



Ю. І. Цимбалюк

Національний лісотехнічний університет України, м. Львів, Україна

ТЕХНОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ОСВОЄННЯ ЛІСОСІК ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МАЛОГАБАРИТНОЇ ТРЕЛЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

Тенденції ведення лісового господарства, наближеного до природного, потребують розроблення та впровадження відповідних технологій виконання лісгосподарських рубок. Попри значний поступ у наукових дослідженнях у цьому напрямі, з'ясовано, що в лісових господарствах досі практикують типові застарілі технології виконання рубок із прокладанням розгалуженої мережі довготривалих трелювальних шляхів та застосуванням найдоступнішої техніки для трелювання деревини, яка завдає значної шкоди, особливо під час виконання рубок формування й оздоровлення лісових насаджень, а також під час реалізації поступової та вибіркової систем рубок. Встановлено, що існує сучасна трелювальна техніка та малогабаритні механізовані транспортні засоби, які дають змогу реалізовувати найбільш екологічнобезпечні технології виконання рубок. Однією із таких технологій є освоєння площі лісового насадження у спосіб закладання широких пасік, понад 60 м, та істотним зменшенням загальної площі мережі довготривалих трелювальних шляхів. Для цього потрібно використовувати комплекс трелювальної техніки та малогабаритних механізованих, часто не спеціалізованих трелювальних засобів, які дають змогу трелювати лісоматеріали під наметом лісового насадження, не прокладаючи для цього спеціальних трелювальних шляхів. Такий напрям формування технології реалізації лісгосподарських рубок наведено в цій статті. Проведене технологічне обґрунтування широкого використання малих механізованих засобів, легких та середніх трелювальних машин, які дають змогу розвивати новий підхід до виконання лісосічних робіт. Подано практичні підходи до реалізації подібних технологій, які дають можливість забезпечити підвищення екологічної складової рубки, зменшення собівартості робіт та зростання продуктивності покритої лісом площі через зменшення площі трелювальних шляхів, таких як пасічні та магістральні трелювальні волоки, а також допоміжні технологічні коридори. Водночас це слугуватиме орієнтиром для оновлення в лісових господарствах парку трелювальної техніки та механізованих трелювальних засобів.

Ключові слова: лісгосподарська рубка; мініскідер; трелювальний засіб; трелювання; трелювальна система; трелювальний агрегат; мережа трелювальних шляхів.

Вступ / Introduction

Виконання лісгосподарських заходів, пов'язаних із вирубуванням певної кількості дерев на відведеній площі, пов'язане із втручанням тією чи іншою мірою в лісове середовище, що спричиняє різного роду негативні наслідки для останнього. Першочергово це стосується виконання різних видів рубок, що супроводжують весь період росту та розвитку лісового насадження аж до віку його стиглості. Саме тому головний акцент під час розроблення та реалізації технології виконання рубок потрібно робити на їх екологічності. У міру технічного прогресу та появи нової, як спеціалізованої так і не спеціалізованої техніки, яка придатна для застосування в лісовому господарстві, зокрема під час виконання різних рубок в лісових насадженнях, пропонують та практикують нові технології її ефективного використання. Першочергово це стосується операції трелювання деревини в межах лісосіки, так званого первинного транспортування.

Розвиваючи тему трелювання деревини, зокрема під час реалізації поступових та вибіркового систем рубок, а також доглядових рубань, приходимо до висновку про

необхідність широкого використання маневрової малогабаритної техніки, що може переміщуватися лісовим насадженням чи імпровізованими трелювальними шляхами. Це забезпечить можливість широкого впровадження та удосконалення відомих перспективних технологій, зокрема, ефективну реалізацію процесу освоєння лісосік широкими пасіками. Серед позитивних наслідків зазначеної технології потрібно виділити зниження собівартості заготівлі деревини, підвищення продуктивності лісів через зменшення площі трелювальних шляхів і витрат на їх будівництво та, звісно, підвищення екологічної складової таких лісгосподарських заходів. Менш габаритна спеціалізована трелювальна техніка та мінітрелювальні засоби підтвердили свою ефективність у плані істотного зменшення пошкодження як лісових ґрунтів, так і дерев на лісовій площі, а розвиток технологій їх ефективного застосування сприятиме подальшій екологізації процесу.

Об'єкт дослідження – освоєння лісосік із застосуванням малогабаритної трелювальної техніки.

Предмет дослідження – технологія трелювання (первинного транспортування) деревини в рівнинних

Інформація про автора:

Цимбалюк Юрій Іванович, канд. техн. наук, доцент, кафедра лісопромислового виробництва та лісових доріг.

Email: yu.tsybalyuk@nltu.edu.ua; <https://orcid.org/0000-0003-4839-0944>

Цитування за ДСТУ: Цимбалюк Ю. І. Технологічні особливості освоєння лісосік із застосуванням малогабаритної трелювальної техніки. Науковий вісник НЛТУ України. 2025, т. 35, № 4. С. 36–42.

