

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ АВТОМАТИЗОВАНОГО ВІДБОРУ І ПОДАЧІ ЖИВЦІВ У САДЖАЛКАХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ КУЛЬТУР

Єрмаков Сергій Володимирович

завідувач навчально-наукової лабораторії «DAK GPS»
Заклад вищої освіти «Подільський державний університет»,
м. Кам'янець-Подільський, Україна
ORCID: 0000-0002-6840-5309
ermkov@gmail.com

Одним із перспективних напрямів розвитку біоенергетики є вирощування енергетичної сировини на плантаціях швидкорослих деревних порід, зокрема, верб, тополь та інших культур, здатних до легкого відновлення надземної частини після її зрізання. У статті проаналізовано сучасні тенденції вирішення проблеми швидкого нарощування площ насаджень енергетичної верби і виявлено, що одним з чинників, що гальмують процес є недостатнє опрацювання автоматизації технологічних процесів. Зокрема, зростання продуктивності агрегатів для садіння гальмує потреба в більшості технічних рішень використання праці саджальника. В роботі встановлено емпіричне завдання розробити автоматизовану саджалку для рослин, що висаджуються здерево'янілими живцями. Для розробки механізму, що забезпечить безперебійне і рівномірне надходження живців до сошника саджалки, було проведено аналіз існуючих технічних рішень. Окремі параметри знаходились експериментальним шляхом, в результаті чого було виявлено оптимальні кути нахилу стінок щільного бункера, раціональну ширину вивантажувального вікна, що забезпечуватиме повне і безупинне вивантаження живців при відсутності дії на них сторонніх сил (коливання, вібрації, тощо) і з ними. На основі проведених попередніх досліджень було синтезовано ряд рішень, які були використані при розробці нової конструкції механізму вивантаження живців. Розроблена конструкція механізму автоматизованої подачі живців у машину для садіння енергетичної верби захищена патентом і втілена у однорядній секції, робота якої була апробована в польових умовах. Такий механізм дозволяє звести ручну працю саджальника до завантаження щільного бункера попередньо орієнтованими в один бік живцями, що, залежно від об'єму щільного бункера, можна здійснювати на кінцях гону. Отримані у роботі результати можуть у подальшому слугувати для уточнення й вдосконалення машин, що працюють з поштучним відбором стержнеподібних матеріалів.

Ключові слова: енергетичні культури, енергетична верба, саджалка, автомат подачі, машина для садіння, живці.

DOI <https://doi.org/10.32782/msnau.2023.4.4>

Вступ. Інтенсивний розвиток світової енергетики створює попит на дедалі більші обсяги виробництва енергії, а з огляду на сучасні реалії екологічності та прагнення країн до енергонезалежності, дедалі більше уваги приділяється розвитку альтернативних джерел енергії. За різними оцінками до 2050 року майже 40% енергетичних потреб буде покриватись за рахунок відновлювальних джерел енергії, зокрема близько 30% – за рахунок біоенергетики (Sinchenko et al., 2015). Головним пріоритетом розвитку біоенергетики для багатьох країн є використання різних високопродуктивних біоенергетичних культур. Одним із перспективних напрямів є вирощування енергетичної сировини на плантаціях швидкорослих деревних порід, зокрема, верб, тополь та інших культур, здатних до легкого відновлення надземної частини після її зрізання. Передовий досвід з цих питань демонструють європейські країни, які почали активно впроваджувати вирощування енергетичної сировини плантаційними методами ще на початку 18 ст. Поштовхом до розвитку цього напрямку стало загострення світової енергетичної кризи (Kucher et al., 2023).

В Україні в останні роки ця тенденція набула особливого поширення, тому актуальним стало питання швидкого зведення у промислових масштабах плантацій енергетичних рослин, особливо різних сортів верб.

