

## ТЕХНОЛОГІЇ ЗБИРАННЯ ВЕРБИ

**В. Думич,**

*Львівська філія УкрНДІПВТ ім. Л. Погорілого*

*Проаналізовано зарубіжний досвід способів збирання енергетичної верби, зроблено короткий аналіз і наведено умови роботи збиральних машин, запропоновано класифікацію технологій збирання біомаси верби.*

**Ключові слова:** *верба, збирання, класифікація, технологія, машини*

**Суть проблеми.** Одним з основних завдань у напрямку енергозабезпечення України є зменшення енергозалежності країни від країн-імпортерів паливних ресурсів. Особливої актуальності це завдання набуло в теперішніх умовах, у зв'язку з погіршенням політичних і економічних відносин з Росією – основним постачальником природного газу. Для виходу з такого положення, Радою національної безпеки і оборони України від 28 квітня 2014 року прийнято рішення "Про стан забезпечення енергетичної безпеки у зв'язку з ситуацією щодо постачання природного газу в Україну" [1]. В цьому рішенні звернуто увагу на те, що уряд має забезпечити: актуалізацію положень Енергетичної стратегії на період до 2030 року з метою забезпечення виконання міжнародних зобов'язань України щодо розвитку відновлюваних джерел енергії.

В структурі потужностей відновлюваної енергетики з біомаси виробляється понад 40% енергії. На сьогодні в Україні недостатньо використовується енергетичний потенціал біомаси, виробляється близько 1 млн тонн умовного палива. За статистичними даними, в Україні нараховується від 5 до 10 млн га низькопродуктивних земель. Якщо ці землі використовувати для енергетичних плантацій, можна отримати в середньому 378 млрд кВт·год. електроенергії на рік, що більш ніж вдвічі перевищує виробництво електроенергії на українських ТЕС [2]. В Україні розроблено концепцію розвитку біоенергетики, згідно з якою у 2030 році з енергетичних культур передбачається виробити 9,2 млн тонн умовного палива [3].

Енергетична верба є основною енергетичною культурою для виробництва твердого палива у світі. Ґрунтово-кліматичні умови більшості регіонів України також сприятливі для її вирощування. Плантації верби використовують протягом 20-25 років. Збирають вербу як мінімум один раз на три роки. Впродовж терміну використання плантацій садіння проводять один раз, а збирання біомаси – 7-8 разів. Тому впровадження ефективної технології збирання верби дозволить зменшити витрати та збільшити рентабельність виробництва енергії.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Проблематика збирання верби висвітлена в [4, 5, 6, 7]. В матеріалах [4] проаналізовано тенденції

розвитку машин для збирання біомаси верби енергетичної короткої ротації за період від 1993 р до 2012 року. У публікації [5] розкрито канадський досвід збирання деревних культур з використанням спеціальних зрізувально-пакувальних машин. Інформацію, яка стосується проблематики закладання плантацій енергетичної верби, догляду за плантаціями, збирання біомаси та ліквідації плантацій, наведено у виданні [6]. У книзі [7] розглянуто властивості та фізичні характеристики енергетичних рослин, властивості та аеродинамічні характеристики подрібненого матеріалу рослин і наведено опис технологій збирання біомаси.

Проте, питання щодо технології збирання енергетичних культур, в тому числі енергетичної верби, в Україні недостатньо вивчене і висвітлене в наукових джерелах.

**Мета дослідження** – на основі аналітичних досліджень охарактеризувати технології збирання біомаси енергетичної верби.

**Виклад основного матеріалу.** Збирання вербової біомаси проводять після закінчення вегетаційного періоду в листопаді – лютому після опадання листя за найменшої вологості біомаси. На період закінчення періоду вегетації вологість верби становить 53%-58%, протягом зими вологість верби зменшується і в лютому досягає 43%-46%. Якщо зрізані пагони верби залишено на полі, тоді в травні вологість біомаси знаходитиметься на рівні 30%-34%.

Збирання енергетичної верби можна проводити з різною періодичністю (циклами збирання): щорічно; один раз на два роки; один раз на три роки; один раз на чотири роки. Вибір циклу і способу збирання в основному залежить від наявної збиральної техніки і призначення біомаси.

За даними досліджень визначено, що приріст біомаси верби відбувається нерівномірно: за перший рік становить 25%-28%; за другий – 31%-35%, за третій – 37%-44% від загального приросту за три річний цикл. Результати досліджень показують що врожайність сухої маси верби, за умови щорічного збирання становить 14,8 т/га, при дворічному циклі збирання – 32,1 т/га або в середньому 16,05 т/га за рік, а при трирічному – 64,5 т/га або 21,5 т/га в середньому на рік.