Citation APA: Tsybalyuk, Yu. I. (2025). Technological aspects of the development of felling areas using small-sized skidding equipment. *Scientific Bulletin of UNFU*, 35(4), 36–42. <https://doi.org/10.36930/40350404>

умовах з лісових ділянок, що базується на використанні малогабаритної техніки та мінітрелювальних засобів.

Мета роботи – розробити варіанти освоєння лісових ділянок із застосуванням малогабаритної трелювальної техніки та мінітрелювальних засобів, що дасть змогу вдосконалити технологію виконання рубок деревини в рівнинних умовах.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

- виконати загальний аналіз та оцінювання стану технічного забезпечення операції трелювання деревини в рівнинних умовах та технологій, що реалізуються в лісових господарствах для внесення нових техніко-технологічних пропозицій, які дають змогу підвищити рівень механізації лісогосподарських рубок та екологічність процесу;
- визначити реальні шляхи вдосконалення операції трелювання деревини в рівнинних лісах для підвищення ефективності та екологічності цієї операції, спираючись на нові зразки трелювальної техніки та технічні засоби, які володіють кращими технологічними можливостями;
- запропонувати варіанти технології трелювання деревини під час освоєння ділянок лісу, відведених для рубань, що ґрунтуються на широкому використанні малогабаритної техніки та мінітрелювальних засобів, які матимуть перспективу практичної реалізації в лісових господарствах.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Продуктивність трелювальної техніки безпосередньо пов'язана з витратами часу на часткові робочі операції, сумарна тривалість яких відображатиме тривалість одного повного робочого циклу трелювальної машини. Цю тематику висвітлено у роботі [8], де встановлено об'єктивні витрати часу на виконання часткових робочих операцій трелювальних машин. З'ясовано, що на продуктивність трелювальних машин, зокрема чокерних та чомерно-грейферних, впливають такі виробничі чинники, як відстань трелювання, об'єм за один рейс трелюваної деревини та кількість лісоматеріалів, які припадають на рейсовий об'єм деревини. Встановлено, що вплив кожного із зазначених чинників різний для кожного типу трелювальних машин. Однак у роботі не відображено конкретної технології використання трелювальних машин чи освоєння лісосіки, на основі чого можна припустити, що дослідження виконували для класичної технології застосування трелювальної техніки з використанням прокладених на площі трелювальних шляхів.

Під час трелювання деревини із застосуванням трелювальних машин, першочергово негативному впливу піддається опорна поверхня руху, а саме лісові ґрунти. Унаслідок кількарязового проходження трелювальної машини, утворюються колії та відбувається ущільнення ґрунту [7]. Було досліджено зміни щільності ґрунту та руйнування ґрунту у спосіб утворення колії на трелювальному шляху, який розміщувався на схилі. При цьому встановлено, що трелювання схилом вниз спричиняє менше ущільнення ґрунтової поверхні, ніж трелювання схилом вгору. На трелювальному шляху відбувається ущільнення ґрунту як безпосередньо на утворених коліях руху трелювальної машини, так і між коліями, хоча ступінь ущільнення є різним.

У роботі [3] здійснено порівняльне дослідження зміни пористості ґрунту на шляху руху трелювальних машин із різними типами ходових частин – з гусеничною та колісною, а також із врахуванням двох різних умов вологості ґрунту. При цьому встановлено, що після першого проїзду пористість ґрунту практично не змінюва-

лася. Зміни відбувалися вже після четвертого проїзду трелювальної машини в одному й тому ж місці. Водночас, обидві машини, як з колісною ходовою частиною, так і гусеничною, призводили приблизно до однакових змін ґрунтової поверхні, незважаючи на те, що колісні машини сприяли глибшому колієутворенню. Однак, колісна машина призводила до більшого руйнування вологого ґрунту порівняно із гусеничною, хоча мала меншу масу.

Під час трелювання деревини негативний вплив процесу, головню, проявляється у пошкодженні ґрунтової поверхні та дерев, які залишаються на площі, зокрема під час виконання вибірових та поступових рубок. Дослідження, здійснені у роботі [10], показали, що під час традиційної лісозаготівлі пошкоджується близько 12-14 % залишених на площі дерев. Якщо застосовувати гусеничну трелювальну техніку, то це значення зростає до 20 %. Порухення ґрунту на площі, під час реалізації суцільної системи рубки, становили 58 %, а на ділянках де виконувалося прорідження лісового насадження цей показник становив 42 %. Також дослідженнями встановлено, що рубки прорідження не призводять до збільшення пошкодження дерев, однак сприяють меншому руйнуванню ґрунту.

