

Білоус М. М.

к.с-г.н., доцент

Виговський А. Ю.

к.т.н., доцент

*Національний університет
біоресурсів і
природокористування
України***Bilous M.**Candidate of Agricultural Sciences,
Associate Professor**Vyhovskyi A.**Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor*National University of Life and
Environmental Sciences of
Ukraine***УДК 630*23:631.17****DOI: 10.37128/2306-8744-2026-3-16****ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ
ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ
МУЛЬТИФУНКЦІОНАЛЬНОЇ
МАШИНИ В ЛІСОВОМУ
ГОСПОДАРСТВІ**

Розглянуто можливості підвищення ефективності виконання лісогосподарських і лісозаготівельних робіт шляхом застосування мультифункціональної маніпуляторної машини зі змінним технологічним обладнанням. Вивчено можливість удосконалення технологічних процесів у лісовому господарстві та зростання потреби в комплексній механізації виробничих операцій і раціональному використанні технічних засобів протягом календарного року.

Обґрунтовано доцільність використання мультифункціональної машини як універсальної технологічної основи для виконання комплексу лісогосподарських і лісозаготівельних робіт, розроблено організаційно-технологічні підходи до підвищення ефективності її експлуатації. Проаналізовано сучасний стан механізації лісового господарства, узагальнено світовий досвід використання універсальних маніпуляторних машин, досліджено можливості застосування змінного технологічного обладнання та запропоновано підходи до організації виробничих процесів у межах кварталу або групи суміжних кварталів.

Досліджено склад і функціональні можливості комплексу змінного технологічного обладнання, а також розкрито технологічні схеми виконання суцільних і вибіркового рубок, підготовчих і лісовідновлювальних робіт із застосуванням мультифункціональної машини.

Використання такої машини дає змогу підвищити рівномірність завантаження лісової техніки протягом року, скоротити кількість вузькоспеціалізованих одиниць парку та знизити питомі виробничі витрати.

Значущість дослідження полягає у створенні наукового підґрунтя для впровадження мультифункціональних лісових машин у вітчизняну лісогосподарську практику як економічно й екологічно обґрунтованої альтернативи традиційній вузькоспеціалізованій техніці.

Ключові слова: мультифункціональна машина, екскаватор, змінне технологічне обладнання, лісозаготівля, лісовідтворення, лісосічні роботи.

ОРГАНІЗАЦІЙНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ
ЗАСАДИ ВИКОРИСТАННЯ
МУЛЬТИФУНКЦІОНАЛЬНОЇ МАШИНИ В
ЛІСОВОМУ ГОСПОДАРСТВІ © 2026 by
Білоус М. М., Виговський А. Ю. is licensed
under CC BY 4.0

Постановка

Трансформація сучасного лісового господарства потребує переходу до технологій, що забезпечують комплексне виконання виробничих операцій, ефективніше

проблеми.

використання ресурсів і підвищення економічної результативності підприємств. Особливої актуальності набуває проблема впровадження технічних рішень, здатних охопити широкий спектр лісогосподарських і лісозаготівельних



операцій без суттєвого збільшення виробничих витрат. Спеціалізовані лісозаготівельні машини характеризуються високою продуктивністю, проте їх значна вартість, складність конструкції та експлуатації істотно обмежують можливості застосування на підприємствах із невеликими обсягами виробництва. Додатково цю проблему загострюють зростання вартості трудових ресурсів і дефіцит кваліфікованого персоналу, через що комплексна механізація виробничих процесів стає одним із визначальних чинників економічної ефективності лісогосподарської діяльності.

Наразі рівень механізації лісогосподарських робіт в Україні залишається недостатнім: більшість технологічних операцій виконується із застосуванням бензомоторних пилок, мотокущорізів, тракторів загального призначення та іншої техніки, конструкція якої не повною мірою відповідає сучасним вимогам комплексної механізації. Це обмежує впровадження високопродуктивних технологічних схем і негативно впливає на ефективність використання матеріально-технічних ресурсів вітчизняних підприємств.

Перспективним шляхом розв'язання цієї проблеми є використання серійних колісних повноповоротних екскаваторів як універсальної базової машини, адаптованої до виконання різних технологічних операцій за допомогою змінного навісного обладнання – зокрема харвестерних захватно-зрізувальних пристроїв, а також засобів для підготовки ґрунту, висівання насіння, садіння лісових культур і очищення лісосік. Такий підхід дає змогу одній базовій машині виконувати кілька технологічних операцій без зміни шасі, що скорочує кількість проходів техніки, зменшує непродуктивні витрати часу та підвищує коефіцієнт використання машин протягом року.

Світовий досвід підтверджує доцільність цього напрямку: сформувалася стійка тенденція до створення універсальних технологічних платформ, у яких одна базова машина – здебільшого на екскаваторному або форвардерному шасі – виконує різні виробничі операції залежно від встановленого навісного обладнання. Такий підхід забезпечує більш рівномірне завантаження дорогої техніки протягом календарного року та сприяє зниженню питомих експлуатаційних витрат порівняно з парком вузькоспеціалізованих машин.