Для вирощування верби на великих плантаціях розроблено низку спеціальних машин для вирощування і збирання енергетичної верби (Mudryk et al., 2017; Hutsol et al., 2021). Технологія роботи з цією культурою має ряд своїх особливостей, тому не рідко деякі аспекти залишаються не достатньо вивченими. Зокрема, проблемним залишається питання автоматизованого садіння енергетичної верби, адже розмноження відбувається живцями, які зазвичай закладаються вручну саджальниками, що не лише обмежує продуктивність агрегату, а й не може гарантувати високої якості виконання роботи. Деякі спроби автоматизації процесу були втілені через створення агрегату, сировиною для садіння якого є довгі прутки. Закладання прута в них і надалі здійснюється вручну, проте далі така машина розрізає вербовий прут на живці безпосередньо під час садіння і заробляє їх у ґрунт з ущільненням його навколо живця, що забезпечує високий відсоток приживання (Manzone et al., 2014; Talagai et al., 2020). Прикладом такої машини є садильна машина Energy Planter датської компанії Egedal. Перевагами такої технології є те, що значно зменшується людський фактор, покращується якість садивного матеріалу (ріжеться безпосередньо перед садінням), з'являється можливість паралельного водіння при догляді і збиранні врожаю та, відповідно, менше пошкодження вкорінених саджанців при цьому (Kravchuk et al., 2013; Roik et al.,

2015). Однак така машина є досить дорогою для українського споживача і не дає можливості повністю обійтися без саджальника і вимагає ретельно підготовлених довгих прямих прутів.

В більшості ж випадків застосовуються простіші машини, де садивним матеріалом є живці енергетичної верби завдовжки 20...25 см та діаметром 0,7...1,4 см (Frączek et al., 2005; Roik et al., 2015). Зазвичай закладання матеріалу в таких машинах є ручним, то ж завданням нашого дослідження є розробка такого автомата, який би забезпечив безперебійну, поштучну видачу живців з деякого масиву і тим самим звільнив би місце саджальника.

На сьогодні робота над удосконалення процесу садіння рослин продовжується. Існує багато праць, що аналізують як теоретичні аспекти автоматизації (Bartenev, 2012; Miwa et al., 1991; Galle et al., 2012 і т.п.), так і автоматизацію конкретного виду рослин (Usenko, 2010; Asmolovskyi et al., 2004, та ін.) і навіть до впровадження робототехніки в процес садіння (Kutz et al., 1994; Mao et al., 2014; Liu et al., 2019 і т.д.). Проте кожен конкретний вид рослин потребує конкретного підходу. Зокрема, енергетична верба потребує врахування особливостей здрев'янілих живців як садивного матеріалу.

Основною перешкодою у подальшому підвищенні продуктивності саджалок є обмеженість можливостей людини у подачі живців – 40–60 шт./хв, що відповідає швидкості поступального руху машини 0,8...2,1 км/год. В цих умовах важливо замінити працю оператора засобами автоматизації, тому актуальним є пошук перспективних технологічних процесів та конструкцій робочих органів для автоматизованої подачі живців в машини для садіння енергетичних деревних культур, що структурно можна відобразити схемою рис. 1 (Зута et al., 2006; Yermakov et al., 2021).

На рис. 1 знаком питання виділена позиція, що відповідає за подачу живців від ємкостей з розсадою до місця садіння. В сучасних машинах для садіння енергетичної верби цей процес виконується винятково вручну (Yermakov, 2017; Hutsol et al., 2018).

Проаналізувавши різноманітні конструкції, ми дійшли висновків, що для підвищення продуктивності саджалок необхідно удосконалити процес подачі живців від ємкостей до садильного апарату. Також необхідно використовувати проміжні накопичувачі живців, що створює буфер, який компенсує невідповідність продуктивності садильного апарату і можливостей людини. Але це лише частково вирішує питання підвищення продуктивності і зменшення частки ручної праці.

Створення механізмів для автоматизованої подачі живців у садильний апарат чи безпосередньо до місця посадки є важливим науковим завданням на шляху збільшення продуктивності садильних машин.

Матеріали і методи досліджень. В роботі встановлено емпіричне завдання розробити автоматизовану саджалку для рослин, що висаджуються здрев'янілими живцями. Для розробки механізму, що забезпечить безперебійне і рівномірне надходження живців до сошника саджалки було розроблено план дій, що включає:

– Попередньо проведено аналіз існуючих засобів автоматизації садіння живців (Yermakov, 2017a; Hutsol et al., 2018). На даному етапі, крім рішень, безпосередньо пов'язаних з садінням енергетичної верби і тополі, де переважно застосовується праця саджальника для поштучного закладання живців, було також проаналізовано технічних рішень по вирішенню даної проблеми у розсадопадінні і лісівництві (Yermakov et al., 2021; Yermakov et al., 2018).

– Розроблено математичну модель двохскатного бункера з регульованим вивантажувальним вікном і кутами нахилу стінок, та виведено формулу руху масиву живців відповідно до цієї математичної моделі (Yermakov, 2019; Ivanyshyn et al., 2020; Yermakov et al., 2021).