Верба на третій рік вирощування (після зрізання) відзначається найбільшим приростом біомаси. Пагони верби трирічного віку досягають висоти 6-8 м і мають діаметр до 40-80 мм. Зібраний матеріал трирічної верби характеризується вищою щільністю порівняно із насипною масою тріски з однорічних пагонів, завдяки меншому вмісту молоді кори і тонких частин рослин. Згідно з результатами досліджень деякі різновиди верби, починаючи з четвертого року вирощування, зменшують швидкість приросту.

Ще одним чинником, що вказує на переваги трирічного циклу збирання, є зменшення кількості машин (адже збирають третину площі), зменшення витрат на амортизацію, паливо та оплату праці.

Тому найбільш вигідним циклом збирання біомаси з плантації є збір один раз на три роки. Недоліками трирічного циклу є довгий період очікування на вихід біомаси та необхідність використання спеціалізованих машин для збирання деревних енергетичних культур.

Однорічні і навіть дворічні верби мають невеликий діаметр пагонів можуть бути зрізані і подрібнені за допомогою силосозбирального комбайна після незначного переобладнання подрібнювального механізму. Енергетичну вербу з одно-, дво- та трирічними циклами використання можна збирати із застосування одно- або двоетапного способів.

Одноетапний спосіб або комбайнова технологія збирання полягає у зрізуванні і подрібненні рослин та завантаженні подрібненої біомаси в кузов транспортного засобу, що рухається поряд. Технічні засоби для комбайнової технології збирання верби повинні подрібнювати деревину на тріску довжиною до 70 мм. Адже, за результатами досліджень встановлено, що зберігання вологої тріски довжиною понад 70 мм може призвести до її гниття і навіть до самозаймання. Вербова тріска такого розміру може зберігатися лише за умови продування напісу (кагату) сухим повітрям. Дослідженнями також встановлено, що з кагатів тріски розміром від 50 мм до 70 мм проходить швидке випаровування вологи і подрібнена деревина може зберігатися і не загнити протягом довгого часу.



а



б



в



г



д

а – New Holland (130 FB для FR 9090); б – BB-1000;  
в – Bender 6WG; г – JF 192; д – SPAPPERI RT500

Рисунок 1 – Технічні засоби для комбайнового збирання верби

Для реалізації даної технології використовуються кормозбиральні комбайни з адаптерами виробництва фірм Claas (адаптер HS2 для Jaguar 820-900), New Holland (адаптер 130 FB для FR 9090), Krone (адаптер WoodCut 1500 для Big X) та навісні і причіпні машини для збирання деревних енергетичних культур короткої ротації, які подрібнюють деревину на тріску розміром до 50 мм. (рис. 1). Продуктивність цих машин становить 30 т/год тріски вологістю від 45% до 50%.

Для збирання пагонів верби за один прохід по полю також застосовують машини для збирання цукрової тростини з модифікованим різальним апаратом і вивантажувальним транспортером, в яких рослинний матеріал подрібнюється на шматки деревини довжиною 100-150 мм (рис. 2).



**Рисунок 2 – Збирання верби тростинозбиральним комбайном Case IH 7000 series Austoft**

Деревний матеріал, зібраний тростинозбиральним комбайном, необхідно просушувати за допомогою активного вентилявання сухим повітрям, тому що можуть початися процеси гниття і самозаймання. Такий технологічний матеріал не придатний для спалювання в котлах з автоматичною подачею палива, і його необхідно подрібнювати до розміру 50-70 мм на деревоподрібнювальній машині, яка обладнана бункером. Подрібнений матеріал підсихає природним шляхом і задовільно зберігається в кагатах.

Технологія збирання енергетичної верби тростинозбиральними комбайнами поєднує елементи одноетапного та двоетапного способів збирання, а саме збирання матеріалу і подрібнення зібраного матеріалу до розмірів тріски, придатної для застосування в автоматичних котлах здійснюється за один прохід по полю. Тому таке техніко-технологічне рішення можна класифікувати як проміжну технологію збирання верби.

Технічні засоби, які застосовуються в комбайновій і проміжній технологіях збирання деревних культур короткої ротації задовільно виконують технологічний процес на плантаціях верби посадженої подвійними рядами з міжряддям 75 см і відстанню між крайніми суміжними

рядками подвійних рядів 150 см. Збиральний комплекс машин, який складається з комбайна та технологічного транспорту для успішного виконання маневрів на краях поля і ефективної роботи потребує широких поворотних смуг. Комбайнове збирання доцільно застосовувати на плантаціях із значною площею насаджень і довгими гонами. Комбайни ефективно і якісно виконують роботу на полях з рівнинним рельєфом та не великими схилами.