Отже, аналіз наявного стану механізації лісогосподарських робіт в Україні та тенденцій розвитку лісового машинобудування у світі свідчить про доцільність створення мультифункціональних технологічних комплексів на базі універсальних колісних, а в окремих випадках і гусеничних машин. Це дає

змогу сформувати єдину технічну платформу для виконання більшості лісогосподарських і лісозаготівельних операцій, підвищити рівень завантаження базової машини, оптимізувати структуру машинно-тракторного парку та забезпечити економічно обґрунтовану механізацію виробництва.

Крім фінансового аспекту, актуальність проблеми посилюється й екологічними вимогами до ведення лісового господарства: перехід від суцільних до вибіркових і поступових рубок та розширення практики неперервного лісівництва передбачають більш дбайливе поводження з ґрунтом і підростом, чого складно досягти важкою вузькоспеціалізованою технікою, розрахованою виключно на суцільнолісосічну технологію. Водночас скорочення періоду стійкого промерзання ґрунту та подовження періоду бездоріжжя обмежують можливості традиційних гусеничних і колісних лісозаготівельних машин, посилюючи потребу в гнучких технічних рішеннях, здатних ефективно працювати в різних ґрунтово-кліматичних умовах протягом усього року. За таких обставин мультифункціональна машина на базі серійного колісного екскаватора, доповнена набором змінного технологічного обладнання, розглядається як спосіб одночасного розв'язання економічної, екологічної та організаційної складових проблеми модернізації вітчизняного лісового машинокористування. Водночас в Україні питання обґрунтованого вибору базової машини, конструктивної адаптації та організації робіт таких мультифункціональних агрегатів залишаються практично не дослідженими, що й зумовлює актуальність цієї роботи.

Аналіз останніх досліджень. У світовій практиці для лісосадильних робіт як базова машина найчастіше застосовується екскаватор [3, 5]. Стріла базової машини повинна бути досить міцною для створення мікропідвищень, а робочий просвіт і ширина колії машини – відповідати необхідним вимогам для виконання робіт. Лісосадильний пристрій встановлюється на рукояті маніпулятора базової машини. З його допомогою виконуються як обробіток ґрунту, так і садіння сіяньців. Нині на ринку представлені лісосадильні пристрої таких виробників: M-Planter та Risutec (Фінляндія), а також Bracke Forest Ab (Швеція) [5, 6, 8]. Компанія M-Planter випускає такі пристрої не лише з однією, а й із двома садильними головками, а підвищення продуктивності перезарядження садильних головок сіянцями забезпечується завдяки застосуванню карусельних накопичувальних пристроїв [2]. Сіянци перевозяться у стелажах, які встановлені на рамі базової машини, в обсязі, що необхідний для забезпечення роботи протягом однієї зміни



або одного робочого дня. Порівняльні техніко-економічні дослідження показують, що продуктивність і собівартість роботи лісосадильних пристроїв типу Bracke та M-Planter суттєво залежать від характеристик ділянки та інтенсивності підготовки ґрунту, проте обидва типи пристроїв дозволяють суттєво скоротити витрати порівняно з ручним садінням [6, 8].

Окремий напрям досліджень присвячений застосуванню екскаваторів як базових машин безпосередньо для лісозаготівлі. Показано, що використання екскаваторної техніки, обладнаної відповідними захватно-зрізувальними пристроями, дозволяє підвищити ефективність заготівлі енергетичної та балансової деревини порівняно зі спеціалізованими лісозаготівельними машинами [7], а також забезпечує виконання лісотехнічної меліорації трелювальних волоків у складних гірських умовах [1]. Ці результати підтверджують технічну придатність серійних колісних екскаваторів для виконання широкого кола лісосічних операцій, що є одним із базових припущень цього дослідження.

Порівняння ходових систем лісових машин також було предметом наукових досліджень. Встановлено, що гусеничні машини мають переваги за прохідністю та питомим тиском на ґрунт, тоді як колісні забезпечують вищу мобільність і меншу вартість технічного обслуговування [13]. Результати досліджень маневреності колісних лісових машин у складних геотехнічних умовах [11, 14] та напрямів удосконалення гусеничних лісових машин [12] свідчать про відсутність однозначної переваги одного типу ходової частини над іншими, що обґрунтовує доцільність вибору колісного шасі для мультифункціональної машини саме для умов рівнинних і горбистих лісових масивів України.