– Розроблено лабораторний стенд (рис. 2) і проведено дослідження по виявленню закономірностей вивантаження живців (Yermakov et al., 2018; Yermakov et al., 2022) та деяких його параметрів.

Емпіричні дослідження проводились за матрицями двофакторного експерименту в результаті чого було виявлено оптимальні кути нахилу стінок щільного

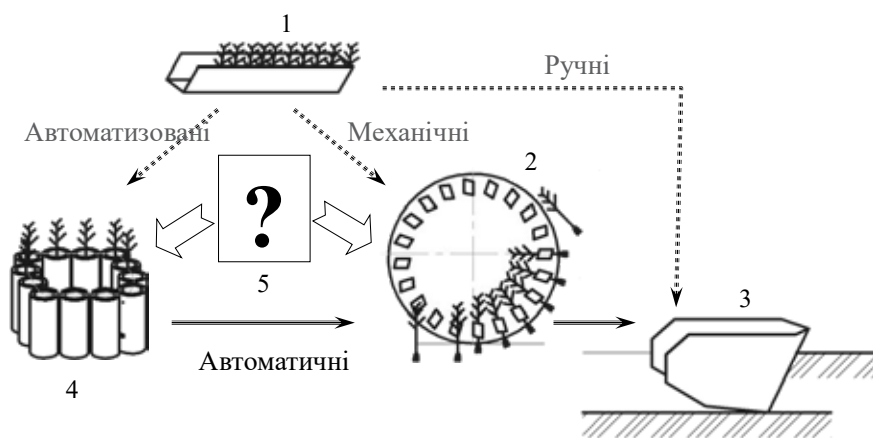


Рис. 1. Структурно-логічна схема виконання операцій процесу садіння живців енергетичної верби:

1 – місткості з розсадою; 2 – садильні апарати; 3 – сошники чи борозноутворююче обладнання;

4 – накопичувачі садивного матеріалу; 5 – механізм подачі живців



Рис. 2. Лабораторний стенд для дослідження параметрів щілинного бункера

бункера, раціональну ширину вивантажувального вікна, що забезпечуватиме повне і безупинне вивантаження живців при відсутності дії на них сторонніх сил (коливання, вібрації, тощо) і з ними.

На основі проведених попередніх досліджень було синтезовано ряд рішень, які були використані при розробці нової конструкції механізму вивантаження живців.

Результати. На підставі лабораторних досліджень було виявлено, що підбираючи раціональні параметри щілинного бункера можна досягти повного висипання з нього стержнеподібних матеріалів з неідеальною формою (живців). Ці параметри було закладено в механізмі автоматизованого відбору і подачі живців з щілинного бункера (Ivanushyn et al., 2023).

В основу розробки було поставлено задачу підвищення надійності та зниження затрат праці на процес садіння живців, за рахунок розробки автомата для подачі їх в сошник, який забезпечує можливість отримання рівномірного розвантаження бункера та безперебійної поштучної видачі садивного матеріалу до місця садіння.

Для вирішення поставленої задачі пропонується конструкція автомата для подачі живців в сошник, в якій накопичувальною ємністю є щілинний бункер, що утворений за допомогою двох похилих стінок. Стінки бункера створюють звуження, утворюючи внизу вивантажувальне вікно (рис. 3). Бункер виконано так, щоб живці розташовувались у ньому між двома вертикальними паралельними стінками, відстань між якими відповідає розміщенню живців впоперек з зазором. Робочими елементами автомата є барабан з комірками, упор та направляюча лійка (рис. 3).

