



УДК 633:504.054

## PAVLOVNIA AS A RENEWABLE SOURCE OF ENERGY

## ПАВЛОВНІЯ ЯК ВІДНОВЛЮВАЛЬНЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ

Iesipov O. V. / Єсіпов О. В.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-7395-2892

Polyashenko S. O. / Поляшенко С. О.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0003-0133-4902

Sorokin S. P. / Сорокін С. П.

c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.

ORCID: 0000-0002-1720-219X

State Biotechnological University, Kharkov, Prospekt Heroiv, 45, 61032

Державний біотехнологічний університет, Харків, проспект Героїв Харкова, 45, 61032

**Анотація.** В роботі розглядається питання щодо перспектив вирощування павловнії, як енергетичної сировини. Павловнія використовується крім як в індустрії, ще і в енергетиці у вигляді пелет, а також у вигляді сировини для виробництва альтернативного біопалива. Враховуючи досвід Європейського Союзу в вирощуванні енергетичних культур, а також властивостей павловнії, щодо швидкого нарощування біомаси та відновлення зростання у поєднанні з інноваційними технологіями вирощування деревини, може стати важливою частиною політики економії ресурсів і вирішення проблем, пов'язаних із споживанням енергії, без ризику для навколишнього середовища.

**Ключові слова:** енергетичні культури, павловнія, біопаливо, пелети, біогазові установки, біоетанол, біодизель, тепловіддача, джерело теплової енергії

**Вступ.**

Енергетичні культури є важливою складовою біоенергетичного сектора ЄС. Європейська біоенергетична асоціація (АЕВІОМ) оцінює сьогоднішній потенціал енергетичних культур в Євросоюзі на рівні 44-47 млн. т н.е./рік (тонна нафтового еквіваленту). Одна з цілей ЄС на 2025 рік – досягти 138 млн. т н.е. біомаси у валовому кінцевому енергоспоживанні, що відповідає 14% КСЕ (кінцеве споживання енергії). Наявний потенціал енергетичних культур дозволяє покрити близько третини цієї цілі [1].

За даними 2021 р., загальна площа під лігноцелюлозними енергокультурами в ЄС становить порядку 130-140 тис. га. Близько 37% цієї площі (50 тис. га) припадає на Румунію, де вирощується просо прутоподібне. Значні площі задіяні також у Фінляндії під двукісточник тростиноподібний (близько 19 тис. га), у Великобританії – під міскантус (10-11 тис. га), в Швеції і Польщі – під вербу (11 тис. га і 5-9 тис. га, відповідно).

Площі під енергокультурами, призначеними для виробництва рідких біопалив, в Європі на порядок більші – понад 2,5 млн. га в цілому по ЄС. В основному це зернові культури й ріпак. Майже 38% цієї площі припадає на Німеччину, де 746,5 тис. га зайняті ріпаком (на біодизель) й 200 тис. га – цукрово- та крохмалевмісними культурами (на біоетанол). На значних площах (1157 тис. га) в цій країні також вирощуються культури, які є сировиною для отримання біогазу.



На сьогодні в країнах Євросоюзу 13,2 млн. га земель є доступними для вирощування енергокультур; до 2025 р. цей показник може вирости до 20,5 млн. га, а до 2030 р. – до 26,2 млн. га. За оцінкою Європейської Комісії, для досягнення цілі 2025 року (10% ВДЕ в транспортному секторі ЄС) під енергетичні культури необхідно задіяти 17,5 млн. га або близько 10% всіх використовуваних сільськогосподарських земель країн ЄС.

### **Постановка проблеми.**

У ЄС використовуються різні заходи, стимулюють використання біомаси. Вибір заходів залежить від країни та від особливостей технічної інфраструктури, природних ресурсів, індустриальних традицій, а також від географічного положення, кліматичних умов та політичної волі. Головні важелі можна класифікувати наступним чином:

- регулювання, засноване на ринковому механізмі;
- звільнення з податків;
- субсидії та гранти;
- спеціальні схеми фінансування.

В той час, як ринкове регулювання використовується тільки для стимулювання вироблення електроенергії на базі відновлюваних джерел, податкова система дозволяє впливати також на використання біомаси. Зазвичай це означає або оподаткування тільки викопних палив, або звільнення від податків біопалив при диференційованому оподаткуванні всіх палив. Використовується також комбінація цих двох варіантів (наприклад, Австрії, Швеції, Німеччини, Фінляндії). В деяких випадках інвестиції у біопаливо звільняються від податків (прибутковий податок) або податок з обігу). Субсидії та гранти зазвичай використовуються для стимуляції переходу від викопних палив до біомасі. Як спеціальні засоби фінансування використовуються "м'які" позики (з низьким відсотком або безпроцентні).