Важливим аспектом експлуатації важкої лісозаготівельної техніки є її вплив на лісові ґрунти. Встановлено, що багаторазові проходи важких машин спричиняють ущільнення ґрунту та порушення його структури, що негативно впливає на подальший ріст насаджень [10]. Це підкреслює необхідність обґрунтованого вибору маси базової машини та схем руху технологічними коридорами. Водночас дослідження продуктивності модернізованих сільськогосподарських тракторів на трелюванні деревини [9] демонструють, що адаптація універсальної базової техніки під лісгосподарські потреби є поширеною світовою практикою, аналогічною запропонованому в цій роботі підходу з використанням колісного екскаватора.

Наведений огляд зарубіжного досвіду свідчить про стійку тенденцію до концентрації

функцій різних технологічних машин на одній базовій одиниці, що особливо актуально в умовах вибіркового лісокористування та неперервного лісівництва [4]. Водночас в Україні подібні системи комплексної механізації залишаються маловивченими та практично не апробованими, що зумовлює необхідність системного дослідження технічних і організаційних передумов їх впровадження у вітчизняну лісгосподарську практику.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є обґрунтувати доцільність застосування мультифункціональної маніпуляторної машини на базі колісного екскаватора як універсальної основи для комплексної механізації лісгосподарських і лісозаготівельних робіт для підвищення ефективності використання техніки, зниження виробничих витрат та покращення якості виконання технологічних операцій.

Для досягнення поставленої мети вирішується декілька завдань, зокрема: проаналізувати світовий досвід застосування маніпуляторних машин і змінного технологічного обладнання в лісовому господарстві; обґрунтувати раціональний масовий діапазон базових машин для умов лісового масиву; дослідити склад і функціональні можливості комплексу змінного обладнання; розробити методику прогнозування балансу робочого часу мультифункціональної машини на основі поквартально-блокового методу організації робіт; оцінити економічну ефективність використання мультифункціональної машини порівняно з вузькоспеціалізованими аналогами.

Питання обґрунтування критеріїв вибору базової машини, підбору змінного технологічного обладнання та визначення переліку конструктивних адаптацій залишаються недостатньо висвітленими у вітчизняній науково-технічній літературі.

Об'єктами дослідження є мультифункціональні маніпуляторні машини на базі колісних екскаваторів масою 11-17 т на прикладі моделей: JCB Hydradig 110W, JCB JS145W та Hyundai HW140, а також комплект змінного технологічного обладнання до них. Саме цей масовий діапазон забезпечує оптимальне співвідношення між стійкістю машини під час піднімання деревини та її мобільністю в умовах лісового масиву. Вони характеризуються потужною гідравлічною системою, повноповоротною платформою та достатнім запасом тягового зусилля, що принципово відповідає технічним вимогам до базової машини для мультифункціонального комплексу.

Таким чином, мультифункціональна машина разом із комплектом змінного навісного обладнання може охопити практично весь

виробничий цикл лісгосподарського підприємства – від заготівлі деревини та догляду за насадженнями до лісовідновлення.

Основні види змінного обладнання дозволяють проводити практично весь комплекс лісгосподарських та лісозаготівельних робіт, зокрема (рис. 1):

- харвестерний агрегат або захватно-зрізувальний пристрій (ЗЗП) забезпечують роботу базової машини як харвестера або звалювально-пакетувальної машини;

- дискова фреза з висівачим апаратом здійснює обробіток ґрунту, поєднуючи це з висіванням (підсіванням) насіння;

- лісосадильний пристрій револьверного типу використовується для створення лісових культур шляхом садіння сіянців із закритою кореневою системою (ЗКС);

- пиляльний диск із форсунками призначений для проведення освітлення та проріджування у молодниках, а також для обробітку насаджень препаратами від шкідників лісу;

- екскаваторний ківш використовується під час будівництва лісових доріг, проїздів та навантажувальних пунктів, локального водовідведення та інших земляних робіт;

- валиковий подрібнювач призначений для подрібнення порубкових залишків;

- грейферний захват забезпечує навантаження заготовлених круглих лісових матеріалів.

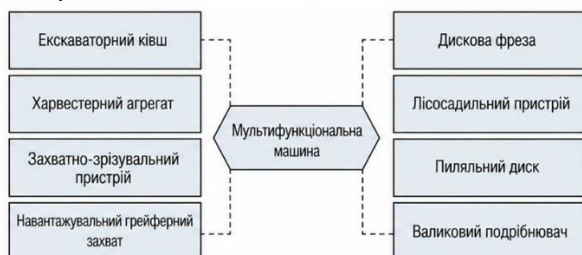


Рис. 1. Додаткове змінне технологічне обладнання для мультифункціональної машини

З огляду на широкий спектр виконуваних технологічних операцій виникає необхідність в обґрунтуванні системи організації робіт, яка б дозволила максимально завантажити машину впродовж календарного року та мінімізувати питомі витрати на її утримання.

Виклад основного матеріалу. Однією з ефективних форм інтенсифікації лісгосподарських робіт у комплексі з лісопромисловим виробництвом, що реалізуються підприємствами, може бути поквартальний або поквартально-блоковий метод. Він передбачає щорічне планування робіт у межах окремих кварталів чи їх групи, що дозволяє концентрувати трудові та матеріальні ресурси і тим самим збільшувати коефіцієнт використання

обладнання за рахунок зниження кількості перебазувань.

