг	Ккал/кг			
Клон 112	45,5	15,0	3860	310	320	142,0
Томентоза (поввстиста)	31,5					110,0

4. Методика розрахунку для техніко-економічного обґрунтування кількості біомаси павловнії для отримання теплової енергії

Для розрахунку вартості паливної складової при переході на інший вид палива, яке можна застосувати в твердопаливних котлах що працюють на паливній трісці, гранулах використовуємо стандартні розрахунки теплоенергетики [17–21].

У міжнародній системі СІ енергія (включаючи теплоту) вимірюється в джоулях (Дж), для економічних розрахунків в Україні в більшості використовують Гігокалорії. Оскільки в системах опалення зазвичай теплоносієм зазвичай є вода, то одна калорія позначає кількість тепла, яке може нагріти 1 грам води на 1 °С (співвідношення відноситься до нормального атмосферного тиску). Для розрахунків кількості теплової енергії використовуємо одиниці виміру в ккал (кілокалорія) = 1000 кал = 4186,8 Дж = 4,187 кДж; 1 Мкал (мегакалорія) = 106 кал = 4,1868 МДж; 1 Гкал (гігакалорія) = 109 кал = 4186,8 МДж. Такі одиниці виміру передбачені Правилами надання комунальних послуг для застосування у розрахунках ТЕО.

Згідно нормативних значень в Україні для опалення Норматив споживання теплової енергії на опалення 1 м² складає 0,0145 Гкал/м². Для переводу в кВт використовуємо коефіцієнт перекладу помножений на 0,8598 і поділений на 1000 отримаємо величину Гкал. Вартість 1 Гкал теплової енергії для житлово-комунального господарства у 2024 р. становила 1654,41 грн. Нормативи споживання визначаються спеціально уповноваженим органом центральної виконавчої влади, або органом місцевого самоврядування. Нормативна температура згідно з «Правилами надання населенню послуг з водо-, теплопостачання та водовідведення», затверджені постановою Кабінету міністрів України № 1497 від 30.12.1997, Показник має різні значення в різних кліматичних зонах; середня норма по регіонах становить 0,0342 Гкал/м² (на місяць).

Визначення кількості палива, що споживається твердопаливними котлами. Годинну витрату палива в котлі визначаємо використовуючи стандартну формулу для розрахунку в Гкал/год:

$$B = \frac{10^6 \cdot W_1}{Q_{H1}^P \cdot \eta}$$

для розрахунку годинної витрати палива в МВт:

$$B = \frac{3,6 \cdot W_2}{Q_{H2}^P \cdot \eta}$$

де: В – витрата палива, кг/год (м³/год); W₁ – теплова потужність котла, Гкал/год; W₂ – теплова потужність котла, кВт; Q_{H1}^P – нижча теплотворна здатність палива, ккал/кг (ккал/м³), Q_{H2}^P – нижча теплотворна здатність палива, МДж/кг (МДж/м³); η – коефіцієнт корисної дії котла, %.

Приймається згідно з паспортними даними котла на відповідному виді палива, коефіцієнт може відповідати 0,85–0,9.

Потребу в паливі для виробництва необхідної кількості теплової енергії визначаємо, використовуючи формулу:

для розрахунку в Гкал/год:

$$\Sigma B = \frac{10^3 \cdot \Sigma Q_1}{Q_{H1}^P \cdot \eta}$$

для розрахунку в МВт:

$$\Sigma B = \frac{3,6 \cdot \Sigma Q_2}{Q_{\text{н1}}^{\text{п}} \cdot \eta}$$

де: ΣB – витрата палива, т (тис. м³); ΣQ_1 – кількість теплової енергії, Гкал; ΣQ_2 – кількість теплової енергії, МВт-год.

Розрахунок: витрат палива для котельні приводимо в однакову систему вимірювання:

$$3,1 / 0,86 = 3,6 \text{ МВт, або } 3600 \text{ кВт}$$

Для визначення витрати палива в котлах при спалюванні паливної тріски павловнії потужністю 500 кВт, за калорійності палива – 2700 ккал/кг = 11 МДж/кг, та використовуючи коефіцієнт корисної дії (ККД) котла – 80 %.