### **Виклад основного матеріалу.**

Павловнія росте з разючою швидкістю, швидше за саджанця тополі, набираючи на рік до 3-5 м у висоту за оптимальних умов. І виготовляє до сотні тон біомаси на гектар після 3-х років.

Середньорічний приріст у павловнії в регіонах із середньою річною температурою від +3 °С до +8 °С становить від 2 до 2,5 м на рік, при температурі від +5 °С до +14 °С, у південних регіонах приріст становитиме від 3 до 5 м на рік. Діаметр стовбура у сприятливих умовах зростання за перший рік-два може досягти від 5 до 10 см. Стовбур після кожної вирубки самовідновлюється, причому швидкість зростання не сповільнюється. Павловнія може витримати до 5-9 таких зрубів. Таку властивість дерева вигідно використовують лісозаготівельні господарства та деревообробні підприємства, так як це суттєво знижує витрати на посадку дерева з нуля та догляд за ним. Приріст деревини становить 1 м<sup>3</sup> за 7-8 років [2].

Плантації павловнії є в США, Австралії, Японії, Китаї, Великобританії, Іспанії та Болгарії. Павловнія може зростати разом з іншими культурами, особливо протягом перших 2-3 років.

Батьківщиною більшості видів роду рослин сімейства павловнієвих



(Paulowniaceae) є Східна Азія - Японія, Корея, Китай, Лаос, В'єтнам. Всі види павловнії, вирощені в комерційних цілях, є клонами, які ідентичні рослинам зі специфічними характеристиками: наприклад, гібрид павловнії Fortunei має властивість швидко зростати і високу якість деревини, а Tomentosa - відомий своєю стійкістю до морозів, також вирощують Paulownia Elongata і похідні які також дають чудові результати.

Китай вже вирощує у павловнії більш ніж 32 млн. га, в основному у поєднанні з іншими культурами.

Деревина павловнії накопичує у великій кількості дубильні речовини, що робить її стійкою до впливу багатьох шкідників та хвороб.

Без сумніву, деревина павловнії є 100% екологічно чистою сировиною, м'яка, легка, стійка до вогню, вологи та деформації. Види павловнії дуже різні за своїми характеристиками і стійкості до кліматичних умов. На сьогоднішній день на ринку представлений широкий асортимент гібридів павловнії для вирощування якісної деревини. Єдиний суттєвий мінус цього дерева, на який повинні звернути увагу виробники, це порівняно його низька зимостійкість, адже при сильних морозах (нижче  $-25^{\circ}\text{C}$ ) її пагони можуть обмерзати. Тому у зв'язку із цим необхідно дуже ретельно підходити до вибору посадкового матеріалу.

Особливістю павловнії, як і будь-яких інших багаторічних культур є те, що дерево садиться один раз і може використовуватися кілька десятків років. Після кожного обрізання дерево відростає. Обрізання промислових насаджень проводять з інтервалом 4-8 років, а саме дерево може бути корисним до 50 років і більше, зменшує витрати на закладку нових насаджень. Стовбур можна обрізати будь-якої пори року. При належному догляді через 7 років можна отримати 240-350 м<sup>3</sup> якісної деревини з 1 га [3].

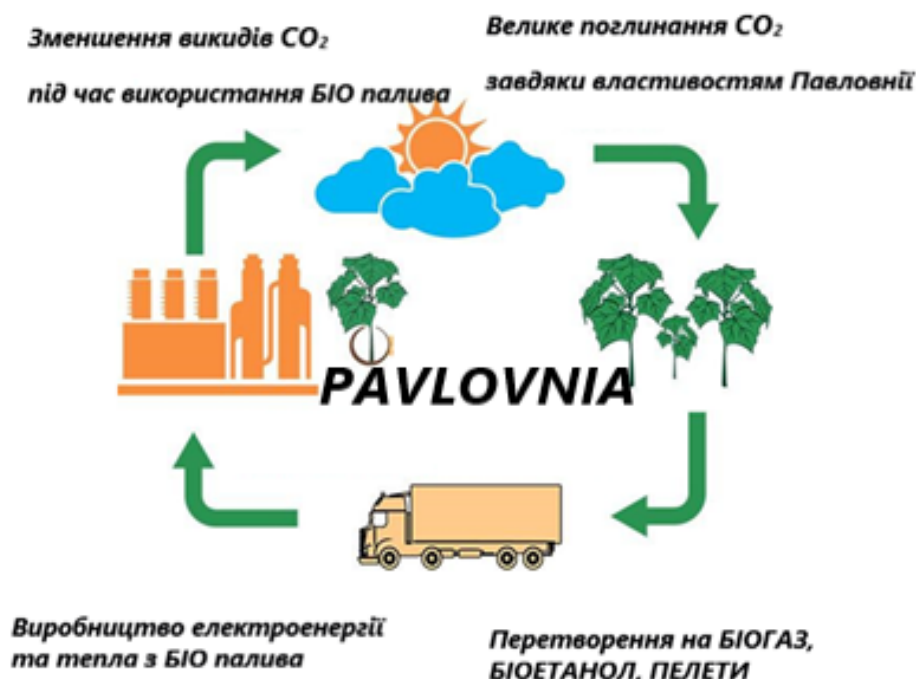
Павловнія - це один з небагатьох повністю відновлюваних природних ресурсів. Тому закономірно виникло питання використання її як альтернативного джерела енергії.