Під час планування технології розробки лісосіки необхідно максимально враховувати наявну транспортну інфраструктуру, зокрема лісові дороги, проїзди та навантажувальні пункти, дотримуючись принципу мінімізації витрат на спорудження нових об'єктів. Крім того, під час планування робіт слід забезпечити ефективну заготівлю ліквідної деревини, одночасно враховуючи витрати, пов'язані з відновленням лісових насаджень і проведенням подальших лісгосподарських доглядових заходів.

Методику визначення загальних виробничих витрат на проведення вказаних робіт на ділянці, кварталі чи блоці можна навести у вигляді формули:

$$C_{\text{заг}}^i = C_3 I_3 + B_3 I_3 + C_4 I_4 + B_4 I_4 + C_5 I_5 + B_5 I_5 + C_6 n_6 + C_{m^3} q_i + C_{\text{лв}} + C_d \Rightarrow \min \quad (1)$$

де $C_{\text{заг}}^i$ – загальні виробничі витрати на виконання робіт у кварталі (блоці кварталів); C_3 – витрати на будівництво 1 км дороги III типу (вуса); B_3 – витрати на річне утримання 1 км вуса; I_3 – сумарна довжина доріг III типу (вуса) у кварталі (блоці); C_4 – витрати на будівництво 1 км магістрального трельовального волока; B_4 – витрати на утримання 1 км магістрального трельовального волока; I_4 – сумарна довжина магістральних трельовальних волоків; C_5 – витрати на будівництво 1 км пасічного трельовального волока; B_5 – витрати на утримання 1 км пасічного трельовального волока; I_5 – сумарна довжина пасічних трельовальних волоків; C_6 – витрати на будівництво навантажувального пункту; n_6 – кількість навантажувальних пунктів у блоці; C_{m^3} – витрати на заготівлю 1 м³ деревини; q_i – сумарний запас ліквідної деревини, відведеної в рубку; $C_{\text{лв}}$ – витрати на заходи з лісовідтворення; C_d – витрати на заходи з догляду і формування лісових насаджень.

Прогнозування балансу робочого часу мультифункціональної машини визначається тривалістю запланованих у кварталі (блоці кварталів) лісгосподарських заходів:

$$T_{\text{заг}} = T_{\text{лд}} + T_{\text{рпк}} + T_{\text{рфон}} + T_{\text{ол}} + T_{\text{лв}}, \quad (2)$$

$T_{\text{лд}}$ – витрати часу машини на виконання робіт із формування мережі лісових доріг (лісовозних вусів); $T_{\text{рпк}}$ – витрати часу виконання рубок головного користування в стиглих і перестійних деревостанах; $T_{\text{рфон}}$ – витрати часу на виконання рубок формування та оздоровлення насаджень; $T_{\text{ол}}$ – витрати часу на очищення місць рубок (мульчування порубкових залишків); $T_{\text{лв}}$ – витрати часу на проведення робіт із відтворення лісових насаджень (підсівання лісового насіння, садіння культур із відкритою і закритою кореневою системою).

На лісозаготівельних роботах система машин включає базову машину з харвестерною голівкою або ЗЗП та трельовальний трактор. Харвестерний агрегат забезпечує звалювання, розкрязування хлестів та обрізання гілок (рис. 2).



**Рис. 2. Розкрязування хлестів
мультифункціональною машиною**

Визначальним критерієм під час підбору харвестерного агрегату (головки) або захватно-зрізувального пристрою (ЗЗП) є відповідність їх маси та гідравлічних вимог технічним параметрам базового екскаватора. Загальноприйнятим у галузевій практиці правилом є обмеження маси ЗЗП на рівні не більше 10% від експлуатаційної маси базової машини. Гідравлічна система екскаватора при цьому повинна забезпечувати достатній потік робочої рідини та тиск відповідно до вимог виробника.

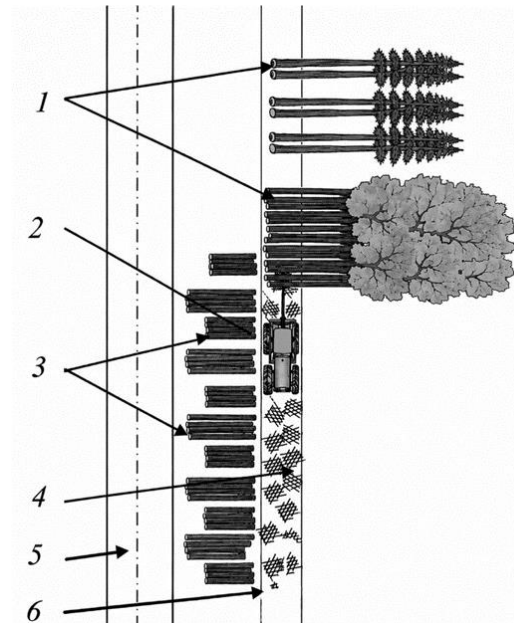
Також, для забезпечення надійної та безпечної роботи машини в умовах лісового масиву необхідне виконання конструктивної адаптації. Зокрема, лісове середовище вимагає захисту кабіни оператора від ударів гілок та падіння уламків дерев: для цього слід встановити спеціальні захисні конструкції з армованого скла. Ходова частина машини оснащується захисними елементами від пошкоджень пеньками, коренями та порубковими залишками.