Витрата палива в твердопаливному котлі потужністю 500 кВт за годину роботи буде становити:

$$B = \frac{10^6 \cdot 0,43}{2700 \cdot 0,8} = 199 \text{ кг/год}$$

Для роботи котла потужність 1 МВт необхідно біля 400 кг паливної тріски з біомаси павловнії. Для роботи котельні потужністю 3,6 МВт необхідно 1,6 т паливної тріски за годину роботи.

Визначаємо витрати палива для виробництва 20 тис. Гкал теплової енергії у випадку використання паливної тріски 3200 ккал, та паливних гранул з нижчою теплою згорання калорійністю 17,2 МДж/кг при спалюванні в котлі з ККД 85 %.

Розрахунок: приводимо одиниці в одну систему вимірювання:

$$20\,000 \text{ Гкал} = 20\,000 \times 1,16 = 23\,200 \text{ МВт/год.}$$

Калорійність паливної тріски павловнії при вологості 25 % складає – 3220 ккал/кг $\times 4,186 / 1000 = 13,5$ МДж/кг (табл. 4.1) та паливних гранул = 17,2 МДж/кг

Підставивши дані в формулу витрата паливної тріски буде становити

$$\Sigma B = \frac{3,6 \cdot \Sigma Q_2}{Q_{\text{н1}}^{\text{п}} \cdot \eta} = \frac{3,6 \cdot 23\,200}{13,5 \cdot 0,85} = 7280 \text{ кг}$$

витрата палива (гранули)

$$\Sigma B = \frac{3,6 \cdot \Sigma Q_2}{Q_{\text{н1}}^{\text{п}} \cdot \eta} = \frac{3,6 \cdot 23\,200}{17,2 \cdot 0,85} = 5712 \text{ кг}$$

Основним чинником, що впливає на нижчу теплотворну здатність деревини, в тому числі паливної тріски з павловнії є її вологість, що може варіюватись в досить широких межах (відносна вологість від 15 до 60 %). Зольність також впливає на теплотворну здатність, але ступінь цього впливу, навіть з урахуванням можливих коливань, не такий великий.

**Характеристики біопалив рослинного походження
для отримання теплової енергії**

Паливо	Характеристики	Нижча теплотворна здатність, МДж/кг	Насипна вага, кг/м ³	Об'ємна енергемісткість, Гкал/м ³	Зольність, %	Темп-ра плавлення золи, °С
Паливна тріска павловнії	вологість 20 %	14,5	205–250	0,71–0,86	0,3–1	-//-
	вологість 40 %	10,2	240–300	0,58–0,73	-//-	-//-
	вологість 50 %	8,1	260–350	0,5–0,68	-//-	-//-
Гранули, брикети	з дерева	17–17,5	550–680	2,2–2,6	0,2–0,5	-//-
	з біомаси	15,5–16	550–600	1,85–2,2	4–6,5	750–1050
Дрова	у сухому стані	13,5	400–500	1,3–1,6	0,2–0,5	1280–1430

Орієнтовано нижчу теплотворну здатність паливної тріски з павловнії можна визначити за формулою:

$$Q_H^P = Q_H^C \left(1 - \frac{W^P}{100}\right) - 2,442 \frac{W^P}{100}$$

де: Q_H^P – нижча теплотворна здатність, кДж/кг; Q_H^C – нижча теплотворна здатність абсолютно сухої деревини, кДж/кг; W^P – робоча (відносна) вологість, %; A^P – робоча зольність, %.

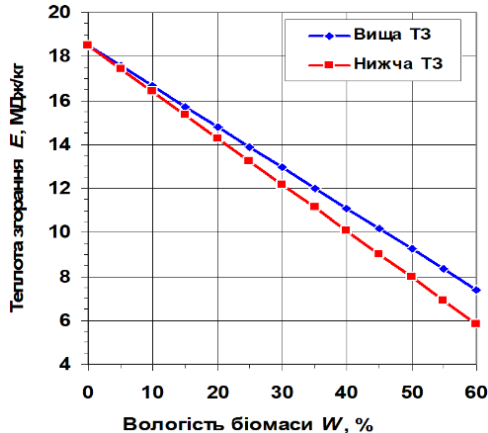


Рис. 4.1. Залежність вищої та нижчої теплоти згорання від вологості біомаси

На рисунку 4.1 показано графічну залежність нижчої теплотворної здатності деревної тріски від відносної вологості при робочій зольності 0,5 %. Якість тріски залежить від її розміру, вологості та вмісту забруднюючих речовин (грунту, каміння тощо).

