

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут інженерної механіки, автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технологій

Кафедра аграрної та лісової інженерії

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на тему

Удосконалення технології рубок головного користування у виробничих умовах Чернівецького надлісництва

Виконав: студент групи ЛІз-51
спеціальності
205 “Лісове господарство”
освітньо-професійної програми
“Лісова інженерія”
Онофрійчук М. М.

Керівник: Бакай Б. Я.

Рецензент: Степанишин В. М.
(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут інженерної механіки, автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Кафедра аграрної та лісової інженерії

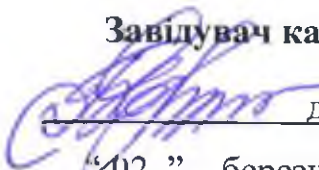
Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 205 Лісове господарство

Освітньо-професійна програма Лісова інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АЛІ

 доц. Бакай Б. Я.

"02" березня 2026 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Онофрійчуку Максиму Миколайовичу

1. Тема роботи I.1 Удосконалення технології рубок головного користування у виробничих умовах Чернівецького надлісництва

керівник роботи Бакай Борис Ярославович, канд. техн. наук,
затверджені наказом університету від "30" січня 2026 року № С-85

2. Термін подання студентом роботи 17 квітня 2026 р.

3. Вихідні дані до роботи приймаються з даних про виробничу діяльність підприємства з врахуванням річного (планового) об'єму заготівлі деревини 215,5 тис. м³, з яких 74,70 тис. м³ – рубки головного користування; запроєктувати удосконалення рубок на схилах крутизною 15-20 градусів в об'ємі 10,50 тис. м³; режим роботи підприємства – одна зміна; вивезення деревини виконується у сортиментах; розробити заходи з технічної рекультивзації трелювальних волоків.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1 Характеристика виробничої діяльності підприємства

2 Проектування та обґрунтування удосконаленої технології рубок головного користування







3 Обґрунтування заходів із рекультивації та екологічної стабілізації трелювальних волоків

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) _____

1 Технологія лісосічних робіт (схеми розроблення лісосік) (3 арк.)

2 Основні техніко-економічні показники виконання лісосічних робіт (1 арк.)

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Бакай Б. Я., завідувач кафедри	 01.03.2026	 16.03.2026
2	Бакай Б. Я., завідувач кафедри	 17.03.2026	 02.04.2026
3	Бакай Б. Я., завідувач кафедри	 03.04.2026	 18.04.2026

7. Дата видачі завдання 02.03.2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

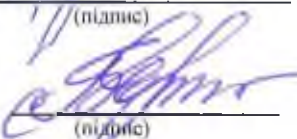
Ч. ч.	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Характеристика виробничої діяльності підприємства	01.03.2026-16.03.2026	
2	Проектування та обґрунтування удосконаленої технології рубок головного користування	17.03.2026-02.04.2026	
3	Обґрунтування заходів із рекультивації та екологічної стабілізації трелювальних волоків	03.04.2026-13.04.2026	
4	Формування розділів та оформлення кваліфікаційної роботи	14.04.2026-18.04.2026	

Студент _____


(підпис)

Онофрійчук М. М. _____

Керівник роботи _____


(підпис)

Бакай Б. Я. _____

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього рівня бакалавра: 98 с., 3 ч., 24 табл., 6 рис., 6 дод., 14 джерел.

Тема: Удосконалення технології рубок головного користування у виробничих умовах Чернівецького надлісництва.

ГІРСЬКІ ЛІСИ, ЗАГОТІВЛЯ ДЕРЕВИНИ, ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ПРОЦЕС, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, СТАЛЕ ЛІСОКОРИСТУВАННЯ, КАНАТНА ТРЕЛЮВАЛЬНА УСТАНОВКА, РУБКИ ГОЛОВНОГО КОРИСТУВАННЯ.

Об'єкт дослідження – технологічні процеси лісосічних робіт під час проведення рубок головного користування у гірських умовах.

Мета роботи – підвищення ефективності заготівлі деревини у гірських умовах шляхом удосконалення технології та технічних засобів з урахуванням екологічних та економічних вимог.

Методи дослідження – аналіз літературних джерел, спостереження, порівняльний аналіз, математичне моделювання продуктивності машин, оцінювання техніко-технологічних та екологічних показників.

На основі аналізу діяльності Чернівецького надлісництва обґрунтовано доцільність переходу від традиційного трелювання колісними тракторами до комбінованої технології з використанням канатної установки.