У роботі [1] наведено результати оцінювання впливу трелювання деревини колісними чокерними тракторами на залишені на площі дерева під час виконання вибірових рубок. Дослідження здійснювали в насадженнях, де проводили рубки низької, середньої та високої інтенсивностей. Найбільшу частку пошкоджених дерев виявлено під час виконання вибірової рубки високої інтенсивності. При цьому найбільше пошкоджених дерев було біля трелювального шляху. Для максимального збереження залишених на площі дерев, автор пропонує вирубувати не більше п'яти дерев на одному гектарі площі лісового насадження.

Проаналізувавши останні дослідження та публікації, з'ясовано, що під час дослідження показників ефективності операції трелювання, чи дослідження негативних наслідків цього процесу або інших чинників, за основу брали системи машин, типи машин, лісівничі аспекти, але не висвітлювали загалом технологію виконання робіт, яка має істотний вплив на всі згадані вище проблемні моменти трелювання.

Матеріали та методи дослідження. У роботі використано системний підхід до аналізу та дослідження порушеної проблеми, що ґрунтується на практичному досвіді роботи лісогосподарських підприємств, результатах досліджень публікацій у вітчизняних і міжнародних фахових виданнях та концепції розвитку техніки і механізованих технічних засобів для трелювання деревини.

Результати дослідження та їх обговорення / Research results and their discussion

Трелювання деревини спеціалізованими машинами залишається в пріоритеті, що підтверджують нові дослідження в цьому напрямі [10, 1] та поява щораз нових механізованих трелювальних засобів. При цьому, зменшення загальної площі трелювальних шляхів на лісовій ділянці, для роботи такої техніки, істотно сприяє зростанню об'єму деревини, яку можна отримати з одиниці площі та призводить до зменшення витрат на будівництво й утримання зазначених шляхів, що позитивно позначається на загальній собівартості робіт, а відповідно на собівартості заготовленої деревини.

Водночас у лісових господарствах нашої країни, під час виконання різних лісогосподарських рубок, досі практикують застарілі технології їх реалізації. Використання на операції трелювання найдоступнішої техніки, першочергово тракторів загального та сільськогосподарського призначення, без відповідного трелювального обладнання, не дає змоги реалізовувати перспективні технології освоєння лісосік. Окрім цього, значні об'єми деревини трелюють з використанням коней, також застосовуючи при цьому зазвичай найпримітивніше обладнання, яке забезпечує лише можливість трелювання лісоматеріалів волоком, що має багато недоліків.

Першочергово, це пояснюють не тільки обмеженими фінансовими можливостями більшості господарств, але і браком інформації про ширші можливості нових зразків трелювальної техніки та засобів, що з'являються на ринку. Розробленню нових технологій освоєння лісосік, які ґрунтуються на використанні сучасних зразків трелювальної техніки, зокрема малогабаритної, сприяє обмеження щодо застосування суцільної системи рубки головного користування, особливо в гірських умовах. Натомість перехід на запровадження поступової та вибіркової систем рубок потребує удосконалення технології їх виконання, які ґрунтуються на використанні но-

вих зразків сучасної спеціалізованої техніки та малогабаритних транспортних засобів, які можуть використовуватися на операції трелювання деревини. Правильно підібрана система трелювальних машин та технологія їх використання дають змогу реалізовувати спосіб освоєння виділених в рубку ділянок лісу широкими пасіками. Така технологія забезпечує максимальне збереження лісового природного середовища, забезпечуючи краще відновлення лісу, хоча істотно обмежується рельєфними умовами.

Отже, технологія освоєння лісосіки широкими пасіками є однією із перспективних, зокрема для рівнинних умов, особливо під час виконання рубок формування та оздоровлення лісових насаджень. Сучасні механізовані засоби трелювання дають змогу істотно збільшувати розміри ділянки лісового насадження, відведеного в рубку, без істотного збільшення площі трелювальних шляхів. Цього можна досягти, широко використовуючи трелювальні засоби малої механізації, які здатні переміщуватися в завантаженому стані під наметом лісового насадження. Одну із технологічних схем реалізації застосування зазначених трелювальних механізмів подано на рис. 1.