Розміри тріски важливі з точки зору її транспортування механічними пристроями. Якщо партія тріски дуже неоднорідна, то є ймовірність їх блокування. При використанні паливної тріски в котельних агрегатах, твердопаливних котлах з механічною подачею палива, тріска великого розміру блокує шнековий конвеєр.

Якщо в паливній трісці міститься значна кількість дрібної фракції та тирси, то таке паливо менше пропускає повітря. Тому основною умовою якості паливної тріски є забезпечення якнайбільш однорідного фракційного складу, недопущення попадання в неї великих кусків та обмеження кількості маленьких часток. Прикладом таких вимог є стандарт CEN/TS 14961:2005.

Таблиця 4.2

Розрахунок заміщення 1000 м³ природного газу паливом органічного походження

Одиниці виміру	Дрова, у повітряно-сухому стані	Деревна тріска, вологість 40 %	Гранули з біоенергетичних культур
вага, кг,	2520	3340	1970
об'єм, м ³	5–6,3	11–14	3–3,6

Для визначення рівня споживання біомаси у вигляді паливної тріски для твердопаливної котельні, згідно енергетичних розрахунків приймаємо коефіцієнт: 1 до 3. Враховуючи, що 1000 м³ природного газу за енергетичною цінністю прирівнюється до 3 т паливної тріски.

Враховуючи проведені вище нормативні розрахунки витрат природного газу на котлах потужністю 3,6 МВт на опалювальний сезон на комплекс житлових приміщень становить 150 000 м³

Середньозважена вартість паливної тріски власного виробництва з урахуванням оподаткування, капітальних та операційних витрат для енергетичного господарства згідно розрахунків Технологічної карти (додаток А) з технології вирощування павловнії буде становити 500 грн/т.

Розрахунок вартості враховує різницю цін за 4 циклів (24 роки), що є гарантованим терміном життєздатності плантації.

Урожайність біомаси павловнії розраховується 12 т/га сухої біомаси в рік і така ж кількість ділової деревини (50 / 50%). Слід врахувати, що збір біомаси з плантації павловнії відбувається кожних 6 років, що дозволяє зібрати з 1 га шестирічної плантації щонайменше 50–60 тонн сухої біомаси у вигляді тріски, що може замінити 10–12 тис. м³ природного газу.

Визначення ціни 1 Гкал за використання природного газу та паливної тріски з павловнії

Базовий варіант (паливо-природний газ):

$$\text{Ціна} = 36\,000 \text{ грн/тис. м}^3; = 33,7 \text{ МДж/тис. м}^3; = 92 \text{ \%}.$$

Пропонований варіант паливної тріски за ринковою ціною:

$$\text{Ціна} = 2000 \text{ грн/т}; = 17,5 \text{ МДж/т}; = 85 \text{ \%}.$$

Розрахунок ціни 1 Гкал виробленої з природного газу проводимо за стандартною формулою в теплоенергетиці:

$$A_1 = 4,19 \frac{\text{Ц}_1 * 100}{Q_{\frac{p}{H}}^p(1) * \eta} = 4,19 \frac{36000 * 100}{33,7 * 92} = 4865,0 \text{ грн/Гкал}$$

Розрахунок ціни 1 Гкал виробленої з паливної тріски за ринкової ціни:

$$A_2 = 4,19 \frac{\text{Ц}_1 * 100}{Q_{\frac{p}{H}}^p(1) * \eta} = 4,19 \frac{2000 * 100}{13,5 * 85} = 730,0 \text{ грн/Гкал}$$

Розрахунок ціни 1 Гкал виробленої з паливної тріски павловнії власного виробництва за собівартістю 500 грн/тонна:

$$A_2 = 4,19 \frac{\text{Ц}_1 * 100}{Q_{\frac{p}{H}}^p(1) * \eta} = 4,19 \frac{500 * 100}{13,5 * 85} = 182,5,5 \text{ грн/Гкал}$$

Висновки

1. Плантації павловнії потрібно розглядати як важливе і ефективне джерело різноманітних регуляторних та ресурсних екосистемних послуг. Павловнія Clone in vitro-112 і Томентоза (повстиста) характеризуються швидкими темпами накопичення усіх компонентів підземної та надземної біомаси, серед яких у перші три роки переважає стовбурова фітомаса, а також відзначаються високими вуглецепоглиняльною та киснетвірною здатностями.