При споживанні біопалива, що постійно зростає, вже найближчим часом, країнам Центральної Європи не вистачатиме своїх лісових ресурсів, тому Німеччина, Голландія, Великобританія та Іспанія планують значно збільшувати імпорт пелетів.

Сьогодні, коли технічний прогрес вимірюється ступенем захисту природи, все більше уваги приділяють біопаливу з відновлюваних, високопродуктивних енергетичних культур.

Використання павловнії у вигляді енергетичної сировини можливе крім як в індустрії, так ще й в енергетичному секторі у вигляді пелет (тверде паливо для котлів і камінів з повністю автоматизованою подачею палива), а також у вигляді сировини для альтернативного біопалива. Для цих цілей використовуються всі частини дерева: стовбур, гілки та листя. Схема можливого використання павловнії в енергетичному секторі (рис.1).

У дослідженні Міжнародного енергетичного агентства (МЕА) йшлося про те, що через п'ять років біопаливо стане головним відновлювальним джерелом енергії.



**Рисунок 1 – Схема можливого використання павловнії в енергетичному секторі**

Використання павловнії у вигляді енергетичної сировини бачиться найбільш перспективним за рахунок здатності дерева до швидкого нарощування біомаси та відновлення зростання, високою тепловіддачею деревини. Порівняльний аналіз енергетичних культур (табл. 1).

**Таблиця 1 – Порівняльний аналіз енергетичних культур**

Біоенергетичні культури	Вологість біомаси, %	Продуктивність сухої біомаси, т/га	Теплота згоряння, МДж/кг	Насипна щільність, кг/м <sup>3</sup>	Виробництво тепла, Гкал/га
Павловнія	50-60	20	15,0	310	62,5
Енергетична верба	50-60	15	13,0	400	42,8
Тополя	40-50	12	14,0	430	34,2
Клен ясенolistий	50-60	10	14,0	450	28,5
Міскантус	20-30	25	16,0	200	80,0
Просо прутіподібне	20-30	18	15,5	120	57,0

Павловнія може використовуватися як сировина для виробництва дров для обігріву будинків, теплиць тощо, пелет та біоетанолу.

При вирощуванні Павловнії на дрова для обігріву на ділянку розміром 10000 м<sup>2</sup> (1 Га) насаджується 1000 дерев. При обрізанні восени (для однорічної рослини) виробляється до 7 кг сухої маси з кожного дерева, тож за 1 рік можна отримати 7000 кг сухої маси з одного гектара! Це дозволить не витратити гроші на паливо для обігріву свого житла та підсобного господарства [4].



Завдяки високій тепловіддачі павловнію широко використовують для виготовлення пелет для твердопаливних котлів. У результаті отримуємо дешевий та екологічний вид палива, тому що при горінні павловнії в атмосферу не викидаються шкідливі компоненти.

Пелети – біопаливо, альтернативне екологічно чисте джерело теплової енергії. Ціна на пелети на міжнародному ринку становить приблизно 100 євро/тонну, і це за величезного попиту на відновлювані джерела теплової енергії.

Пелети з Павловнії мають високу тепловіддачу. При спалюванні 1 тонни пелет із Павловнії виділяється стільки ж енергії, як при спалюванні 480 м<sup>3</sup> газу, 500 л. дизпалива, 700 л. мазуту.

Пелети відрізняються економічністю та високою тепловою ефективністю при згорянні. При цьому пелети з Павловнії набагато екологічніші за інші дерев'яні породи. При спалюванні пелет з Павловнії від 10 до 50 разів нижче емісія CO<sub>2</sub>, від 15 до 20 разів менше золи, практично повністю відсутня сірка у викидах.

Пелети вдвічі щільніші, ніж звичайні дерев'яні кульки та виробляють у 3 рази більше теплової енергії при згоранні (ККД – 96 %).

Через низький вміст вологи пелети з Павловнії важать менше, зменшуючи при цьому вартість транспортування. Пелети не набирають вологи з повітря, тому їхня висока теплопровідність не знижується з часом.