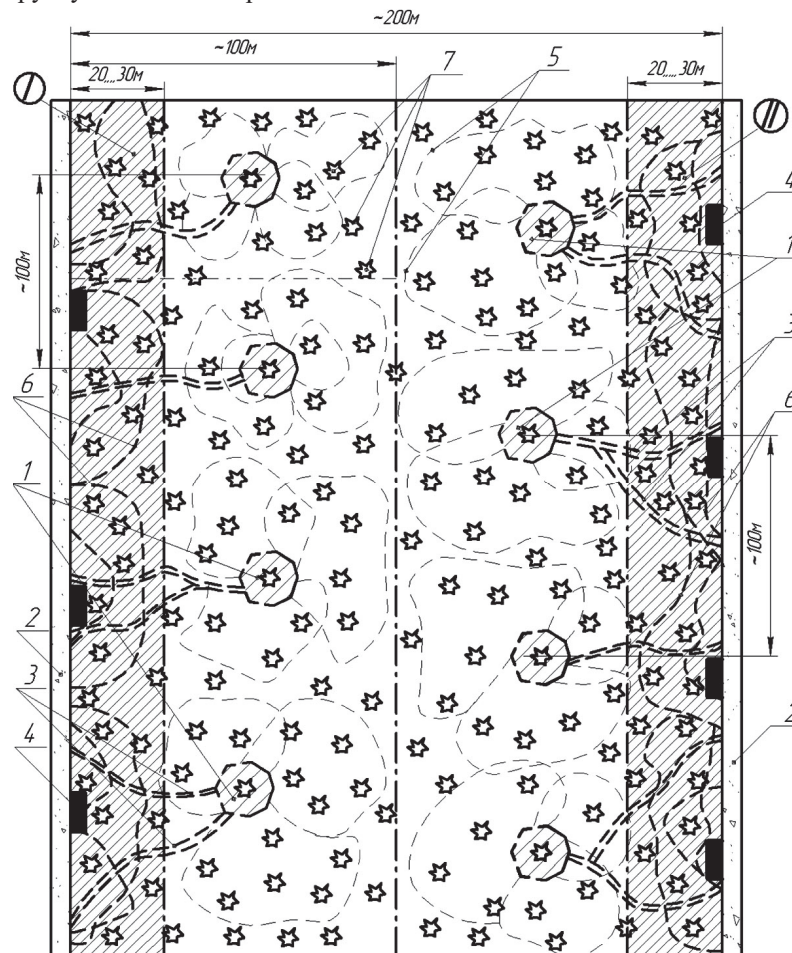


Рис. 1. Широкопасічна схема освоєння лісосіки з імпровізованими верхніми складами / Wide-band scheme for developing a logging area with improvised upper structures: 1 – імпровізований верхній склад / improvised upper structure; 2 – пасічний трелювальний волок (дорога) / logging area skidding drag (road); 3 – імпровізовані трелювальні коридори / improvised skidding corridors; 4 – проміжний склад / intermediate structure; 5 – шляхи переміщення мінітрелювальних засобів / paths for moving mini skidding equipment; 6 – шляхи руху легкого форвардера / paths for moving a light forwarder; 7 – дерева / trees

Наведена схема освоєння лісосіки буде актуальною як під час виконання рубок формування та оздоровлення лісових насаджень, так і під час виконання поступових чи вибіркового рубок головного користування, пер-

шочергово в рівнинних лісових насадженнях. ґрунтується на двохетапному трелюванні деревини з використанням на кожному етапі відповідної трелювальної техніки та малих механізованих трелювальних засобів.

Як допоміжний вид трелювання, частково може використовуватися гужове трелювання за умови застосування при цьому відповідного трелювального обладнання, яке забезпечує трелювання деревини в напівзавантаженому стані.

За технологічною схемою, наведеною на рис. 1, ширину пасіки можна збільшувати до 200 м, однак при цьому потрібно враховувати конкретні умови, зокрема відстань між деревами в лісовому насадженні, що, головне, залежить від виду рубки та породного складу. У разі невеликого за площею виділу, можна охоплювати весь виділ, використовуючи при цьому наявні лісові дороги або мережу доріг загального призначення.

Під час освоєння такої широкої пасіки, її пропонують розбивати на дві пів пасіки, ширина кожної із яких становитиме приблизно 100 м. Така відстань є доцільною для ефективного застосування як "ручних" механізованих трелювальних засобів, так і для трелювальної техніки легкого та середнього класів. Трелювання підготовленої деревини з площі кожної із пів пасік, потрібно розпочинати на смугах та ІІ, які межують із лісовою дорогою чи пасічним трелювальним волоком. Ширину такої смуги доцільно приймати рівною 1,5...2,0 від середньої висоти деревостану, що становитиме приблизно 20...30 м. Для цього можна використовувати легкі або середньої вантажопідйомності форвардери, залежно від виду рубки, габарити яких даватимуть можливість переміщуватися в насадженні. Більшість лісоматеріалів при цьому можна підбирати, використовуючи маніпулятор машини, навіть не заглиблюючись в лісове насадження. У такому разі, можна виконувати пряме вивезення деревини, не складаючи її на проміжних складах (майданчиках) 4.

У разі застосування малих механізованих трелювальних засобів, до прикладу мініскідерів "повідкового" типу або мінімастерів, деревину потрібно трелювати на проміжні майданчики 4 для тимчасового зберігання.

Освоєння насадження у глибині пасіки виконують із застосуванням імпровізованих верхніх складів 1, що розміщують приблизно посередині пів пасіки. Тобто на відстані близько 50 м від трелювального волоку чи дороги 2. Відстань між такими імпровізованими верхніми складами становить в межах 100 м з тим, щоб радіус роботи трелювальних засобів становив в середньому 50 м, що є прийнятним для мініскідерів з важільним керуванням та пішим переміщенням оператора. Загалом ця відстань сильно залежить від густоти лісового насадження, що, своєю чергою, впливає на відстань видимості в ньому.