2. З метою отримання високої продуктивності біомаси павловнії після першого року вегетації необхідно робити технічний зріз на висоті 2–3 см від землі. У зоні центральної частини Лісостепу України найбільшу висоту стовбура можна отримати у другий рік вегетації у Clone in vitro 112, що становить 5–6 м при густоті посадки 625 рослин/га.

3. Максимальний місячний приріст висоти стовбура відбувається у липні та серпні 151 та 132 см. У вересні темпи приросту висоти стовбура зменшуються більш, ніж у три рази.

4. Однорічні рослини павловнії в зимовий період схильні до підмерзання верхньої частини стовбура та при шквальних поривах вітру пошкоджуються крони, гілки та верхівки молодих рослин, для запобігання даних процесів плантації павловнії доцільно обсаджувати спеціально створеними лісополосами з дерев тополі.

5. За 6 років вегетації в умовах центральної частини Лісостепу України приріст біомаси з одного дерева павловнії Clone in vitro-112 в середньому складає 0,4–0,5 м³ та павловнії Томентоза (повстистої) 0,2–0,3 м³. За густоти стояння рослин 625 шт./га, загальний об'єм ділової деревини складає від 200 до 300 м³.

6. При збиранні деревини павловнії на шостий рік вегетації отримуємо 50 % гілля від загальної маси дерева, яке можна переробляти в паливну тріску і спалювати в твердопаливних котлах, що додатково забезпечує 110–142 Гкал/га теплової енергії.

Список використаних джерел

1. Роїк М. В., Сінченко В. М., Бондар В. С. та ін. Концепція розвитку біоенергетики в Україні на період до 2035 року. *Біоенергетика*. 2019. № 2. С. 4–10. <https://doi.org/10.47414/be.2.2019.229304>
2. Sinchenko V. M., Bondar V. S., Gumentyk M. Ya., Pastukh Yu. A. Ecological bioenergy materials in Ukraine: current state and prospects of production development. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020. Vol. 10, No 1. P. 85–89.
3. Рахметова С. О., Левчук Л. В., Вергун О. М. та ін. Павловнія повстяна (*Paulownia tomentosa* (Thumb.) Steud.) – нова швидкоросла енергетична рослина. *Глобальні наслідки інтродукції рослин в умовах кліматичних змін* : матеріали Міжнародної наукової конференції (м. Київ, 5–7 жовтня 2021 р.). Київ, 2021. С. 98–101.
4. Вид Paulownia Clone in Vitro 112. URL: <http://pavlownia112.com>
5. Ліник А. Павловнія як енергетична культура. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія: С.-г. науки*. 2020. Т. 22, № 92. С. 19–22.
6. Гументик М. Я., Ягольник О. О. Павловнія – високопродуктивна культура для виробництва біопалива та деревини. *Біоенергетика*. 2020. № 2. С. 6–8. <https://doi.org/10.47414/be.2.2020.224982>
7. Мацкевич О. В., Філіпова Л. М., Мацкевич В. В., Андрієвський В. В. Павловнія : науково-практичний посібник. Біла Церква : БНАУ, 2019. 80 с.
8. Роїк М. В., Шафаренко Ю. А., Сінченко В. М. та ін. Рекомендації з технології вирощування та використання павловнії в умовах Лісостепу України : / за ред. М. Я. Гументика, О. О. Ягольника. Київ : Компринт, 2020. 68 с.
9. Бордусь О. Ю., Гументик М. Я. Удосконалення технології вирощування павловнії як сировини для виробництва біопалива. *Інноваційні екологічно чисті технології вирощування сільськогосподарських культур у воєнних умовах* : матеріали II Всеукр. наук.-практ. конф. (м. Біла Церква, 31 серпня 2023 р.). Біла Церква : БНАУ, 2023. С. 36–38.
10. Дуралов Д. М., Тазабеков А. Ч., Мірзаєв А. У. та ін. Переваги досвіду плантаційного вирощування павловнії болгарської компанії «Paulownia BG». *Наука та інновації* : матеріали Міжнар. конф. молодих вчених. Ташкент, 2019. С. 29–31.
11. García-Morote F. A., López-Serrano F. R., Martínez-García E. et al. Stem Biomass Production of *Paulownia elongata* × *P. fortunei* under Low Irrigation in a Semi-Arid Environment. *Forests*. 2014. Vol. 5, Iss. 10. P. 2505–2520. <https://doi.org/10.3390/f5102505>
12. Гументик М. Я., Бордусь О. Ю. Особливості росту, розвитку та формування хімічного складу біомаси павловнії. *Новітні агротехнології*. 2023. Т. 11, № 3. <https://doi.org/10.47414/na.11.3.2023.288672>