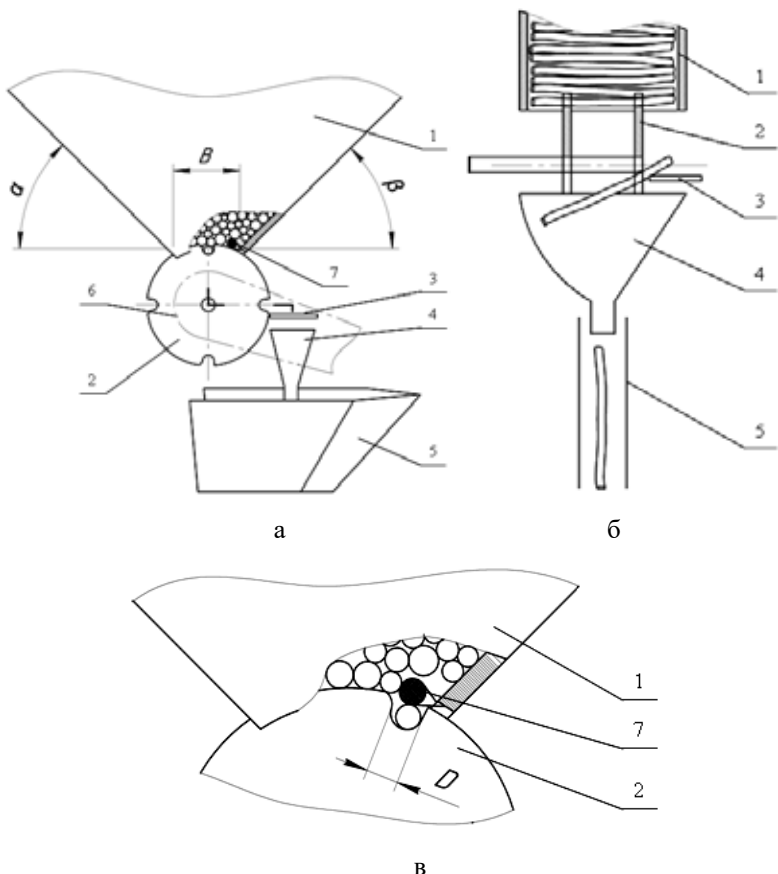


Рис. 3. Конструктивна схема автомата для подачі живців в сошник: а – вигляд на автомат садіння збоку (з частковими розрізами); б – поперечний переріз машини по А-А; в – схема роботи відокремлювача живців; 1 – щілинний бункер, 2 – барабан із комірками, 3 – упор, 4 – направляюча лійка; 5 – сошник; 6 – гнучка передача (ланцюгова); 7 – чистик

Щілинний бункер заповнюється шаром живців, які під дією гравітації прагнуть просуватись до вивантажувального вікна. Звуження шару живців перед їх поштучним відбором здійснюється звуженням бункера у нижній частині, аж до формування краями стінок розвантажувального вікна. Ширина бункера відповідає розміщенню живців впоперек з зазором для вільного їх переміщення. Кут нахилу похилих стінок бункера α і β повинен бути не менше 40° , що забезпечить вільний схід живців під дією гравітаційних сил. Для уникнення можливостей склепуотворень, ширина розвантажувального вікна бункера B , для живців діаметром $10...18$ мм повинна становити не менше 8 см.

Барабан виконано в вигляді двох дисків з комірками. Диски розміщено на відстані $0,3...0,5$ довжини садивного матеріалу, що дозволяє приймати живці навіть з дефектами форми. Комірки виконано такими, щоб забезпечити затримання в них одного живця і вільного сходу інших (рис. 3в). Їх ширина і глибина повинні становити $1,3...1,8$ діаметрів живців, а форма забезпечувати плавний вихід. Для вільного сходу надлишкових живців на передній стінці бункера встановлено підпружинений чистик. Діаметр чистика повинен відповідати середньому діаметру живців і мати достатню амплітуду, щоб заходити в комірки барабана не менше $1/3$ глибини. У місці спадання садивного матеріалу з комірок барабана з одного боку встановлено упор, що забезпечує

зміну горизонтального положення в одному напрямку. Під упором встановлена направляюча лійка, яка остаточно орієнтує живці в вертикальне положення. Лійка внизу закінчується садивною трубою з якої садивний матеріал входить в щілину підготовлену сошником.

Перед початком роботи машини обладнаної даним автоматом для подачі живців в сошник в щілинний бункер завантажують садивний матеріал так, щоб верхні його частини були з боку упора. Живці в бункері продовжують зберігати своє орієнтування, поступово рухаючись до вивантажувального вікна бункера під дією гравітаційних сил. При русі агрегату за допомогою гнучкої (ланцюгової) передачі приводиться в дію барабан з комірками. Живці, які потрапляють на дно комірки фіксуються там, а інші видаляються за рахунок форми задньої стінки комірки та підпружиненого чистика. При обертанні барабана, живці, які потрапили в його комірки, виводяться з-під бункера і в деякому положенні випадають з комірки, зустрічаючись верхньою частиною з упором, завдяки чому їх положення змінюється з горизонтального на похиле лише в визначеному напрямку і живець продовжує рухатись нижньою частиною вперед. В напрямлюючій лійці садивний матеріал остаточно набуває вертикального положення і надходить у сошник, у виконану ним щілину, після чого його положення фіксується загортаючими чи прикочуючими засобами. Величина кроку садіння живців може регулюватись зміною передавального відношення гнучкої передачі приводу або кількістю комірок на барабані.