Форму імпровізованого верхнього складу 1, як та його площу, потрібно вибирати такою, щоб забезпечити круговий рух форвардера, який задіюватиметься для вивезення деревини. Дерева на імпровізованому складі вирубуються не повністю, а тільки виконується прорідження для створення умов роботи задіяної техніки та засобів. Трелювання деревини з площі насадження, що тяжіє до конкретного імпровізованого верхнього складу 1, виконується малими механізованими трелювальними засобами, такими як мініскідер з важільним керуванням чи мінімастер. Деревину при цьому доцільно переміщувати у вигляді довгоміра з наступним розкряжуванням на сортименти на складі 1. Щоб підвищити ефективність процесу трелювання деревини на цьому етапі, потрібно виконувати спрямоване зрізання дерев так,

щоб відземки стовбурів розміщувалися в напрямку імпровізованого верхнього складу. Це забезпечить можливість трелювання стовбурів, не виконуючи їх додаткового розвороту до вибраного напрямку трелювання.

Для вивезення деревини з імпровізованого верхнього складу 1 потрібно залучати форвардери легкої чи середньої серій залежно від виду рубки, характеристики насадження та інших чинників. З цією метою прокладаються імпровізовані під'їзні трелювальні коридори 3, шляхом зрізання дерев на такій смузі, що забезпечить переміщення трелювальної машини (форвардера). При цьому, потрібно передбачати маневрування форвардера між деревами, що забезпечить потребу у вирубуванні меншої кількості дерев на трелювальному коридорі 3. Надалі може виконуватися пряме вивезення деревини або трелювальна машина може розвантажуватися в будь-якому місці, вибраному для концентрації деревини, включно із проміжними складами 4, кількість яких приймається залежно від умов.

Для виконання технологічних операцій, пов'язаних із зрізанням дерев та їх обробленням до отримання лісоматеріалів, пропонують застосовувати бензиномоторні пили. При цьому потрібно прагнути до комплексного виконання суміжних операцій одним інструментом. Тобто після зрізання дерева має виконуватися наступна операція зрізання гілок тим же інструментом.

Після виконання вікових доглядових рубань, відстань між деревами в лісовому насадженні змінюється в бік зростання. Аналогічні зміни відбуваються внаслідок виконання кожного прийому поступових та вибіркового рубок. Це сприяє спрощенню технології виконання лісгосподарських рубок у старших насадженнях, дозволяючи застосовувати легкі та середні форвардери для збирання деревини безпосередньо із площі лісосіки. Розкряжування стовбурів у цьому разі доцільно виконувати в місці зрізання дерева, не створюючи імпровізованих верхніх складів (рис. 2). Частка трелювання деревини та середня відстань роботи мініскідерів при цьому істотно зменшуються, а інтенсивність роботи форвардера зростає. Форвардер може працювати, залежно від умов, у режимі збирання-завантаження лісоматеріалів, переміщуючись безпосередньо по всій площі з наближенням до кожного зрізаного та розкряжованого стовбура. Отже, відстань його переїздів буде невеликою з великою кількістю робочих стоянок, що сильно впливатиме на його продуктивність.

Для підвищення продуктивності форвардера, пропонують використовувати мініскідери або інші малі механізовані трелювальні засоби чи гужовий транспорт для формування пачок лісоматеріалів 6 (див. рис. 2) з найближчих розкряжованих стовбурів. Робочий радіус роботи мініскідера при цьому становитиме в діапазоні 30...35 м. Залежно від умов та інтенсивності вирубування дерев на площі, кількість та об'єм сформованих пачок лісоматеріалів змінюватимуться.

Отже, для повного завантаження форвардера, кількість робочих стоянок скоротиться в рази, хоча певна кількість лісоматеріалів може підбиратися маніпулятором машини безпосередньо на площі. При цьому може виконуватися пряме вивезення лісоматеріалів або їх переміщення до проміжних складів біля автомобільної дороги.

Запропоновані технології виконання лісгосподарських рубок першочергово рекомендовано для реалізації в рівнинних лісах з добре дренованими ґрунта-

ми. Склад та чисельність комплексної бригади при цьому може змінюватися в широкому діапазоні з урахуванням розрахункової продуктивності певного трелювального механізму в певних умовах. Однак при цьому має бути робоча ланка для зрізання дерев та їх оброблення, робоча ланка для виконання першого етапу тре-

лювання деревини із застосуванням малих самохідних трелювальних засобів та трелювальна ланка чи тільки оператор для трелювання сформованих пачок лісоматеріалів у насадженні чи на імпровізованих верхніх складах із застосуванням форвардера чи іншої подібної техніки (другий етап трелювання).