Розроблено технологічну схему розроблення лісосіки, визначено склад обладнання (бензопила, канатна установка, колісний трактор, гідроманіпулятор) та виконано розрахунки продуктивності, витрат дизпалива (3,73 л/м³) і потреби в техніці.

Запропоновано заходи з технічної рекультивації волоків. Екологічна ефективність рішень: збереження підросту на рівні 50-60%, пошкодження ґрунту до 6% площі лісосіки (в 4-5 разів краще порівняно з традиційною технологією).

Результати роботи рекомендовані для впровадження у Чернівецькому надлісництві та інших підприємствах гірської зони Карпат.

ABSTRACT

Bachelor's degree graduation thesis: 98 p., 3 ch., 24 tbl., 6 ill., 6 add., 14 literature sources.

Thesis topic: Improvement of the final felling technology in the production conditions of the Chernivtsi Forestry.

MOUNTAIN FORESTS, LOGGING, TECHNOLOGICAL PROCESS, ENVIRONMENTAL SAFETY, SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT, CABLE SKIDDING SYSTEM, FINAL FELLING.

Study subject (design) – technological processes of logging operations during final felling in mountain conditions.

Objective of the study – increase the efficiency of logging in mountain conditions by improving the technology and technical means, taking into account environmental and economic requirements.

Research objective – analysis of literature sources, observation, comparative analysis, mathematical modeling of machine productivity, assessment of technical, technological and environmental indicators.

On the basis of an analysis of the activities of the Chernivtsi Forestry, the feasibility of transitioning from traditional skidding by wheeled tractors to a combined technology using a cable skidding system is substantiated.

A technological scheme for the development of a logging site is developed, the equipment composition (chainsaw, cable skidding system, wheeled tractor, hydraulic manipulator) is determined, and calculations of productivity, diesel fuel consumption (3,73 l/m³) and equipment needs are performed.

Measures for technical reclamation of skid trails are proposed. Environmental efficiency of the solutions: undergrowth preservation at the level of 50-60%, soil damage up to 6% of the cutting area (4-5 times better compared to traditional technology).

The results of the work are recommended for implementation in the Chernivtsi Forestry and other enterprises of the Carpathian mountain zone.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА	9
1.1 Загальна характеристика підприємства	9
1.2 Засади розвитку лісового господарства на підприємстві	12
1.3 Фізико-географічні та кліматичні умови району розташування	16
1.4 Характеристика лісового фонду та аналіз розрахункової лісосіки	19
1.5 Сучасний стан технічного забезпечення та аналіз діючих технологій рубок головного користування	23
1.6 Аналіз виробничої діяльності підприємства	26
1.7 Аналіз літературних джерел та світового досвіду механізації лісосічних робіт у подібних лісорослинних умовах	30
2 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ РУБОК ГОЛОВНОГО КОРИСТУВАННЯ	35
2.1 Обґрунтування вибору системи машин для лісосічних робіт у виробничих умовах надлісництва	35
2.2 Удосконаленої технологічної схеми розроблення лісосіки	39
2.3 Встановлення параметрів технологічних елементів з метою мінімізації пошкодження ґрунту та підросту	45
2.4 Розрахунок продуктивності прийнятих машин та устаткування	54
2.5 Кінематика та маневреність лісозаготівельної техніки на лісосіці	63
2.6 Розрахунок витрат паливно-мастильних матеріалів для проєктованого технологічного процесу	66
2.7 Заходи з охорони праці	69
2.8 Заходи з охорони навколишнього середовища	72
2.9 Основні техніко-економічні показники виконання лісосічних робіт	72

З ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ІЗ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТРЕЛЮВАЛЬНИХ ВОЛОКІВ	74
3.1 Характеристика техногенного впливу лісозаготівельної техніки на ґрунтовий покрив схилів	74
3.2 Технологія технічної рекультивації та планування поверхні волоків	77
3.3 Розрахунок витрат на проведення рекультиваційних заходів та оцінка їх екологічної ефективності	81
ВИСНОВКИ	84
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	86
ДОДАТКИ	88

ВСТУП

Лісове господарство України потребує поєднання економічної ефективності з екологічною безпекою, що особливо важливо в регіонах зі складними природними умовами. Чернівецьке надлісництво, розташоване в передгірній зоні Карпат, належить саме до таких територій. Схили крутизною 15-20 градусів, переважання цінних букових та смерекових насаджень, висока рекреаційна цінність лісів вимагають особливих підходів до організації рубок головного користування.