Обговорення. Запропонований механізм вміщує у собі деякі рішення і принципи, які застосовуються для подібних пристосувань до розсадосадильних машин, а також для саджалок, що використовуються у лісівництві (Zuma et al., 2006; Voitiuk et al., 2008). Зокрема, постає необхідність попереднього орієнтування і підготовки садивного матеріалу, як у касетних механізмів розсадо садіння.

Водночас рішення по гравітаційному вивантаженню садивного матеріалу не можуть в повній мірі відповідати більшості виконань у розсадосадильних лісосадильних автоматизованих машинах (Hutsol et al., 2018; Mudryk et al., 2017). Це пов'язано з специфікою живців, які дозволяють припускати їх рух, як рух стержнеподібних матеріалів. Натомість гравітаційне вивантаження циліндричних деталей з бункерів, в тому числі щілинних, широко поширене в деяких галузях промисловості та верстатобудування.

Розроблена конструкція механізму автоматизованої подачі живців у машині для садіння енергетичної верби захищена патентом (Ivanushyn et al., 2023) і втілена у однорядній секції, робота якої була апробована в польових умовах. Такий механізм дозволяє звести ручну працю



Рис. 4. Загальний вигляд польової установки, обладнаної автоматом для подачі живців у сошник

саджальника до завантаження щілинного бункера попередньо орієнтованими в один бік живцями, що, залежно від величини щілинного бункера, можна здійснювати на кінцях гону. А, отже, задачу звільнення процесу садіння від праці саджальника і, тим самим, автоматизації роботи саджалки можна вважати виконаною.

Висновки. В умовах зростаючої потреби швидкого нарощування площ насаджень енергетичних культур виникає проблема з наявним технічним парком для цих цілей. Зокрема, підвищення продуктивності саджалок гальмує використання праці саджальників для закладання садивного матеріалу. Розробка механізму поштучного відбору і подачі живців енергетичної верби до сошника дозволить суттєво збільшити ефективність садіння як в плані якості виконання робіт, так і в плані збільшення продуктивності агрегату.

Розроблена конструкція автомату подачі живців енергетичної верби у сошник дозволяє здійснювати безперебійний поштучний відбір попередньо орієнтованих живців енергетичної верби з щілинного бункера і подачу їх у сошник. Це дозволяє автоматизувати процес під час руху агрегату вздовж гону, а відповідно і зникає потреба у саджальнику, який би супроводжував саджалку увесь час виконання технологічного процесу.

Отримані у роботі результати можуть у подальшому слугувати для уточнення й вдосконалення машин, що працюють з поштучним відбором стержнеподібних матеріалів.

Бібліографічні посилання:

1. Abhijit, K., Mathur, S. M., Gaikwad, B. B. (2018). Automation in Transplanting: A Smart Way of Vegetable Cultivation. *Current Science*, 115, no. 10: 1884–92. <https://www.jstor.org/stable/26978519>.
2. Aijun, G., Xiaoyu, L., Jialin, H., Zhilong, Z., Ji, Z., Jun, C. (2018). Design and experiment of automatic directing garlic planter. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE)*, 2018, 34(11). pp. 17–25. <https://doi.org/10.11975/j.issn.1002-6819.2018.11.003>.
3. Appavoo, I., Marionneau, A., Berducat, M., Merckx, B., Olivier, N. (2016). A high yield automatic tree planting machine. 5th International Conference on Machine Control & Guidance MCG 2016, Vichy, France. p. 5.
4. Bendera, I.M., Rozdorozhniuk, P.I., Tkach, O.V. (2011). Proektuvannia mekhanizovanykh tekhnolohichnykh protsesiv u roslynnystvi [Design of mechanized technological processes in crop production]. Kamianets-Podilskyi: FOP Sysyn O.V. 556 p (in Ukrainian).
5. Buchholz, T., Volk, T.A. (2011). Improving the Profitability of Willow Crops—Identifying Opportunities with a Crop Budget Model. *Bioenerg. Res.* 4, pp. 85–95. <https://doi.org/10.1007/s12155-010-9103-5>.
6. Huk, Ya.V. (2021). Vykorystannia pobichnoi produktsii kukurudzy v enerhetychnykh tsiliakh. [Use of corn by-products for energy purposes]. *Perspektyvy rozvytku terytorii: teoriia i praktyka* [Prospects for the development of territories: theory and practice]. Kharkiv: KhNUMH. pp. 363–367. (in Ukrainian).
7. Borys, M.M., Yermakov, S.V. (2017). *Perspektyvy avtomatyzatsii sadinnia zhyvtsiv enerhetychnykh kultur* [Prospects for automation of planting cuttings of energy crops]. Zbirnyk naukovykh prats Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii [Collection of scientific works of the international conference]. Kamianets-Podilskyi, 2017. pp. 23–26. (in Ukrainian).
8. Bush, C., Volk, T.A., Eisenbies H. (2015). Planting rates and delays during the establishment of willow biomass crops. *Biomass and Bioenergy*. V. 83, pp. 290–296 <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.10.008>.
9. Dziedzic, K., Łapczyńska-Kordon, B., Mudryk, K. (2017). Decision support systems to establish plantations of energy crops on the example of willow (*Salix Viminalis* L.). *Scientific achievements in agricultural engineering, agronomy and veterinary medicine polish ukrainian cooperation*. Vol. 1, No. 1, pp. 150–160.
10. Edelfeldt, S., Verwijst, T., Lundkvist, A., Forkman, J. (2013). Effects of mechanical planting on establishment and early growth of willow. *Biomass and Bioenergy*. V. 55, P. 234–242. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2013.02.018>.
11. Ericsson, K., Rosenqvist, H., Ganko, E., Pisarek, M., Nilsson, L. (2006). An agro-economic analysis of willow cultivation in Poland. *Biomass and Bioenergy*. V. 30, Issue 1, pp. 16-27 <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.09.002>.
12. Frączek, J., Mudryk, K. (2005). Jakości sadzonek wierzby energetycznej w aspekcie sadzenia mechanicznego [Quality of energy willow seedlings in terms of mechanical planting]. *Inżynieria Rolnicza [Agricultural Engineering]*, 6 (66), pp.159-167 (in Polish).
13. Galle, D.T. (2012). Development of an automated precision planter for establishment of *Miscanthus giganteus*. Purdue University. ProQuest Dissertations Publishing, 2012. 10156261.
14. Hutsol, T., Glowacki, S., Mudryk, K. (2021). Agrobiomass of Ukraine – Energy Potential of Central and Eastern Europe (Engineering, Technology, Innovation, Economics). Monograph. Warsaw.
15. Hutsol, T., Yermakov, S., Firman, Ju., Duganets, V., Bodnar, A. (2018). Analysis of technical solutions of planting machines, which can be used in planting energy willow Renewable Energy Sources. *Engineering, Technology, Innovation*. pp. 99–111. https://doi.org/10.1007/978-3-030-13888-2_10.
16. Ivanyshyn V.V., Yermakov S.V., Hutsol T.D., Mykhailova L.M., Kucher O.V. Avtomat podachi zhyvtsiv enerhetychnoi verby u soshnyk [Automatic feeding of energy willow cuttings into the coulter]. Patent Ukrainy № 152256. 11.01.2023 (in Ukrainian).
17. Ivanyshyn, V., Yermakov, S., Ishchenko, T., Mudryk, K., Hutsol, T. (2020). Calculation algorithm for the dynamic coefficient of vibroviscosity and other properties of energy willow cuttings movement in terms of their unloading from the tanker. *E3S Web of Conferences*, 154, 04005. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202015404005>.
18. Kravchuk, V., Novokhatskyi, M., Kozhushko, M., Dumych, V., Zhurba, H. (2013). Na shliakhu do stvorennia plantatsii enerhetychnykh kultur [On the way to creating energy plantations]. *Tekhnika i tekhnolohii APK [Agricultural machinery and technologies]*. № 2 (41) (in Ukrainian).
19. Kucher, O.V., Yermakov, S.V. (2023). Metodolohiia marketynhovykh doslidzhen bioekonomichnykh protsesiv [Methodology of marketing research of bioeconomic processes]. *Podilskyi visnyk: Silske hospodarstvo, tekhnika. [Podilsky Visnyk: agriculture, technology]*. № 38. pp.132–139. <https://doi.org/10.37406/2706-9052-2023-1.19> (in Ukrainian).
20. Kutz, L.J., Craven, J.B. (1994). Evaluation of photoelectric sensors for robotic transplantation. *Applied Engineering in Agriculture*, 10 (1), pp.115–121.
21. Liu, K., Cheng G. and Kong, Z. (2019) Beidou agricultural machinery automatic driving software design, 2019 IEEE 4th Advanced Information Technology, *Electronic and Automation Control Conference (IAEAC)*, pp. 1770–1775, <https://doi.org/10.1109/IAEAC47372.2019.8997712>.
22. Lys, S.S. (2009). Ohliad tekhnolohii hazyfikatsii derevyny [Review of wood gasification technology]. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy [Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine]*. Lviv (in Ukrainian).
23. Mao, H., Han, L., Hu, J., Kumi, F. (2014). Development of a pincette-type pick-up device for automatic transplanting of greenhouse seedlings. *Applied engineering in agriculture*, 30(4), pp. 547–556.
24. Manzone, M., Balsari, P. (2014). Planters performance during a very Short Rotation Coppice planting. *Biomass and Bioenergy*. V. 67, pp.188–192, <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2014.04.029>.
25. Mitkov, V., Kiurchev, S., Nurek, T., Chorna, T., Ihnatiev, Ye. (2021). Scientific bases of aggregation of combined units on the basis of an integrated tractor. Monograph. Warsaw.
26. Miwa, Y. (1991). Automation of plant tissue culture process. In *Automation in biotechnology: a collection of contributions presented at the Fourth Toyota Conference, Aichi, Japan, Amsterdam: Elsevier*.