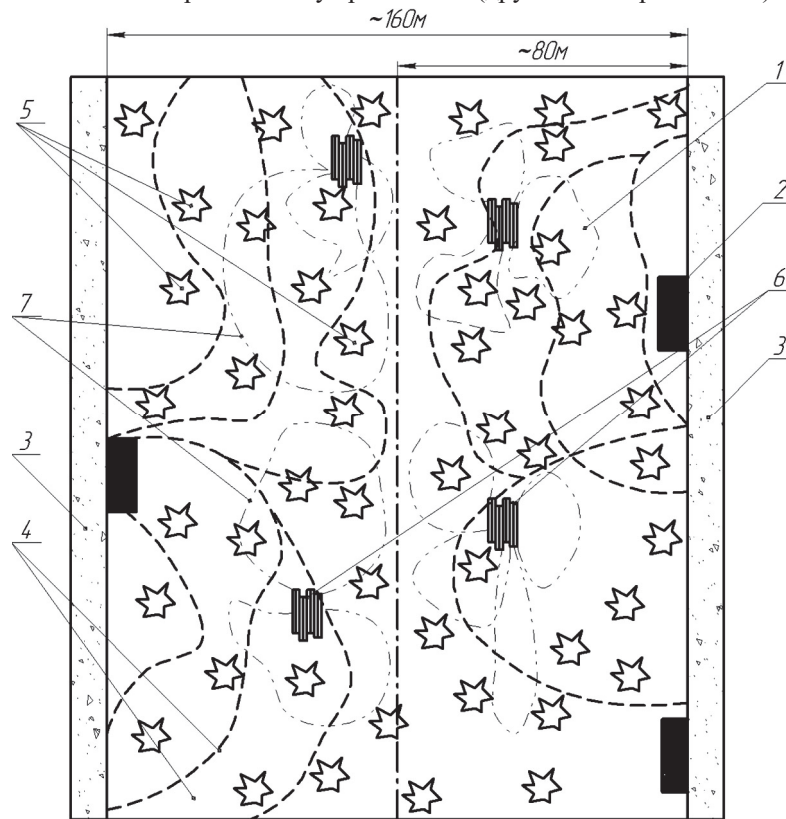


Рис. 2. Широкопасічна схема освоєння лісосіки без імпровізованих верхніх складів / Wide-band scheme of development of a logging area without improvised upper warehouses: 1 – пасіка / apiary; 2 – проміжний склад / intermediate warehouse; 3 – пасічний трелювальний волок (дорога) / logging area skidding drag (road); 4 – шляхи руху легкого форвардера / light forwarder movement paths; 5 – дерева / trees; 6 – пакети лісоматеріалів / timber packages; 7 – шляхи переміщення мінітрелювальних засобів / paths for moving mini skidding equipment

Обговорення результатів дослідження. У роботі [2] було визначено загальну продуктивність та витрати на заготівлю деревини. У ролі технологічного обладнання трелювальних засобів, що використовувалися в дослідженні, було прийнято лебідку та грейфер. Дослідження виконували у плантаційних насадженнях для визначення доцільності застосування сільськогосподарських тракторів у дрібномасштабних лісових господарствах. Встановлено, що на продуктивність трелювальної машини найбільший вплив мають відстань трелювання деревини та об'єм деревини на один рейс. Підтверджено доцільність застосування сільськогосподарських тракторів у дрібномасштабних лісових господарствах, а для підвищення ефективності їх роботи доцільно будувати трелювальні шляхи. Результати дослідження рекомендовано використовувати для встановлення нормативних ставок, а також під час проектування та раціоналізації робіт.

Робота [9] стосується економічної доцільності заготівлі деревини, яку отримують внаслідок виконання прорідження насаджень. Метою цього дослідження було оцінювання частоти виконання лісокультурних заходів та витрат на заготівлю деревини під час їх виконання, а також створення типової системи виконання робіт. У ролі дослідних об'єктів було використано три різні ділянки, на яких виконувалися прорідження за останні

тридцять років з різним ступенем інтенсивності. Дослідники створили модель дослідження продуктивності для моторно-ручного зрізування дерев та трелювання деревини колісними сільськогосподарськими тракторами, обладнаними лебідками, що дає змогу виконувати дослідження руху в часі. Отримані результати підтверджують економічну доцільність заготівлі деревини під час виконання прорідження насаджень деревостанів, коли зрізаються дерева відносно невеликого діаметра.