Домінування технології трелювання деревини колісними тракторами на схилах спричиняє ущільнення ґрунту, утворення глибоких колій, пошкодження підросту та активізацію ерозійних процесів. Світовий досвід свідчить, що альтернативою є застосування канатних трелювальних установок, які мінімізують контакт техніки з ґрунтом. Однак їх впровадження потребує перегляду всієї технологічної схеми лісосічних робіт. Актуальним є пошук компромісного рішення, яке поєднує переваги канатного трелювання на схилах із використанням наявного колісного парку.

У роботі поставлено такі завдання: проаналізувати стан лісозаготівельної діяльності надлісництва; обґрунтувати вибір системи машин для роботи на схилах; розробити технологічну схему розроблення лісосіки з мінімальним впливом на ґрунт; виконати розрахунки продуктивності, витрат паливно-мастильних матеріалів та потреби в техніці; запропонувати заходи з рекультивації трелювальних волоків; оцінити екологічну ефективність запропонованих рішень.

Очікується, що результатом роботи стане технологічна схема, яка забезпечує пошкодження ґрунту не більше ніж на 6-8 відсотків площі лісосіки, збереження підросту на рівні 50-60 відсотків та помірні витрати дизельного палива – близько 3,6-4,0 літра на один кубічний метр заготовленої деревини. Отримані рекомендації можуть бути використані в діяльності Чернівецького надлісництва та інших лісгосподарських підприємств передгірної зони Карпат.

1 ХАРАКТЕРИСТИКА ВИРОБНИЧОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА

1.1 Загальна характеристика підприємства

Чернівецьке надлісництво функціонує як ключовий структурний підрозділ філії “Подільський лісовий офіс” Державного спеціалізованого господарського підприємства “Ліси України” (ДП “Ліси України”). Установа забезпечує реалізацію державної стратегії у сфері лісового та мисливського господарства на регіональному рівні, базуючи систему управління на засадах екологічної безпеки та вимогах міжнародних природоохоронних конвенцій. Адміністративно-управлінський центр надлісництва розташований у місті Чернівці [1]. Таблиця 1.1 систематизує дані про територіальний поділ надлісництва, що є базою для планування обсягів рубок головного користування.

Організаційна структура підприємства є розгалуженою та включає двадцять одне лісництво та один нижній склад деревини, що забезпечують повний цикл господарської діяльності. Загальна площа земель лісового фонду, закріплених за установою станом на 01.01.2025 року, становить 73022,2 га, а територія розподілена між майстерськими ділянками (обходами) для забезпечення оперативного нагляду та охорони [1].

Географічне розташування надлісництва охоплює центральну частину Чернівецької області, зокрема землі Чернівецького та Вишнівського адміністративних районів. Територія за характером рельєфу являє собою підвищене плато, розчленоване численними ярами та дрібними річками, що впадають у басейни Дністра та Пруту. Лісові масиви віднесені як до рівнинних, так і до гірських категорій, причому окремі території Банилівського, Гільчанського, Лаурського та Красноільського лісництв розташовані безпосередньо у гірській місцевості Карпат. Найбільшими структурними одиницями за площею є Верхньопетрівецьке (6926,9 га), Іжівське (5684,5 га),

Чорнівське (5063,0 га) та Кузьмінське (4278,9 га) лісництва. Виробнича потужність підприємства спрямована на відтворення лісових насаджень, зміцнення їхніх корисних властивостей та стале використання ресурсного потенціалу відповідно до затверджених матеріалів лісовпорядкування.

Лісовий фонд підприємства відзначається високою продуктивністю та переважанням корінних насаджень бука лісового, який займає 35530,3 га із середнім запасом 278 м³/га. Важливе промислове та екологічне значення мають також масиви ялиці білої (11441,9 га із середнім запасом 178 м³/га) та дуба звичайного (9180,5 га із середнім запасом 225 м³/га). Економічна модель функціонування надлісництва ґрунтується на принципах невиснажливості, де щорічний обсяг вилучення ліквідної деревини від усіх видів рубок на 2026 рік запланований у межах 215,528 тис. м³, а сортиментною структурою передбачено заготівлю 139,9 тис. м³. Окрему увагу підприємство приділяє соціальній складовій, будучи великим працедавцем (облікова кількість штатних працівників на кінець 2025 року – 322 особи) та забезпечуючи сталий розвиток у межах 27 територіальних громад. Установа добровільно дотримується стандартів лісової сертифікації FSC, що підтверджує орієнтацію на екологічно відповідальне лісокористування та збереження цінностей довкілля на ландшафтному рівні [1].