Крім того, в кабіні оператора встановлюється спеціалізована система керування харвестерним агрегатом або ЗЗП (наприклад, Dasa або Motomit), яка дозволяє контролювати процес зрізання, обрізання гілок та розкрязування хлестів безпосередньо з робочого місця.

У стиглих і перестійних деревостанах суцільні рубки рекомендується проводити за стрічковою технологією, що дозволяє реалізовувати максимальну продуктивність лісозаготівельних машин із харвестерним агрегатом.

Мультифункціональна машина, що обладнана ЗЗП, може працювати і в режимі звальювально-пакетувального агрегату. Трелювання заготовленої деревини на верхній склад у вигляді дерев із кронами можна здійснювати чокерним або безчокерним трелювальним трактором.

Під час звальювання дерев бензомоторними пилками та хлистового трелювання деревини тракторами мультифункціональна машина може використовуватися на верхньому складі як процесор для розкрязування хлестів, а під час трелювання дерев з кронами – для обрізання гілок (рис. 3).



**Рис. 3. Технологічна схема заготівлі
деревини з використанням мультифункціональної
машини з харвестерним агрегатом, де 1 – пачки
дерев; 2 – харвестер; 3 – пачки сортиментів; 4 –
порубкові залишки; 5 – лісова дорога (вус); 6 –
технологічний коридор.**

У запропонованій технології попереднє підсортування дерев дозволить провести остаточне сортування лісоматеріалів на більшу кількість груп за допомогою навантажувально-штабелювального грейфера.

Концентрація всіх порубкових залишків на верхньому складі створює сприятливі умови для виробництва біопалива і зменшує захащеність лісосіки.

Під час проведення селективних чи вибіркового рубок доцільно застосовувати пасічні схеми. У такому випадку дерева, що підлягають вирубці, звальюються у напрямку волока бензомоторною пилою в вікна між деревами, що залишаються у насадженні. Для забезпечення досяжності вершин повалених машиною дерев у напрямку технологічного коридору ширина пасіки повинна бути меншою за подвійну довжину вільноту маніпулятора і середню висоту дерев на лісосіці.

При більшій ширині пасіки виникає необхідність у підтрелюванні зрубаних дерев у зону дії мультифункціональної машини зі встановленим харвестерним ЗЗП. На вибіркового рубках залежно від об'єму хлеста цього можна досягати за допомогою малогабаритних або мінітракторів, які обладнані лебідками і здатні працювати під наметом деревостану без прокладання додаткових технологічних коридорів (рис. 4).

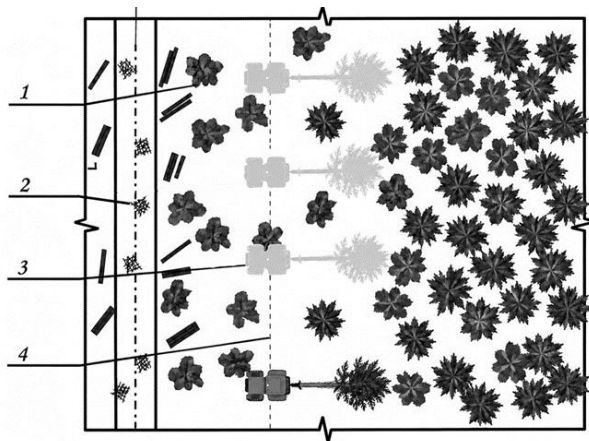


Рис. 4. Схема підтрельовування дерев із глибини пасіки, де 1 – дерева на пасіці; 2 – порубкові залишки; 3 – малогабаритний трелювальний трактор; 4 – межа робочої зони мультифункціональної машини (харвестера).

Під час виконання рубок догляду з вирубуванням дерев малого об'єму хлиста мультифункціональну машину в режимі харвестера рекомендується експлуатувати з використанням телескопічної рукояті, що збільшить загальну ширину пасіки.

У технологічному ланцюжку з використанням мультифункціональної машини малогабаритна техніка успішно застосовується і для підготовчих робіт на лісосіці. Вони включають прибирання тонкомірних, хворих, пошкоджених, сухостійних дерев і збирання бурелому (рис. 5).