Тематика роботи [6] стосується основних методів заготівлі деревини у світі. Для аналізу приймали річні об'єми промислової лісозаготівлі у світі та аналізували способи та методи її заготівлі. Для кількісного оцінювання впливу окремих потенційних змінних, дані піддавалися лінійному регресійному аналізу. Було зібрано дані про об'єми промислової лісозаготівлі деревини у різних країнах та якими методами виконувалася ця заготівля. Встановлено, що висока частка гірського рельєфу істотно впливає на зниження рівня механізації робіт, пов'язаних із заготівлею деревини. Отримані в роботі моделі дають змогу прогнозувати зростання чи зменшення об'ємів заготовленої деревини певним методом з прив'язкою до конкретної країни. Наведено прогнози для таких великих країн, як Китай та Індія. Відповідно до отриманої моделі, країни, що мають менше 10 % гірських лісів від їх загальної площі, мають можли-

вість повністю механізувати лісозаготівельні роботи. Загалом понад дві третини світового об'єму деревини, яку заготовлюють за рік, виконують повністю механізованими методами.

У роботі [4] розкрито результати дослідження, метою якого було вивчення різних методів трелювання деревини та рівня прогресу механізації лісозаготівлі у такій країні, як Туреччина. Було визначено основні проблеми заготівлі деревини у цій країні та майбутні принципи та цілі. Незважаючи на наявність сучасної лісозаготівельної техніки, такої як харвестери, на трелюванні деревини використовується різноманітна техніка, включно із сільськогосподарськими тракторами. З 1998 по 2009 рр., загальний парк машин, що використовуються на лісозаготівлях, скоротився на 56,2 %. Загальний рівень механізації лісозаготівельних робіт у Туреччині становить 13 % порівняно із 80 % у розвинених країнах.

У роботі [11] виконано дослідження техніко-економічних особливостей трелювальних робіт. Для виконання дослідження було прийнято дві системи машин, де перша містила одного оператора трелювального трактора Welte 115/5L та двох операторів бензиномоторних пил, а друга складалася з одного оператора трелювального трактора та одного оператора бензиномоторної пили. Результати дослідження показують, що трелювальний трактор, обладнаний тросовим грейфером, може успішно використовуватися в малих лісозаготівельних бригадах, забезпечуючи достатню продуктивність та прийнятну собівартість заготовленої деревини.

У роботі [5] виконано дослідження процесу заготівлі деревини з використанням на операції трелювання сільськогосподарських тракторів. Розроблено нову схему розміщення трелювальних шляхів на площі, використовуючи лінійне програмування та можливість геоінформаційних систем, яку було впроваджено в дослідній зоні та протестовано за допомогою часового дослідження. Унаслідок застосування розробленої цифрової моделі розміщення трелювальних шляхів на практиці, спостережено підвищення продуктивності робочого часу на 16,84 % та запобігання втратам ґрунту на 44829 т/га.

Аналіз публікацій показує, що основними напрямками досліджень є екологічні особливості, зокрема операції трелювання деревини, такі як пошкодження ґрунтів, ростучих дерев та ін. Досліджено чинники, що впливають на ефективність роботи задіяних у технологічному процесі лісосічних робіт машин, а також здійснено дослідження, що стосуються оптимізації мережі трелювальних шляхів. При цьому не надають детальних технологічних пропозицій щодо удосконалення процесу трелювання з наведенням відповідних технологічних схем, які можна реалізовувати в умовах України.

Отже, внаслідок виконаної роботи можна сформулювати такі наукову новизну та практичну значущість результатів дослідження.

Наукова новизна отриманих результатів дослідження – отримала подальший розвиток методика побудови технологічного процесу основних лісосічних робіт з наближенням до природного ведення лісового господарства, що ґрунтується на врахуванні лісоексплуатаційних умов, характеристик лісового насадження та способі чи системі рубок.

Практична значущість результатів дослідження – запропоновану технологію освоєння лісосіки рекомендовано впроваджувати в рівнинних лісах під час вико-

нання рубок формування та оздоровлення лісових насаджень, а також для реалізації поступової та вибіркової систем рубок.

Висновки / Conclusions

Розроблено варіанти освоєння лісових ділянок із застосуванням малогабаритної трелювальної техніки та мінітрелювальних засобів, що дало змогу удосконалити технологію виконання рубок деревини в рівнинних умовах. За результатами проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Проаналізовано публікації та встановлено, що в більшості робіт автори приділяють увагу дослідженням, які стосуються негативних наслідків застосування певних типів трелювальної техніки, переважно трелювальних тракторів, та виконують дослідження впливу певних чинників на продуктивність системи лісосічних машин чи окремих машин, однак не пропонують конкретних технологій освоєння лісосік, які дають змогу максимально зберегти лісове середовище.
2. Встановлено, що завдяки появі нової трелювальної техніки та малогабаритних механізованих транспортних засобів, які успішно можна застосовувати під час трелювання деревини, з'явилися передумови розвитку нових технологій освоєння лісосік, які забезпечують більшій екологічний ефект порівняно з наявними типовими.
3. Показано технології реалізації лісогосподарських рубок, у спосіб закладання широких пасік із спрощеною мережею довготривалих трелювальних шляхів, як найбільш наближені до природного ведення лісового господарства та створюють передумови підвищення продуктивності лісових насаджень з одиниці покритої лісом площі.