Кліматичні умови району розташування характеризуються як помірно-континентальні, що є сприятливими для вирощування високопродуктивних ялицевих, букових та дубових насаджень. Середньорічна температура повітря становить +8,2°C, а кількість опадів сягає 890 мм на рік. Проте існують певні кліматичні чинники, що негативно впливають на вегетацію, зокрема пізні весняні та ранні осінні заморозки. Ґрунтовий покрив представлений переважно сірими та світло-сірими опідзоленими ґрунтами, а також бурими лісовими та дерново-суглинистими різновидами. Більшість ґрунтів за ступенем вологості відносяться до свіжих (таблиця 1.1), тоді як на надмірно зволожені ділянки та болота припадає незначна частка площі (близько 1,6%).

Виробнича інфраструктура надлісництва включає мережу лісових доріг,

нижній склад та пункти накопичення протипожежного інвентарю. Технічне забезпечення лісозаготівельних робіт орієнтоване на використання колісних тракторів МТЗ-80, МТЗ-82 та ЛТ-157, що дозволяє застосовувати сортиментну технологію заготівлі. Такий підхід мінімізує пошкодження ґрунтової поверхні та сприяє збереженню підросту, рівень якого при поступових рубках досягає 70% [1]. Крім основної діяльності, підприємство приділяє значну увагу диверсифікації прибутків через розвиток рекреаційної діяльності, облаштування екологічних стежок та заготівлю недеревної лісової продукції, зокрема новорічних ялинок.

Таблиця 1.1 – Показники лісовідновлення та насінництва (за даними 2024-2025 рр.)

Найменування показника	Одиниця виміру	Значення
Загальна площа лісовідновлення	га	456,3
– зокрема природне поновлення	га	442,0
– зокрема створення лісових культур	га	14,3
Заготівля лісового насіння (всього)	кг	5288
– дуб звичайний	кг	4571
– бук лісовий	кг	717
Вирощування стандартних сіянців	тис. шт.	131,5
Середня приживлюваність культур	%	92

Важливим аспектом діяльності є збереження біологічного різноманіття та виявлення особливо цінних для збереження територій (ОЦЗТ), загальна площа яких у надлісництві складає 1765,1 га. До складу таких територій входять об'єкти природно-заповідного фонду, зокрема регіональний ландшафтний парк “Чернівецький”, заказники “Лунківський” та “Петрівецький”, а також заповідні лісові урочища “Берда”, “Коцоба” та інші. Крім того, на землях надлісництва ідентифіковано ділянки пралісів та квазіпралісів загальною площею понад 450 га, які виключені з розрахунку рубок головного користування для

збереження їхнього природного стану. Підприємство також забезпечує охорону раритетних видів флори (тис ягідний, шафран Гейфелів, підсніжник білосніжний) та фауни (зубр, кіт лісовий, лелека чорний), занесених до Червоної книги України [1].

1.2 Засади розвитку лісового господарства на підприємстві

Розвиток лісового господарства у Чернівецькому надлісництві базується на фундаментальних принципах сталого наближеного до природи лісівництва, що передбачає гармонійне поєднання економічних інтересів із потребою збереження екологічної цілісності лісових екосистем. Пріоритетним вектором стратегічного планування, зафіксованим у проєктах лісоуправління на 2025-2026 роки, є забезпечення безперервного, невиснажливого та раціонального використання лісових ресурсів. Це досягається через суворе дотримання розрахункової лісосіки, обсяг якої визначається на основі щорічного приросту деревини, що гарантує збереження лісового капіталу для майбутніх поколінь. Важливою засадою діяльності є інтеграція міжнародних стандартів лісової сертифікації FSC у щоденну практику управління, що вимагає від підприємства не лише виконання законодавчих норм України, а й дотримання глобальних етичних та екологічних критеріїв. Зокрема, надлісництво офіційно декларує відмову від використання дитячої чи примусової праці, підтримку гендерної рівності та забезпечення прав працівників на свободу об'єднань, що створює фундамент для соціально відповідального ведення бізнесу. Колектив установи усвідомлює сучасні вимоги до галузі, яка повинна функціонувати задля задоволення матеріальних і духовних потреб суспільства, не виходячи за межі біологічної стійкості ландшафтів.