27. Mudryk, K., Bendera, I., Jewiarz, M. (2017) Scientific achievements in agricultural engineering, agronomy and veterinary medicine: Polish-Ukrainian cooperation: scientific monograph. State Agrarian and Engineering University in Podilya, Agriculture University in Kraków, vol. I, Kraków, Traicon, 2017.
28. Mudryk K, Hutsol T., Ovcharuk O. (2021) Określenie rozłożenia pędów wierzby energetycznej [Determining the distribution of energy willow cuttings]. Trends and challenges of modern agricultural science. Kyiv. pp. 20–22 (in Polish).
29. Roik, M.V., Sinchenko, V.M., Fuchylo, Y.D. (2015). Energetychna verba: tehnologiya vy'roshhuvannya ta vy'kory'stannya [Energy willow: cultivation technology and usage]. LLC "Nilan-LTD", Vinnitsa. 340 p. (in Ukrainian).
30. Sinchenko, V., Fuchylo, Ya., Humentyk, M. (2015). Koryhuvannia dlia verby [Adjustments for willow]. The Ukrainian Farmer (in Ukrainian).
31. Talagai, N., Marcu, M.V., Zimbalatti, G., Proto, A.R., Borz, S.A. (2020). Productivity in partly mechanized planting operations of willow short rotation coppice. *Biomass and Bioenergy*. V. 138, 105609. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105609>.
32. Voitiuk, D.H., Yatsun, S.S., Dovzhyk, M.Ia. (2008). Silskohospodarski mashyny: osnovy teorii ta rozrakhunku. [Agricultural machines: basics of theory and calculation]. Sumy: VTD Universytetska knyha. 543p. (in Ukrainian).
33. *Willowpedia*. Retrieved: <https://www.youtube.com/user/Willowpedia>. Access: 20.10.2021.
34. Yermakov, S. (2017). Kierunki optyimizacji maszyn dla sadzenia wierzby energetycznej [Directions for optimizing machines for planting energy willow]. Skróty referatów i posterów Konferencji Naukowej pt. Inżynieria produkcji rolniczej i leśnej [Abbreviations of papers and posters of the Scientific Conference entitled: Agricultural and forestry production engineering]. Warszawa, 8-9 czerwieca 2017. pp. 75–77. (in Polish).
35. Yermakov, S.V. (2017). Prospects for improvement of constructions for planting energy crops cuttings. *Podilian Bulletin: agriculture, engineering, economics*. V. 2. pp. 37–45.
36. Yermakov, S. (2019). Application of the laplace transform to calculate the velocity of a two-phase fluid modulated by the movement of cuttings of an energy willow (*Salix Viminalis*). *Teka. Quarterly journal of agri-food industry*. V. 2. pp. 71–78.
37. Yermakov, S.V., Hutsol, T.D. (2018). Features of the heterogeneous rod-like materials outflow (by example of energy willow cutting). Technological and methodological aspects of agri-food engineering in young scientist research, pp. 55–68.
38. Yermakov S.V., Hutsol T.D. (2021). Investigation of the process of gravitational unloading of energy willow cuttings in the conditions of static and dynamic arches. *Engineering of nature management*, Vip. 3, pp. 97–109.
39. Yermakov, S.V., Hutsol, T.D., Garasymchuk, I.D., Vusatyi, M.V. (2022). Patterns of the movement of rod-form materials in the process of their pumping out of hopper. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Mechanization and Automation of Production Processes*, V. 2 (48), pp. 21–27 <https://doi.org/10.32845/msnau.2022.2.4>.
40. Yermakov, S.V., Hutsol, T.D., Potapskyj, P.V., Garasymchuk, I.D. (2021). Structuring the process of automation of planting plants of energy willow. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Mechanization and Automation of Production Processes*, V. 3 (45), pp. 10–17. <https://doi.org/10.32845/msnau.2021.3.2>.
41. Yermakov, S.V., Hutsol, T.D., Mykhailova, L.M. (2021). Rozrakhunkovi formuly vyznachennia shvydkosti vyvan-tazhennia zhyvtsiv enerhetychnoi verby z tochky zoru hidrodynamichnykh bahatofaznykh system [Calculation formulas for determining the rate of discharge of energy willow cuttings from the point of view of hydrodynamic multiphase systems]. *Podilian Bulletin: Agriculture, Engineering, Economics*, V. 34 (in Ukrainian).
42. Yermakov, S.V., Hutsol, T.D. (2021). Strukturuvannia protsesu avtomatyzatsii sadinnia zhyvtsiv enerhetychnoi verby [Structuring the process of automation of planting plants of energy willow]. *Bulletin of Sumy National Agrarian University*, V. 3 (45) (in Ukrainian).
43. Yermakov, S., Tulej, M., Tulej, W., Shevchuk, I. (2018). Analiz konstruktsiy avtomativ sadinnia [Construction analysis means of planting automation]. *Trends and prospects for the development of science and education in the conditions of globalization*. V. 34. Pereiaslav-Khmelnytskyi. pp. 615–619 (in Ukrainian).
44. Zaika, P.M. (2011). Teoriia silskohospodarskykh mashyn. T. 1 (4.1). Mashyny ta znariaddia dlia obrobittu gruntu. [Theory of agricultural machines. T.1 (4.1). Machines and tools for soil cultivation]. Kharkiv: Oho. 444 (in Ukrainian).
45. Zyma, I.M., Maliutin, T.T. (2006). Mekhanizatsiia lisohospodarskykh robot [Mechanization of forestry works]. Kyiv: INKOS. 488 p. (in Ukrainian).