Рис. 5. Трелювання хлистів за допомогою малогабаритного трактора Dongfeng 244 DHX з гідрозахватом PALMS C1

Попередня підготовка лісосіки та підтрельовування хлистів (дерев) у процесі її розробки за допомогою додаткового малогабаритного обладнання дозволяють знизити ступінь пошкодження компонентів насаджень, забезпечуючи краще збереження природного середовища.

Варто зазначити, що на лісозаготівельні роботи суттєво впливають і погодні умови та пора року. Значний обсяг лісозаготівельних робіт припадає на зимові місяці. В інший період роботи можливі лише на дренованих сухих та свіжих ґрунтах. У середньому простої лісозаготівельних машин, насамперед трелювальних, за погодними умовами складають близько 30%, однак наявність мультифункціональної машини з комплектом знімного обладнання дає можливість істотно підвищити ефективність використання дорогої техніки протягом календарного року.

Ступінь експлуатації базової машини вдається підвищити за рахунок її переорієнтації на лісгосподарські роботи, які виконуються в теплий період. Зокрема, посів і садіння деревних видів проводяться переважно у весняний період, тобто в момент зниження інтенсивності лісозаготівельних робіт у зв'язку з сезонними умовами і за відносно прогрітого й вологого ґрунту.

У найближчі роки прогнозується значне зростання обсягів лісовідтворення із застосуванням садивного матеріалу із ЗКС, що вимагатиме застосування сучасних високопродуктивних лісосадильних пристроїв. Під час механізованого садіння особливе значення мають висока якість сіянців та їх однакові розміри в кожній партії. Коренева система має бути неушкодженою і здоровою, а ґрунтовий шар із корінням досить щільним і здатним зберегти цілісність в умовах вібрації лісосадильної машини. Таким вимогам повністю відповідає посадковий матеріал із ЗКС.

Перевагою механізованого садіння є те, що всі роботи на об'єкті можна завершити за один прохід агрегату і сіянці завжди висаджуються в центрі мікропідвищень у свіжооброблений ґрунт, що забезпечує гарну приживлюваність (рис. 6). Також слід відзначити і стабільну якість робіт, оскільки під час висаджування сіянців лісосадильна машина притискає їх з однаковою силою. Успішна приживлюваність сіянців із ЗКС можлива і в процесі більш тривалої посадки в умовах, коли низька вологість ґрунту не забезпечує приживлюваність посадкового матеріалу з ВКС.



Рис. 6. Створення лісових культур за допомогою змінного навісного обладнання Bracke P11.A

Загальна кількість робочих годин є важливим фактором з точки зору комплексної

економічності експлуатації лісової техніки. З огляду на це використання додаткового обладнання на лісгосподарських роботах стає рентабельним вкладенням коштів для користувача навіть під час проведення невеликого обсягу додаткових робіт.

Вивчено питомі виробничі витрати на експлуатацію базової машини вартістю 125 тис. євро у процесі чотирьох варіантів її роботи: без додаткового обладнання та з ним у разі збільшення активного сезону на 1, 2 і 3 місяці порівняно з типовим 8-місячним циклом. Вартість змінного обладнання варіювалась у діапазоні 250-4000 тис. грн (табл. 1).

Таблиця 1

Годинні витрати на експлуатацію екскаватора з використанням додаткового змінного технологічного обладнання

Вартість додаткового обладнання, тис. грн	Витрати на експлуатацію мультифункціональної машини під час різних режимів роботи, грн·год ⁻¹			
	без додаткового обладнання	з додатковим обладнанням 1 місяць	з додатковим обладнанням 2 місяці	з додатковим обладнанням 3 місяці
250	4265	3975	3840	3645
1000	4265	4040	3900	3700
1750	4265	4110	3960	3765
2500	4265	4195	4035	3845
3250	4265	4295	4110	3925
4000	4265	4390	4180	4005

Як свідчать дослідження, використання змінного обладнання є економічно виправданим вже при подовженні сезону роботи машини на один місяць, а максимальний ефект досягається при тримісячному розширенні цього періоду.

Висновки. Проведені дослідження підтвердили доцільність використання мультифункціональної маніпуляторної машини як універсальної базової платформи для комплексної механізації лісгосподарських і лісозаготівельних робіт. Використання змінного технологічного обладнання суттєво розширює функціональні можливості базової машини, забезпечуючи виконання широкого спектра технологічних операцій у межах єдиної технічної системи та підвищуючи ефективність використання машинно-тракторного парку.

Запропонований поквартально-блоковий підхід до організації робіт і методика прогнозування завантаженості машини створюють передумови для раціональнішого планування виробничих процесів, скорочення непродуктивних витрат часу, підвищення рівня використання технічних ресурсів та оптимізації виробничих витрат. Отримані результати свідчать, що комплексне застосування мультифункціональної машини зі змінним обладнанням є економічно обґрунтованим і забезпечує підвищення

ефективності виконання лісгосподарських заходів.