Технологічний розвиток установи орієнтований на впровадження методів лісозаготівлі, які мають мінімальний негативний вплив на довкілля. Замість суцільних рубок перевага дедалі частіше віддається поступовим та вибіркоким системам господарювання, особливо у букових та ялицевих деревостанах, де

природне поновлення є найбільш ефективним. Згідно з результатами моніторингу за 2024 рік, частка природного лісовідновлення на підприємстві сягнула майже 97%, що свідчить про високу адаптивність господарських заходів до природних процесів регенерації. Така стратегія дозволяє зберігати складну вертикальну структуру лісу, підтримувати гідрологічний режим територій та запобігати ерозійним процесам, які є критичними для передгірних та гірських ділянок надлісництва (таблиця 1.2). Одночасно з цим, політика ведення лісового господарства передбачає суворий контроль за збереженням біорізноманіття. Підприємство ідентифікує та охороняє особливо цінні для збереження території, обмежуючи господарську діяльність у місцях зростання рідкісних видів флори та оселищ фауни, занесених до Червоної книги України. Важливим інструментом тут є програма навчання персоналу та підрядників, яка дозволяє вчасно ідентифікувати раритетні види та уникати їхнього пошкодження під час виконання технологічних операцій на лісосіках.

Економічна стійкість надлісництва забезпечується через диверсифікацію виробничої діяльності та підвищення якості продукції. Окрім заготівлі деревини, яка залишається основним джерелом доходу, засади розвитку передбачають розширення використання недеревних ресурсів лісу та надання рекреаційних послуг (таблиця 1.3). Постійна модернізація виробничих процесів, навчання персоналу та підрядних організацій є невід'ємною частиною стратегії росту. Важливим елементом управління є також прозорість та залучення зацікавлених сторін до процесу прийняття рішень. Надлісництво активно взаємодіє з місцевими громадами та науковими установами, проводячи консультації щодо планування рубок та охорони екологічно чутливих ділянок. У разі виникнення суперечностей щодо прав користування ресурсами чи потенційного впливу на умови проживання населення, підприємство застосовує механізм переговорів та засідань спеціальних комісій. Такий підхід гарантує, що лісогосподарська діяльність не лише приносить прибуток державі, а й підтримує соціальну стабільність у регіоні, забезпечуючи потреби місцевих мешканців у паливній деревині та доступ до лісових угідь для традиційного користування.

Таблиця 1.2 – Порівняльна характеристика методів лісовідновлення та їх ефективності

Спосіб лісовідновлення	Площа (2024 р.), га	Частка у загальному обсязі, %	Основні деревні породи
Природне поновлення	442,0	96,9	Бук лісовий, ялиця біла, дуб звичайний
Штучне (лісові культури)	14,3	3,1	Дуб звичайний, модрина європейська
Разом	456,3	100,0	Середня приживлюваність – 92%

Таблиця 1.3 – Основні принципи сталого лісоуправління та механізми їх реалізації

Принципи розвитку	Заходи та механізми реалізації у надлісництві
Екологічна стабільність	Застосування наближених до природи методів лісівництва, відмова від суцільних рубок на користь поступових та вибіркових.
Невиснажливе користування	Планування заготівлі в межах розрахункової лісосіки (74,7 тис. м ³ ліквідної деревини на 2026 рік).
Соціальна відповідальність	Дотримання гендерної рівності, заборона дитячої праці, забезпечення справедливої оплати (322 штатних працівники).
Відкритість та прозорість	Проведення консультацій із 27 територіальними громадами та залучення зацікавлених сторін до планування господарських заходів.

Стратегічне планування в надлісництві базується на довгострокових прогнозах стану лісових ресурсів, що відображено у детальних картах та реєстрах ОЦЗТ. Висока ефективність системи охорони праці та техніки безпеки на робочих місцях є обов'язковою умовою при залученні підрядних організацій через тендерні процедури. Підприємство бере на себе відповідальність за моніторинг впливу господарських заходів на водні ресурси, ландшафтні цінності та стан ґрунтів [1]. Результати таких спостережень регулярно оприлюднюються, що дозволяє громаді відстежувати ефективність вжитих заходів із відновлення екосистем. Таким чином, засади розвитку Чернівецького надлісництва формують цілісну систему, де екологічна стабільність екосистем є первинною умовою для отримання довгострокових економічних вигод, а соціальний діалог виступає гарантом безконфліктного лісокористування. Виважена політика працевлаштування та піклування про здоров'я працівників доповнюють загальний вектор розвитку, спрямований на перетворення надлісництва на взірць сталого лісоуправління (таблиця 1.4).