13. Гументик М., Бордусь О., Фучило Ю. та ін. Перспективи вирощування павловнії в Правобережному Лісостепу України. *Вісник Малинського професійного коледжу*. 2023. № 2. С. 19–28.
14. Гументик М. Я. Оцінка ефективності переробляння біомаси енергетичних культур на біопаливо. *Біоенергетика*. 2016. № 2. С. 10–12.
15. Humentyk M., Kharytonov M., Shuvar A. et al. The growth dynamics of paulownia trees cultivated as energy plantations in the forest-steppe zone of Ukraine. *Scientific Papers. Series B. Horticulture*. 2023. Vol. 67, No. 1. P. 397–403. https://horticulturejournal.usamv.ro/pdf/2023/issue_1/Art53.pdf
16. Брич В. Я., Гайда Ю. І., Фучило Я. Д. та ін. Потенціал екосистемних послуг плантацій павловнії в Україні: моделювання вікової динаміки. *Біоенергетика*. 2025. № 1. С. 5–10. <https://doi.org/10.47414/be.2025.No1.pp5-10>
17. Дубровін В. О., Корчемний М. О., Масло І. П. та ін. Біопалива (технологія, машини і обладнання). Київ : ЦТІ «Енергетика і електрифікація», 2004. 256 с.
18. Гументик М. Я. Вирощування та використання органічної сировини для виробництва енергії. *Наукові праці ІБКіЦБ*. 2012. Вип. 14. С. 446–448.
19. Бондар В. С., Фурса А. В. Економічне обґрунтування технологій вирощування і переробки рослинної сировини на тверді види біопалива. *Економіка АПК*. 2015. № 3. С. 22–27.
20. Медведовський О. К., Іваненко П. І. Енергетичний аналіз інтенсивних технологій в сільськогосподарському виробництві. Київ : Урожай, 1988. 208 с.
21. Keoleian G. A., Volk T. A. Renewable Energy from Willow Biomass Crops: Life Cycle Energy, Environmental and Economic Performance. *Critical Reviews in Plant Sciences*. 2005. Vol. 24. P. 385–406.
22. Аналітичний звіт та рекомендації щодо вирощування енергетичних культур в Україні. URL: http://bioenergy.in.ua/media/filer_public/58/b4/58b45b61-d09d-43bf-bcb7-47e0235d39e0/otchet_po_verbe.pdf

Додаток А

ТИПОВА ТЕХНОЛОГІЧНА КАРТА
ПРОМИСЛОВОГО ВИРОЩУВАННЯ ПАВЛОВНІ
ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ДЕРЕВИНИ І БІОПАЛИВА