Практична цінність дослідження полягає у можливості використання запропонованих організаційно-технологічних рішень під час проектування систем машин, планування лісгосподарських робіт, а також розроблення перспективних технологій комплексної механізації, спрямованих на підвищення продуктивності виробництва, ефективніше використання технічних засобів і вдосконалення процесів відтворення лісових насаджень.

Список використаних джерел

1. Коржов В. Л., Кудра В. С. Лісотехнічна меліорація трелювальних волоків в гірських лісах з використанням екскаватора. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2019. Вип. 18. С. 194-201. DOI: <https://doi.org/10.15421/411920>.
2. Ersson B. T., Bergsten U., Lindroos O. Reloading mechanized tree planting devices faster using a seedling tray carousel. *Silva Fennica*. 2014. Vol. 48, no. 2. Art. 1064. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.1064>.
3. Ersson B. T., Laine T., Saksa T. Mechanized tree planting in Sweden and Finland:



current state and key factors for future growth. *Forests*. 2018. Vol. 9, no. 7. Art. 370. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9070370>.

4. Ersson B. T., Manner J. et al. Forest operations during continuous cover forestry in the Nordics: the need for cost-efficient harvesting solutions like single-machine systems. *Silva Fennica*. 2025. Vol. 59. Art. 25044. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.25044>.

5. Laine T., Rantala J. Mechanized tree planting with an excavator-mounted M-Planter planting device. *International Journal of Forest Engineering*. 2013. Vol. 24, no. 3. P. 183-193. DOI: <https://doi.org/10.1080/14942119.2013.841396>.

6. Laine T., Saarinen V.-M. Comparative study of the Risutec Automatic Plant Container (APC) and Bracke planting devices. *Silva Fennica*. 2014. Vol. 48, no. 3. Art. 1161. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.1161>.

7. Palander T., Bergroth J., Kärhä K. Excavator technology for increasing the efficiency of energy wood and pulp wood harvesting. *Biomass and Bioenergy*. 2012. Vol. 40. P. 120-126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.02.010>.

8. Rantala J., Harstela P., Saarinen V.M., Tervo L. A techno-economic evaluation of Bracke and M-Planter tree planting devices. *Silva Fennica*. 2009. Vol. 43, no. 4. P. 659-667. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.215>.

9. Tas I., Akay A. Productivity Analysis of Modified Farm Tractors in Forwarding Industrial Wood Products. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2020. Вип. 20. С. 196-205. DOI: <https://doi.org/10.15421/412018>.

10. Cambi M., Certini G., Neri F., & Marchi E. The impact of heavy traffic on forest soils. *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 338. P. 124-138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.11.022>.

11. Vyhovskiy A., Baranovskiy V. Analysis of the operation of forest harvesting machines on slopes. *Technology, energy, agriculture transport*. Vol. 133 (2), P. 128-137. DOI: <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2026-2-14>.

12. Vyhovskiy A., Pankiv M. Research into promising directions for improving tracked forestry machines. *Vibrations in engineering and technology*. Vol. 120 (1), P. 84-94. DOI: <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2026-1-9>.

13. Ziesak M., Schmitt J. Tracked versus wheeled forest machines: a comparison. *Journal of Cleaner Production*. 2018 Vol. 172, P. 349-350. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.137>.

14. Shapiro V. Y., Grigor'ev I. V., Savchenko S. I., Tikhonov E. A., Revyako S. I., & Perfil'ev, P.N. The effect of maneuvering the propulsion of a wheeled forestry vehicle on its maneuverability in difficult geotechnical conditions. *Forestry Engineering Journal*. 2025. Vol. 15, no. 3, P. 228-244. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.3/15>.

References

1. Korzhov V. L., Kudra V. S. Lisotekhnichna melioratsiya trelyuval'nykh volokiv v hirs'kykh lisakh z vykorystannyam ekskavatora. *Naukovi pratsi Lisivnychoyi akademiyi nauk Ukrainy*. 2019. Vyp. 18. S. 194-201. DOI: <https://doi.org/10.15421/411920>.

2. Ersson B. T., Bergsten U., Lindroos O. Reloading mechanized tree planting devices faster using a seedling tray carousel. *Silva Fennica*. 2014. Vol. 48, no. 2. Art. 1064. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.1064>.

3. Ersson B. T., Laine T., Saksa T. Mechanized tree planting in Sweden and Finland: current state and key factors for future growth. *Forests*. 2018. Vol. 9, no. 7. Art. 370. DOI: <https://doi.org/10.3390/f9070370>.

4. Ersson B. T., Manner J. et al. Forest operations during continuous cover forestry in the Nordics: the need for cost-efficient harvesting solutions like single-machine systems. *Silva Fennica*. 2025. Vol. 59. Art. 25044. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.25044>.