Таблиця 1.4 – Пріоритетні напрямки навчання та підвищення кваліфікації персоналу

Напрямок навчання	Цільова аудиторія	Основні теми та компетенції
Екологічна сертифікація	Весь персонал та підрядники	Дотримання національного стандарту FSC, ідентифікація ОЦЗТ.
Природоохоронна діяльність	Майстри лісу, помічники лісничих	Методи ідентифікації раритетних видів флори та фауни, охорона пралісів.
Безпека праці	Працівники лісозаготівельних бригад	Використання ЗІЗ, безпечні методи розроблення лісосік у гірських умовах.
Технологічна модернізація	Оператори техніки, інженери	Робота з новими засобами механізації, мінімізація впливу на ґрунт.

1.3 Фізико-географічні та кліматичні умови району розташування

Територія Чернівецького надлісництва характеризується надзвичайною геоморфологічною та кліматичною різноманітністю, що зумовлено його розташуванням на стику різних фізико-географічних зон: лісостепової рівнини, передгір'я та власне гірських масивів Українських Карпат. Рельєф місцевості відіграє визначальну роль у формуванні технологій лісозаготівель, оскільки значна частина лісового фонду зосереджена на схилах різної крутизни та експозиції. Рівнинна частина представлена хвилястими плато, розчленованими глибокими долинами річок басейнів Пруту та Сірету, тоді як гірська частина, що охоплює Банилівське, Гільчанське та Красноільське лісництва, відзначається стрімкими схилами та скельними виходами [1]. Така вертикальна розчленованість території вимагає диференційованого підходу до вибору засобів механізації, зокрема переходу від колісних тракторів на відносно рівних ділянках до канатних установок або спеціалізованих гусеничних машин у високогір'ї для запобігання ерозійним процесам.

Кліматичний режим району розташування підприємства є помірно-континентальним, вологим, із м'якою зимою та теплим літом, що створює оптимальні умови для вегетації високопродуктивних букових та ялицевих лісів (таблиця 1.5). Середньорічна температура повітря становить близько $+8,2^{\circ}\text{C}$, проте в гірських районах вона суттєво знижується залежно від висоти над рівнем моря. Важливим фактором для лісової інженерії є режим опадів, середньорічна кількість яких сягає 890 мм. Найбільша інтенсивність опадів спостерігається у літній період, що часто призводить до перезволоження ґрунтів та ускладнює роботу лісозаготівельної техніки через зниження її тримальної здатності [1]. Одночасно з цим, значна кількість опадів у поєднанні з рельєфом провокує виникнення селевих потоків та водної ерозії на лісосіках, що вимагає впровадження спеціальних технологічних заходів зі збереження ґрунтового покриву та влаштування водовідводів на лісовозних дорогах.

Таблиця 1.5 – Кліматичні та геоморфологічні показники району діяльності

Параметр	Значення	Вплив на технологію рубок
Середньорічна температура	+8,2 °C	Визначає тривалість вегетаційного періоду та терміни робіт.
Річна кількість опадів	890 мм	Зумовлює ризики ерозії та перезволоження волоків улітку.
Загальна протяжність водотоків	3328 км	Вимагає проектування численних переправ та захисних зон.
Домінуючі типи ґрунтів	Бурі лісові, сірі опідзолені	Потребують техніки з низьким питомим тиском на ґрунт.
Рельєф	Від рівнинного до гірського	Обумовлює необхідність поєднання колісної та канатної техніки.

Ґрунтовий покрив надлісництва представлений широким спектром типів, серед яких переважають сірі та світло-сірі опідзолені ґрунти на рівнинах, а також бурі лісові ґрунти (буроземи) у передгір'ях та горах. Буроземи характеризуються високою родючістю та значною потужністю гумусового горизонту, проте вони є надзвичайно чутливими до механічного ущільнення важкою технікою. Згідно з даними моніторингу, більшість лісових ділянок за ступенем вологості відносяться до свіжих сутрудів та дібров, що забезпечує стабільний ріст основних лісоутворювальних порід – бука, ялиці та дуба. Проте наявність перезвожених ділянок, які займають близько 1,6% площі, накладає обмеження на сезонність проведення рубок головного користування, зміщуючи основні обсяги заготівлі на зимовий період, коли ґрунт промерзає, що дозволяє мінімізувати пошкодження лісового середовища [1].