Площа – 10 га

Урожайність стовбура 1-го року вегетації – 2 т/га, 6-го року – 155 т/га

№ з/п	Технологічні операції	Одиниці виміру	Обсяг робіт, т (га)	Склад агрегату		Норма виробітку, т(га)	Затрати праці, люд.-год.	Оплата праці з нарахуванням, грн	Витрати пального, грн
				трактори	с.-г. машини				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Перший рік									
<i>Розділ 1. Підготовка плантації для посадки саджанців павловнії</i>									
1	Обробіток ґрунту мульчуванням	га	10	Джон-Дір-8400	SC-SCORPION	30	2,31	664,85	6 750,00
2	Дискування (2 разовий обробіток) на гл. 6-8 та 10-12 см (травень-червень)	га	20	Джон-Дір-8400	БДВП-5,5; БДТ-7	30,5	4,62	1 329,68	3 690,00
3	Транспортування води	т	5	МТЗ-82	АПВ-8	11	3,15	637,52	231,75
4	Приготування робочої рідини та внесення гербіциду (разовий, 4 л/га – липень-серпень та 2,4Д, 2 л/га – вересень-жовтень)	га	20	МТЗ-82	ОПК-3000	70	2,03	1 211,56	675,00
5	Оранка на глибину 30-32 см (кінець липня – початок серпня)	га	10	Джон-Дір-8400	Leimker, ПОН-5-40	25	2,80	935,84	9 000,00
6	Суцільний обробіток ґрунту (вересень-жовтень)	га	20	Джон-Дір-8400	Ліра-24	120	1,19	342,50	3 600,00
ВСЬОГО по розділу 1							16,1	5 122,0	23 946,8
<i>Розділ 2. Підготовка ґрунту та садіння саджанців павловнії</i>									
7	Передпосадковий обробіток ґрунту на глибину 6-8 см (квітень-травень)	га	10	Джон-Дір-8400	КПН-8 "Поділля"	40	1,75	503,69	1 620,00
8	Розмітка перед свердлінням посадкових ям	га	10	вручну		1	140,00	8 526,96	
9	Свердління ямок	шт.	8330	МТЗ-82	Лісовий бур КСМ-4	416	280,28	33 860,27	37 485,00
10	Навантаження мінеральних добрив	т	4,17	Manitou MLT-X 735 T LSU		40	1,40	199,29	121,95
11	Перевезення мінеральних добрив до місця садіння	т	4,17	МТЗ-82	2ПТС-4-887А	10	2,94	531,29	152,10
12	Внесення мінеральних добрив в лунки 0,417 т/га	га	10	вручну		1	70,00	5 280,45	
13	Навантаження саджанців	т	1,2495	вручну		1000	0,00	0,00	
14	Перевезення саджанців до місця садіння	т	1,2495	МТЗ-82	2ПТС-4-887А	10	0,84	151,82	45,45
15	Транспортування та внесення води в ями перед садінням саджанців за добу – 9 т/га	т	90	МТЗ-82	АПВ-9	9	140,00	21 176,73	2 632,50
16	Садіння саджанців, 833 шт./га	га	10	вручну		0,15	466,69	35 204,81	
17	Транспортування січки соломи для мульчування – 2 т/га	т	20	МТЗ-82	2ПТС-4-887А	9	15,54	2 808,24	585,00
18	Мульчування навколо саджанців січкою соломи	га	10	вручну		3	23,31	1 563,02	
19	Крапельний полив саджанців, 9 т/га (травень-серпень – 4 рази в місяць (всього 14 разів))	т	1 260	Система крапельного зрошення		90	196,00	14 785,28	6 678,00
ВСЬОГО по розділу 2							1 338,7	124 591,87	49 320,00

№ з/п	Амортизація, грн	Поточний ремонт, грн	Витрати (грн) на			Інші витрати	Орендна плата за землю	Разом
			живці	мін. добрива	засоби захисту			
11	12	13	14	15	16	17	18	19
Перший рік								
<i>Розділ 1. Підготовка плантацій для посадки саджанців павлової</i>								
1	778,5	467,1				303,11		8 963,53
2	1 810,4	1 086,3				277,07		8 193,42
3	215,2	129,1				42,48		1 256,06
4	413,1	247,9			28 040	1 070,56		31 658,11
5	1 371,5	822,9				424,56		12 554,85
6	81,3	48,8				142,54		4 215,12
	4 670,0	2 802,0	0,0	0,0	28 040,0	2 260,3	0,0	66 841,1
<i>Розділ 2. Підготовка ґрунту та садіння саджанців павлової</i>								
7	733,8	440,3				115,42		3 413,14
8	0,0	0,0				298,44		8 825,40
9	8 632,3	5 179,4				2 980,49		88 137,40
10	43,1	25,9				13,66		403,88
11	181,1	108,7				34,06		1 007,21
12	0,0	0,0		120 930,0		4 417,37		130 627,82
13	0,0	0,0				0,00		0,00
14	51,7	31,0				9,80		289,85
15	4 782,1	2 869,2				1 101,12		32 561,65
16	0,0	0,0	583 100,0			21 640,67	8 670,7	648 616,18
17	957,2	574,3				172,37		5 097,17
18	0,0	0,0				54,71		1 617,73
19	34 034,0	20 420,4				2 657,12		78 574,80
	49 415,28	29 649,18	583 100,00	120 930,00	0,00	33 495,23	8 670,70	999 172,25