Найбільш сприятливі ґрунтово-кліматичні умови для роботи вербозбиральних комбайнів настають в зимовий період по замерзлому ґрунті з незначним сніговим покривом.

Двоетапне збирання складається з двох незалежних фаз технологічних операцій. Під час першої фази рослини зрізують, під час другої – подрібнюють. У випадку збирання верби короткої ротації домінує збір у вигляді цілих рослин. В деяких країнах двоетапне збирання складається із зрізування рослин, підбирання і пресування їх в рулони або паки. Між цими фазами може виконуватися кілька операцій, а саме висушування та навантаження. Після висушування матеріалу його подрібнюють в стаціонарних умовах на площадці або в полі.

Для виконання двоетапного збирання застосовують ручне та механізоване збирання та кілька технологій: роздільну, снопову, пагонну, рулонну або пакову.

Ручне збирання верби складається з технологічних операцій зрізування за допомогою секатора та укладання зрізаних пагонів у пучки і в'язання снопів з використанням ручної праці. Робота при використанні секаторів малопродуктивна і трудомістка та вимагає значних затрат фізичних сил людини. Цей спосіб збирання може бути застосовуваний на малих плантаціях площею до 0,5 га в однорічному циклі вирощування верби.

Для зменшення затрат праці і фізичних сил людини застосовують частково механізоване збирання, яке базується на використанні засобів малої механізації для зрізування пагонів верби – секора чи бензомоторної пили (рис. 3). Дану технологію можна застосовувати при одно-, дво- та трирічному циклі збирання верби на плантаціях з площею до 1 га.

Під час збирання трирічних пагонів верби необхідно, що найменше три працівники: оператор: працівник, який відхиляє і відбирає паростки та працівник, який підбирає зрізанні паростки і формує в'язки. Продуктивність роботи такого колективу працівників становить до 0,025 га/год. (при використанні секора) і до 0,02 га/год. (при використанні бензопили). Однак, при застосуванні ланцюгових бензомоторних пил можливе пошкодження кори на пнях.



а

б

*а – зрізування пагонів верби з використанням секора;  
б – зрізування трирічних пагонів верби з використанням бензомоторної пили.*

**Рисунок 3 – Частково механізована технологія збирання верби**

На площах понад 1 га доцільно здійснювати заготівлю деревини верби виробничим способом з використанням роздільної, пагонної, снопової та рулонної технологій.

В процесі збирання верби за роздільною технологією можливі до використання кілька способів заготівлі біомаси з різними технологічними операціями. Перша технологічна операція в цій технології – зрізування деревних пагонів та укладання їх у валок (рис. 4, а). Валки пагонів залишають на полі, де вони підсихають, протягом певного часу.

Після підсихання пагонів можуть бути застосовані, в основному два варіанти технологічних операцій:

– підбирання і подрібнення пагонів та навантаження подрібненої тріски в кузов транспортного засобу з використанням мобільних деревоподрібнювальних машин (рис. 4, б);

– навантаження пагонів в кузов транспортного засобу (рис. 4, в), перевезення їх на спеціально обладнану площадку або край поля і подрібнення на стаціонарній деревоподрібнювальній машині.



а

б

в

*а – косарка верби K01; б – підбирач-подрібнювач деревини Srapperі моделі RT;  
в – навантажувач пагонів верби*

**Рисунок 4 – Роздільна технологія збирання верби**

Суть пагонної технології полягає у збиранні і укладанні в кузов та транспортуванні до місця вивантаження цілих пагонів верби із застосуванням спеціалізованих машин (рис. 5). Машини збирають деревину за один прохід по полю. Зрізані пагони верби переробляються на тріску деревоподрібнювальними машинами.



а

б

а – самохідна машина Empire 2000; б – причіпна машини NB STEMSTER III

#### Рисунок 5 – Пагонна технологія збирання верби

Під час виконання технологічного процесу пагони в кузов укладаються насипом, що зумовлює незначну їх щільність і масу на транспортному засобі. Отже, для транспортування зібраного матеріалу не обхідно виконувати часті переїзди. Затрати часу на переїзди до місця вивантаження суттєво впливають на коефіцієнт використання змінного часу, в результаті чого зменшується продуктивність роботи.

Застосування вербозбиральних снопов'язальних машин дозволяє збільшити щільність зібраного матеріалу, а це підвищує використання вантажопідйомності і зменшує кількість переїздів транспортних засобів по полю в порівнянні з аналогічними параметрами у разі збирання за пагонною технологією (рис. 6).



а

б

а – причіпна косарка-в'язалка AP H/PM;

б – самохідний вербозбиральний снопов'язальний комбайн

#### Рисунок 6 – Машини для снопової технології збирання верби



Збиральні сноповязальні машини зрізують пагони верби, формує їх у снопи і вивантажує на зібрану частину поля. В подальшому снопи навантажуються в кузов транспортного засобу, який транспортує їх до місця зберігання або подрібнення.