5. Laine T., Rantala J. Mechanized tree planting with an excavator-mounted M-Planter planting device. *International Journal of Forest Engineering*. 2013. Vol. 24, no. 3. P. 183-193. DOI: <https://doi.org/10.1080/14942119.2013.841396>.

6. Laine T., Saarinen V.-M. Comparative study of the Risutec Automatic Plant Container (APC) and Bracke planting devices. *Silva Fennica*. 2014. Vol. 48, no. 3. Art. 1161. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.1161>.

7. Palander T., Bergroth J., Kärhä K. Excavator technology for increasing the efficiency of energy wood and pulp wood harvesting. *Biomass and Bioenergy*. 2012. Vol. 40. P. 120-126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.02.010>.

8. Rantala J., Harstela P., Saarinen V.M., Tervo L. A techno-economic evaluation of Bracke and M-Planter tree planting devices. *Silva Fennica*. 2009. Vol. 43, no. 4. P. 659-667. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.215>.

9. Tas I., Akay A. Productivity Analysis of Modified Farm Tractors in Forwarding Industrial Wood Products. *Naukovi pratsi Lisivnychoyi akademiyi nauk Ukrainy*. 2020. Vyp. 20. S. 196-205. DOI: <https://doi.org/10.15421/412018>.

10. Cambi M., Certini G., Neri F., & Marchi E. The impact of heavy traffic on forest soils. *Forest Ecology and Management*. 2015. Vol. 338. P. 124-

138.

DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.11.022>.

11. Vyhovskiy A., Baranovskiy V. Analysis of the operation of forest harvesting machines on slopes. *Technology, energy, agriculture transport*. Vol. 133 (2), P. 128-137. DOI: <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2026-2-14>.

12. Vyhovskiy A., Pankiv M. Research into promising directions for improving tracked forestry machines. *Vibrations in engineering and technology*. Vol. 120 (1), P. 84-94. DOI: <https://doi.org/10.37128/2306-8744-2026-1-9>.

13. Ziesak M., Schmitt J. Tracked versus wheeled forest machines: a comparison. *Journal of Cleaner Production*. 2018 Vol. 172, P. 349-350. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.11.137>.

Shapiro V. Y., Grigor'ev I. V., Savchenko S. I., Tikhonov E. A., Revyako S. I., & Perfil'ev, P.N. The effect of maneuvering the propulsion of a wheeled forestry vehicle on its maneuverability in difficult geotechnical conditions. *Forestry Engineering Journal*. 2025. Vol. 15, no. 3, P. 228-244. DOI: <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2025.3/15>

ORGANIZATIONAL AND TECHNOLOGICAL PRINCIPLES FOR THE USE OF MULTIFUNCTIONAL MACHINERY IN FORESTRY

The possibilities of increasing the efficiency of forestry and logging operations by using a multifunctional manipulator machine with replaceable technological equipment were considered. The possibility of improving technological processes in forestry and the growing

need for comprehensive mechanization of production operations and rational use of technical means during the calendar year was studied.

The feasibility of using a multifunctional machine as a universal technological basis for performing a complex of forestry and logging operations was substantiated, as well as the development of organizational and technological approaches to increasing the efficiency of its operation. Also, the current state of forestry mechanization was analyzed, the world experience in using universal manipulator machines was summarized, the possibilities of using replaceable technological equipment were studied, and approaches to organizing production processes within a block or group of adjacent blocks were proposed.

The composition and functional capabilities of a set of replaceable technological equipment were studied, and technological schemes for performing continuous and selective felling, preparatory and forest restoration works using such a machine were revealed.

The use of a multifunctional machine allows you to increase the uniformity of their loading of forest machinery throughout the year, reduce the number of highly specialized units of the fleet and reduce specific production costs.

The significance of the study lies in creating a scientific basis for the introduction of multifunctional forest machines into domestic forestry practice as an economically and environmentally sound alternative to traditional highly specialized equipment.

Keywords: multifunctional machine, excavator, replaceable technological equipment, logging, forest regeneration, logging operations.

Відомості про авторів

Білоус Максим Михайлович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент Національного університету біоресурсів і природокористування України, (вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна, 03041, e-mail: mbelous@nubip.edu.ua), <https://orcid.org/0009-0002-8372-6802>

Виговський Андрій Юрійович – кандидат технічних наук, доцент Національного університету біоресурсів і природокористування України, (вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна, 03041, e-mail: vygovsjkyj@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-6545-0430>

Bilous Maxym – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor at the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (15 Heroiv Oborony St., Kyiv, Ukraine, 03041, e-mail: mbelous@nubip.edu.ua), <https://orcid.org/0009-0002-8372-6802>

Vyhovskiy Andrii – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor at the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (15 Heroiv Oborony St., Kyiv, Ukraine, 03041, e-mail: vygovsjkyj@ukr.net), <https://orcid.org/0000-0001-6545-0430>

Стаття надійшла 19.07.2026

Стаття прийнята 03.08.2026

Опубліковано 12.10.2026