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Розділ 3. Догляд за павловнію впродовж першого року вегетації									
20	Транспортування води	т	2,5	МТЗ-82	АПВ-8	11	1,61	325,86	116,10
21	Приготування робочої рідини та внесення гербіциду (2,4Д, 2 л/га – вересень-жовтень)	га	10	МТЗ-82	ОПК-3000	70	0,98	584,87	337,50
22	Дискування в міжрядках	га	20	МТЗ-82	БДТ-3	8	17,50	8 994,08	675,00
ВСЬОГО по розділу 3							20,09	9 904,81	1 128,60
Розділ 4. Зріз стовбурів павловнії									
23	Технічний зріз стовбурів	га	10	вручну		1	70,00	14 081,22	3 105,00
24	Догляд та транспортування стовбурів до місця зберігання	т	20	МТЗ-82	ЗПТС-4-387А ороблювальний	9	46,62	7 497,29	1 125,00
25	Виробництво паливної тріски	м³	66,67	МТЗ-82	Гайлогак	60	15,54	2 744,89	4 500,00
ВСЬОГО по розділу 4							132,16	24 323,41	8 730,00
РАЗОМ за 1-ий рік вегетації							1 507,10	163 942,03	83 125,35
Догляд за павловнію впродовж другого року вегетації									
26	Дискування в міжрядках	га	20	МТЗ-82	БДТ-3	8	17,50	8 994,08	3 213,00
27	Транспортування води	т	9	МТЗ-82	АПВ-8	11	5,74	1 161,73	417,15
28	Коралевий полив саджанців, 9 т/га (травень-серпень – 10 разів)	т	900	Система краплинного зрошення		90	140,00	10 560,92	5 400,00
29	Побілка стовбурів	га	10	вручну		0,5	140,00	8 526,96	0,00
30	Пасинкування дерев	га	40	вручну		0,5	560,00	37 549,93	0,00
ВСЬОГО по догляду другого року							863,24	66 793,62	9 030,15
Догляд за павловнію впродовж третього року вегетації									
31	Дискування в міжрядках	га	20	МТЗ-82	БДТ-3	8	17,50	8 994,08	3 213,00
32	Транспортування води	т	9	МТЗ-82	АПВ-8	11	5,74	1 161,73	417,15
33	Коралевий полив саджанців, 9 т/га (травень-серпень – 10 разів)	т	900	Система краплинного зрошення		90	140,00	10 560,92	5 400,00
34	Формування крони	га	10	вручну		0,5	140,00	9 387,48	0,00
35	Побілка стовбурів	га	10	вручну		0,5	140,00	8 526,96	0,00
ВСЬОГО по догляду третього року							443,24	38 631,17	9 030,15
Догляд за павловнію впродовж четвертого року вегетації									
36	Формування крони	га	10	вручну		0,5	140,00	9 387,48	0,00
37	Побілка стовбурів	га	10	вручну		0,5	140,00	8 526,96	0,00
ВСЬОГО по догляду четвертого року							280,00	17 914,44	0,00
Догляд за павловнію впродовж п'ятого року вегетації									
38									
ВСЬОГО за п'ятий рік вегетації							0,00	0,00	0,00
Збирання деревини павловнії на 6 рік вегетації									
39	Зрізання дерев	га	10	вручну		0,3	233,31	46 932,72	3 105,00
40	Догляд та транспортування стовбурів до місця зберігання	т	1042,5	МТЗ-82	ЗПТС-4-387А ороблювальний	20	1 094,66	176 040,67	58 640,85
41	Виробництво паливної тріски з відходів павловнії	м³	2030	МТЗ-82	Гайлогак	60	473,62	78 521,69	137 025,00
42	Формування кагату для зберігання тріски	м³	2030	Manitou ML T-X 735 T LSU		835	34,02	6 336,00	18 270,00
ВСЬОГО по збиранню деревини на 6 рік							1 835,61	307 831,08	217 040,85
РАЗОМ за шість років вегетації							4 929,19	595 112,34	318 226,50