Гідрографічна сітка підприємства є дуже густою та представлена численними притоками річок Прут і Сірет, загальна протяжність яких у межах надлісництва становить 3328 км. Велика кількість дрібних потічків та водотоків створює додаткові інженерні виклики при проектуванні мережі трельовальних волоків та лісовозних доріг. Засади сталого лісоуправління, яких дотримується

підприємство, забороняють проведення суцільних рубок у прибережних захисних смугах та вимагають залишення буферних зон для фільтрації поверхневого стоку [1]. Таким чином, фізико-географічні та кліматичні чинники Чернівецького надлісництва не лише визначають біологічну продуктивність лісів, а й виступають природними обмежувачами, що диктують необхідність удосконалення технологій рубок у напрямку їх екологізації та адаптації до складних умов карпатського ландшафту (таблиця 1.6).

Таблиця 1.6 – Характеристика лісорослинних умов та гідрографічної мережі

Об'єкт аналізу	Кількісні та якісні показники	Інженерно-технологічне значення
Домінуючі типи лісорослинних умов	Свіжі сугруди (C ₂), свіжі діброви (D ₂)	Оптимальні для природного поновлення бука та дуба, потребують збереження цілісності підстилки.
Типи ґрунтів	Бурі лісові (буроземи), сірі опідзолені	Висока чутливість до механічного ущільнення; ризик водної ерозії на схилах понад 15°.
Протяжність водотоків	3328 км (басейни Пруту та Сірету)	Необхідність влаштування тимчасових переправ та дотримання прибережних захисних смуг.
Перезволожені ділянки	1,6% від загальної площі	Обмеження на використання колісної техніки в безсніжний період; перенесення робіт на зиму.
Рельєфні зони	Рівнинна, передгірна, гірська	Диференціація парку машин: від універсальних тракторів до канатних установок.

1.4 Характеристика лісового фонду та аналіз розрахункової лісосіки

Лісовий фонд Чернівецького надлісництва філії “Подільський лісовий офіс” являє собою складну та багатофункціональну екосистему, просторова структура якої сформована під впливом як природно-кліматичних чинників Передкарпаття, так і тривалого антропогенного впливу. Станом на 2025-2026 роки загальна площа земель, що перебувають у постійному користуванні підприємства, становить 73022,2 га. З цієї площі переважна більшість припадає на землі, вкриті лісовою рослинністю, що свідчить про високий ступінь лісистості та інтенсивне використання територій для цілей лісовирощування. Характерною рисою лісового фонду є його чітка диференціація за категоріями лісів, де значну частку займають експлуатаційні ліси, призначені для промислового освоєння та забезпечення потреб держави у деревині. Разом з тим, понад 50 тис. га території віднесено до об’єктів природно-заповідного фонду або лісів з особливим режимом користування, що вимагає застосування специфічних, екологічно орієнтованих технологій заготівлі [1].

Видовий склад насаджень надлісництва відзначається домінуванням високопродуктивних твердолистяних та хвойних порід. Головною лісоутворювальною породою є бук лісовий, масиви якого займають понад 35,5 тис. га. Ці насадження характеризуються значними запасами стовбурової деревини, що в середньому становлять 278 м³ на один гектар. Другою за значенням породою є ялиця біла, яка поширена переважно у гірській частині надлісництва на площі близько 11,4 тис. га. Також значну питому вагу мають діброви, представлені дубом звичайним (понад 9,1 тис. га), які зосереджені в основному в рівнинних та передгірних лісництвах [1]. Вікова структура деревостанів свідчить про переважання середньовікових та пристигаючих насаджень, проте наявність значної площі стиглих та перестійних лісів створює необхідні умови для активного проведення рубок головного користування,

спрямованих на омолодження лісового фонду та вилучення перестійної деревини до втрати її технічних якостей (таблиця 1.7).

Аналіз розрахункової лісосіки як нормативного показника щорічного обсягу рубок головного користування свідчить про стабільність ресурсного потенціалу підприємства (таблиця 1.8). На плановий період 2026 року обсяг ліквідної деревини за рубками головного користування затверджено на рівні 74,7 тис. м³. У структурі розрахункової лісосіки пріоритет належить твердолистяному господарству, на яке припадає 55,22 тис. м³, тоді як хвойне господарство забезпечує заготівлю 19,48 тис. м³. Важливо зазначити, що фактичний обсяг вилучення деревини суворо лімітується біологічними можливостями насаджень та принципами невиснажливого лісокористування. Розрахункова лісосіка за масою та площею встановлюється таким чином, щоб обсяг рубки не перевищував середньорічного приросту, що дозволяє підтримувати загальний запас деревини в надлісництві на стабільно високому рівні.