В деяких країнах пагони верби збирають за допомогою спеціальних прес-підбирачів, обладнаних зрізувальними, подрібнювальними і пресувальними робочими органами (рис. 7, а). Прес-підбирачі для збирання деревних енергетичних культур короткої ротації за один прохід по полю зрізують рослини, подрібнюють їх та формують рулони. В подальшому рулони верби навантажують і транспортують до місця переробки, де їх подрібнюють на тріску дерево подрібнювальними машинами, які оснащені великооб'ємними бункерами (рис. 7, б).



а

б

а – зрізувально-пресувальна машина Biobaler WB- 55;

б –подрібнювач рулонів верби Haybuster H-1130

Рисунок 8 – Машини для рулонної технології збирання верби

За результатами аналізу способів дерево- та вербозбиральних машин для збирання верби можна запропонувати класифікацію технологій збирання верби, яка показана на рисунку 9.

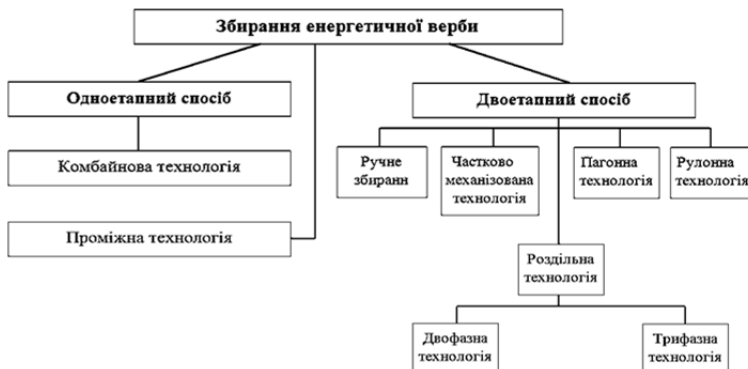


Рисунок 9 – Класифікація технологій збирання енергетичної верби



Запропонована класифікація технологій збирання верби не є остаточною однак вона дає можливість підприємцям, які вирощують енергетичні культури оцінити і вибрати техніко-технологічні рішення відповідно до їх потреб.

### **Висновки**

На сьогоднішньому етапі, в напрямку вирощування енергетичних ведуться дослідження і впроваджуються різні технології збирання енергетичної верби, які різняться за рівнем механізації, затратами праці, витратами матеріально-технічних ресурсів, комплексом машина тощо. Впровадження технологій збирання енергетичної верби в господарствах України дасть можливість збільшити виробництво твердого біопалива і буде поштовхом до розвитку відновлюваної енергетики в державі.

### **Література**

1. Про стан забезпечення енергетичної безпеки у зв'язку з ситуацією щодо постачання природного газу в Україну: рішення від 28 квітня 2014 року введено в дію Указом Президента України № 448/2014 від 01.05.2014/ Рада національної безпеки і оборони України – <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/n0003525-14>
2. Перша міжнародна науково-практична конференція з біоенергетики в Києві. // Цукрові буряки, №6 - 2011
3. Енергетична стратегія України на період до 2030 року – <http://www.google.com.ua>
4. Development of a Harvesting System for Short Rotation Willow and Hybrid Poplar Biomass Crops – <http://www.esf.edu/.../willowharvestingtalkSRWCOW...>
5. Woody Biomass Harvest from Willow Rings. – [http://www.cinram.mn.edu/.../W.Schroeder\\_Woody](http://www.cinram.mn.edu/.../W.Schroeder_Woody).
6. Techniki uprawy i produkcji biomasy z wierzby energetycznej Materiały szkoleniowe projektu Centrum Zielonych Technologii w temacie Odnawialne Źródła Energii. – [http://www.zielonetechnologie.pl/.../techniki\\_uprawy...](http://www.zielonetechnologie.pl/.../techniki_uprawy...)
7. B. Rummer1, D. Mitchell1 Harvesting Systems and Costs for Short Rotation Poplar. – <http://sungrant.tennessee.edu>
8. Technologie zbioru roślin energetycznych / [pod redakcją Aleksandra Lisowskiego]. – Warszawa: WYDAWNICTWO SGGW – 2010

### **Аннотация**

*Проанализирован зарубежный опыт способов уборки энергетической ивы, проведен короткий анализ и приведены условия работы уборочных машин, предложена классификация технологий уборки биомассы ивы*

### **Summary**

*Foreign experience of methods of collection of power willow is analysed, a short analysis is conducted and resulted terms of work of harvesters, classification of technologies of collection of willow is offered.*