Yermakov S. V., head of the educational and scientific laboratory "DAK GPS", Higher educational institution «Podillia State University», Kamianets-Podilskyi, Ukraine

Development of the design of the mechanism for automated cuttings selection and feeding in energy cultures planters

One of the promising directions of the development of bioenergy is the cultivation of energy raw materials on plantations of fast-growing tree species, in particular, willows, poplars and other crops capable of easy restoration of the above-ground part after its cutting. The article analyzes modern trends in solving the problem of rapid expansion of the area of energy willow plantations, and it is found that one of the factors slowing down the process is insufficient development of the automation of technological processes. In particular, the growth of the productivity of planting units is hampered by the need for most technical solutions for the use of the planter's labor. The paper sets an empirical task of developing an automated planter for plants planted with lignified cuttings. An analysis of existing technical solutions was carried out to develop a mechanism that would ensure uninterrupted and uniform supply of cuttings to the opener of the planter. Individual parameters were found experimentally, as a result of which the optimal angles of inclination of the walls of the slotted hopper, the rational width of the unloading window, which will ensure full and continuous unloading of cuttings in the absence of external forces (oscillations, vibrations, etc.) and with them, were found.

On the basis of previous studies, a number of solutions were synthesized, which were used in the development of a new design of the cuttings unloading mechanism. The developed design of the mechanism for the automated supply of cuttings in the machine for planting energy willow is protected by a patent and embodied in a single-row section, the operation of which was tested in field conditions. This mechanism allows you to reduce the manual work of the planter to loading the slotted hopper with cuttings previously oriented in one direction, which, depending on the size of the slotted hopper, can be carried out at the ends of the furrow. The results obtained in the work can further serve to clarify and improve the machines that work with piece-by-piece selection of rod-like materials.

Key words: *energy crops, energy willow, planter, feeding machine, planting machine, cuttings.*