11	12	13	14	15	16	17	18	19
<i>Розділ 3. Догляд за навіловню впродовж першого року вегетації</i>								
20	110,0	66,0				21,63		639,57
21	199,4	119,7			6 740,00	279,35		8 260,82
22	1 504,1	902,5				422,65		12 498,30
	1 813,53	1 088,11	0,00	0,00	6 740,00	723,63	0,00	21 398,68
<i>Розділ 4. Зріз стовбурів навіловні</i>								
23	0,0	0,0				601,52		17 787,74
24	1 010,9	606,5				358,39		10 598,08
25	899,2	539,5				303,93		8 987,58
	1 910,10	1 146,06	0,00	0,00	0,00	1 263,84	0,0	37 373,41
	57 808,94	34 685,38	583 100,00	120 930,00	34 780,00	37 743,02	8 670,70	1 124 785,43
<i>Догляд за навіловню впродовж другого року вегетації</i>								
26	1 504,1	902,5				511,48	8 670,70	23 795,83
27	392,1	235,3				77,22		2 283,51
28	31 055,6	18 633,3				2 297,74		67 947,57
29	0,0	0,0				298,44		8 825,40
30	0,0	0,0				1 314,25		38 864,18
	32 951,8	19 771,1	0,00	0,00	0,0	4 499,13	8 670,70	141 716,48
<i>Догляд за навіловню впродовж третього року вегетації</i>								
31	1 504,1	902,5				511,48	8 670,70	23 795,83
32	392,1	235,3				77,22		2 283,51
33	0,0	0,0				558,63		16 519,55
34	15,0	9,0				329,40		9 740,92
35	0,0	0,0				298,44		8 825,40
	1 911,3	1 146,8	0,00	0,00	0,0	1 775,17	8 670,70	61 165,21
<i>Догляд за навіловню впродовж четвертого року вегетації</i>								
36	0,0	0,0				328,56	8 670,70	18 386,74
37	0,0	0,0				298,44		8 825,40
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	627,00	8 670,70	27 212,14
<i>Догляд за навіловню впродовж п'ятого року вегетації</i>								
38							8 670,70	8 670,70
	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	8 670,70	8 670,70
<i>Збирання деревини навіловні на 6 рік вегетації</i>								
39	0,0	0,0				1 751,32	8 670,7	60 459,74
40	16 349,2	9 809,5				9 129,41		269 969,57
41	10 609,9	6 365,9				8 138,29		240 660,75
42	762,1	457,3				903,89		26 729,26
	27 721,11	16 632,66	0,00	0,00	0,00	19 922,91	8 670,7	597 819,31
	120 393,12	72 235,88	583 100,00	120 930,00	34 780,00	64 567,23	52 024,20	1 961 369,27

Наукове видання

**Михайло Ярославович ГУМЕНТИК,
Віктор Миколайович СІНЧЕНКО,
Олександр Миколайович ГАНЖЕНКО,
Володимир Іванович КРАВЧУК,
Ярослав Дмитрович ФУЧИЛО,
Людмила Анатоліївна ПРАВДИВА,
Володимир Михайлович КВАК,
Олександр Борисович ХІВРИЧ,
Григорій Семенович ГОНЧАРУК,
Анатолій Васильович ФУРСА,
Юрій Анатолійович ШАФАРЕНКО,
Володимир Михайлович ГУМЕНТИК,
Надія Олександрівна КОНОНЮК,
Олег Михайлович АТАМАНЮК,**

**МЕТОДОЛОГІЯ РОЗРАХУНКУ
ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОГО ОБҐРУНТУВАННЯ
ВИРОЩУВАННЯ ТА ПЕРЕРОБЛАННЯ БІОМАСИ
ПАВЛОВНІЇ В УМОВАХ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

Науково-методичні рекомендації

Електронне видання

Погоджено до опублікування 16.12.2025.

Формат: PDF. Гарнітура Cambria.

Видавець

Інститут біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН

03110, м. Київ, вул. Клінічна, 25

Тел.: (044) 275-50-00; e-mail: sugarbeet@ukr.net

<https://bio.gov.ua>

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи

ДК № 5713 від 19.10.2017