References

1. Behjou, F. K. (2014). Effects of Wheeled Cable Skidding on Residual Trees in Selective Logging in Caspian Forests. *Small-scale Forestry*, 13, 367–376. <https://doi.org/10.1007/s11842-013-9259-x>
2. Cataldo, M. F., Proto, A. R., Macri, G., & Zimbalatti, G. (2020). Evaluation of different wood harvesting systems in typical Mediterranean small-scale forests: a Southern Italian case study. Collection: "4th Italian National Congress of Silviculture", Torino, 5-9 November 2018. *Annals of Silvicultural Research*, 45(1), 1–11. <https://doi.org/10.12899/asr1883>
3. D'Acqui, L. P., Certini, G., Cambi, M., & Marchi, E. (2020). Machinery impact on forest soil porosity. *Journal of Terramechanics*, 91, 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.tterra.2020.05.002>
4. Demir, M. (2010). Investigation of timber harvesting mechanization progress in Turkey. *African Journal of Biotechnology*, 9(11), 1628–1634. <https://doi.org/10.5897/AJB10.1691>
5. Gumus, S., & Turk, Y. (2016). A New Skid Trail Pattern Design for Farm Tractors Using Linear Programming and Geographical Information Systems. *Forests*, 7(12), article ID 306. <https://doi.org/10.3390/f7120306>
6. Lundbäck, M., Häggström, C., & Nordfjell, T. (2022). Worldwide trends in methods for harvesting and extracting industrial roundwood. *International Journal of Forest Engineering*, 32(3), 202–215. <https://doi.org/10.1080/14942119.2021.1906617>
7. Marra, E., Laschi, A., Fabiano, F., Foderi, C., Neri, F., Mastrolonardo, G., & Marchi, E. (2022). Impacts of wood extraction on soil: assessing rutting and soil compaction caused by skidding and forwarding by means of traditional and innovative methods. *European Journal of Forest Research*, 141, 71–86 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10342-021-01420-w>
8. Orlovský, L., Messingerová, V., & Danihelová, Z. (2020). Analysis of time efficiency of skidding technology based on the skidders. *Central European Forestry Journal*, 66(2020), 177–187. <https://doi.org/10.2478/forj-2020-0016>
9. Proto, A. R., Bernardini, V., Cataldo, M. F., & Zimbalatti, G. (2020). Whole tree system evaluation of thinning a pine plantation

- in southern Italy. *Annals of Silvicultural Research*, 45(1), 44–52. <https://doi.org/10.12899/asr-1849>
10. Spinelli, R., Magagnotti, N., & Nati, C. (2010). Benchmarking the impact of traditional small-scale logging systems used in Mediterranean forestry. *Forest Ecology and Management*, 260(11), 1997–2001. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.08.048>
11. Stoilov, S., Nichev, P., Angelov, G., Chavenetidou, M., & Tsiouras, P. A. (2023). Optimizing Forest Harvesting Efficiency: A Comparative Analysis of Small-Sized Logging Crews Using Cable-Grapple Skidders. *Sustainability*, 15(24), article ID 16749. <https://doi.org/10.3390/su152416749>

Yu. I. Tsymbalyuk

National Forestry University of Ukraine, Lviv, Ukraine

TECHNOLOGICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF FELLING AREAS USING SMALL-SIZED SKIDDING EQUIPMENT

Trends in close-to-nature forestry management require the development and implementation of appropriate techniques for performing forestry felling. Although significant progress in scientific research in this area, typical outdated techniques for performing felling are still practiced in forestry with creating of an extensive network of long-term skidding paths and the use of the most affordable equipment for skidding wood, which causes significant damage, especially during the formation and rehabilitation of forest stands and also the implementation of gradual and selective felling systems. At the same time, our research revealed that there is modern skidding equipment and small-sized mechanized vehicles that allow the implementation of the most environmentally safe felling techniques. One of such techniques is the development of the area of the forest stand by establishing wide logging areas, over 60 m and a significant reduction in the total area of the network of long-term skidding paths. Therefore, a complex of skidding equipment and small-sized mechanized vehicles, often non-specialized skidding equipment should be used, which allows skidding timber under the canopy of a forest stand without creating special skidding paths. This direction of forming the technique for implementing forestry felling is presented in this article. A technological justification for the widespread use of small mechanized equipment and light and medium skidding machines has been carried out, which allows developing a new approach to performing logging operations. Practical approaches to the implementation of such techniques are presented, which will ensure an increase in the ecological component of felling, a decrease in the cost of work and an increase in the productivity of the area covered by the forest due to a decrease in the area of skidding paths, such as logging areas and main skidding drags, as well as auxiliary technological corridors. At the same time, this will serve as a guideline for updating the fleet of skidding equipment and mechanized skidding equipment in forestry.

Keywords: forestry logging; mini skidder; skidding tool; skidding; skidding system; skidding unit; skidding network.