Листя павловнії відрізняється достатньо великим розміром, враховуючи високий приріст зеленої маси павловнії, її можна використовувати для виробництва біогазу.

Біогаз – це джерело відновлюваної енергії, екологічно чисте та економічно доцільне. Це газ, що складається, в основному з метану (CH<sub>4</sub>), діоксиду вуглецю (CO<sub>2</sub>) та в невеликих кількостях інших газів. Виникає при ферментації органічних речовин в анаеробних умовах (без кисню). Біогазові установки – це установки, де відбувається прискорена форма природного циклу розкладання.

Маючи великий розмір листя, при розкладанні виробляється більше основних газів, з яких безпосередньо складається біогаз, порівняно з органічним матеріалом пропонованим іншими типами рослин, що робить павловнію ідеальним продуктом для отримання цього біопалива [5].

Інше застосування Павловнії – це використання її як сировини для біоетанолу. Американські вчені розробили нову технологію отримання етанолу, засновану на комбінуванні термохімічного та біотехнологічного методів, внаслідок якої з однієї тонни сухої деревини витягується 511 літрів етанолу. Це є причиною назвати це дерево «Нафтовою свердловиною».

Одержання біоетанолу можливе двома способами:

- За допомогою спеціальних мікроорганізмів, які поїдають целюлозу павловнії, переробляють її та виділяють етанол.
- За допомогою ензимів, які розкладають целюлозу павловнії до отримання біоетанолу.

Другий спосіб використовують частіше тому що він легший за реалізацією і дешевше за вартістю.



**Висновки.** Проаналізувавши все вищесказане, можна підсумувати, що павловнія – це матеріал майбутнього, паливо нового покоління. Воно просте у виробництві та повністю безпечне для навколишнього середовища.

Через свій швидкий ріст та інші позитивні якості павловнію як бізнес це відмінна і прибуткова ідея.

Переваги для довкілля:

- ✓ павловнія може вирощуватися на бідних поживними речовинами та забруднених ґрунтах шляхом інтенсивного землеробства;
- ✓ відбувається очищення ґрунтів, забруднених внаслідок екологічних катастроф;
- ✓ поглинає велику кількість CO<sub>2</sub>;
- ✓ запобігає ерозії ґрунту.

Створення плантацій, швидко зростаючих дерев, у поєднанні з інноваційними технологіями вирощування дерев в павловнії може стати важливою частиною політики економії ресурсів і вирішення проблем, пов'язаних із споживанням енергії, без ризику для навколишнього середовища.

### Література:

1. Iesipov O. V. Prospects for growing energy crops as a factor influencing the development of bioenergy. Materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference "Alternative energy sources, energy saving and ecological aspects in the agricultural sector", May 25-26, 2021. Kharkiv: KhNTUSG, 2021. P. 35-37.

2. Filipova, L. M., Matskevych, V. V., Karpuk, L. M., Stadnyk, A. P., Andriievsky, V. V., Vrublevsky, A. T., Krupa, N. M., & Pavlichenko, A. A. (2019). Features of rooting pavlovnia in vitro. Egyptian Journal of Chemistry. Vol. 62. 2nd International Conference on Agricultural Biosystems (AGRIBIOS 2019) on 28,29 September 2019 in GBC meeting and conference room, Deira, Dubai, UAE. P. 57–63. DOI: <https://doi.org/10.21608/EJCHEM.2019.18333.2127>.

3. Jakubowski, M. (2022). Cultivation potential and uses of pavlovnia wood: A review. Forests. Vol. 13. No 5. Art. No 668. P. 1–15. DOI: <https://doi.org/10.3390/f13050668>.

4. Janjić, Z., & Janjić, M. (2017). Pavlovnia, its characteristics and use value. Knowledge-International Journal. Vol. 20. No 5. P. 2387–2392.

5. Matskevych, O. V., Filipova, L. M., Matskevych V. V., & Andriievskiy V.V. (2019). Pavlovnia: naukovo-praktychnyi posibnyk: Bila Tserkva: BNAU. 80 s. (in Ukrainian).

**Abstract.** The paper considers the issue of the prospects of growing pavlovnia as an energy raw material. Pavlovnia is used in addition to the industry, also in the energy industry in the form of pellets, also as a raw material for the production of alternative biofuels. Taking into account the European Union's experience in growing energy crops, as well as the properties of pavlovnia, in terms of rapid biomass renewed growth, combined with innovative wood growing technologies it, can be an important part of policy resource saving and solve problems related to the use of energy, without risk to the environment.

**Key words:** energy crops, pavlovnia, biofuel, pellets, biogas plants, bioethanol, biodiesel, heat transfer, heat energy source