Розподіл лісосічного фонду за способами рубок відображає стратегічний перехід підприємства від суцільнолісосічних до поступових та вибіркових систем господарювання (таблиця 1.9). Це особливо актуально для букових насаджень, де використання поступових рубок дозволяє максимально використати потенціал природного поновлення, що підтверджується даними моніторингу, згідно з якими майже 97% площ відновлюється природним шляхом. Сортиментна структура розрахункової лісосіки передбачає вихід ділової деревини в обсязі близько 43,74 тис. м³, що вимагає від лісової інженерії застосування таких технологій розроблення лісосік, які б мінімізували пошкодження стовбурів під час звалювання та трелювання. Таким чином, характеристика лісового фонду та параметри розрахункової лісосіки Чернівецького надлісництва формують об'єктивну базу для вдосконалення технологічних процесів, орієнтуючи їх на роботу з великоваговою деревиною бука та ялиці в умовах складного рельєфу та екологічних обмежень [1].

Таблиця 1.7 – Розподіл лісових земель за панівними породами та запасом деревини

Панівна порода	Площа, га	Середній запас, м ³ /га	Загальний запас, тис. м ³	Господарське значення
Бук лісовий	35530,3	278	9877,4	Основна порода для меблевої промисловості
Ялиця біла	11441,9	178	2036,6	Цінна хвойна деревина для будівництва
Дуб звичайний	9180,5	225	2065,6	Високоміцна деревина, експортний потенціал
Граб звичайний	4363,2	215	938,1	Переважно паливна деревина
Ялина європейська	3878,5	240	930,8	Будівельний асортимент
Інші породи	3008,3	–	–	Екологічне різноманіття
Разом	67402,7	–	–	Площа, вкрита лісовою рослинністю

Таблиця 1.8 – Структура розрахункової лісосіки за рубками головного користування на 2026 рік

Категорія господарства	Площа рубки, га	Запас ліквідної деревини, тис. м ³	Вихід ділової деревини, тис. м ³
Хвойне	82,3	19,48	12,23
Твердолистяне	216,6	55,22	31,51
М'яколистяне	0,0	0,00	0,00
Разом	298,9	74,70	43,74

Таблиця 1.9 – Розподіл площ за категоріями лісів та режимами господарювання

Категорія лісів	Площа, га	Режим лісокористування	Вплив на технологію
Експлуатаційні ліси	18567,1	Промислова заготівля	Максимальна механізація робіт
Природно-заповідний фонд	50589,6	Суворо обмежений	Пріоритет вибіркового рубок
Захисні ліси	3865,5	Обмежений (берегозахисні)	Виключення важкої техніки
Разом	73022,2	–	–

1.5 Сучасний стан технічного забезпечення та аналіз діючих технологій рубок головного користування

Аналіз сучасного стану технічного оснащення Чернівецького надлісництва свідчить про домінування традиційних методів механізації, які базуються на використанні колісних тракторів вітчизняного та білоруського виробництва. Основу машино-тракторного парку підприємства складають універсальні енергетичні засоби класу 1.4, зокрема моделі МТЗ-80, ЛТ-157 та МТЗ-82 (таблиця 1.10).

Таблиця 1.10 – Характеристика основного парку лісозаготівельної техніки

Тип техніки / Обладнання	Марка, модель	Кількість (орієнтовно)	Призначення	Технічний стан / Примітки
Колісні трактори	МТЗ-80/82, ЛТ-157	12	Трелювання деревини, транспортні роботи	Задовільний, потребують посилення захисту кабін
Бензопили	STIHL MS 361, Husqvarna 365	25	Звалювання дерев, обрізування сучків	Робочий; висока точність звалювання
Гідроманіпулятори	Palms, DL-80	6	Навантаження сортиментів на лісовози	Встановлені на базі МАЗ/КрАЗ
Автотранспорт	Урал-4320, КрАЗ-6437	8	Вивезення деревини на нижні склади	Висока прохідність, значні витрати ПММ

Вибір такої техніки обумовлений її високою маневреністю в умовах обмеженого простору лісосіки та відносно низькою вартістю експлуатації. Проте, з погляду сучасної лісової інженерії, використання сільськогосподарських тракторів, адаптованих для лісових робіт, має низку технологічних недоліків, серед яких – недостатня захищеність кабіни та вузлів трактора від механічних пошкоджень, а також обмежена здатність до роботи на крутих схилах, що є критичним для передгірних районів Чернівецької області.

Діюча технологія рубок головного користування на підприємстві орієнтована на сортиментний спосіб заготівлі. Процес розпочинається зі звалювання дерев бензопилами переважно марки STIHL та Husqvarna, що забезпечує необхідну точність спрямованого падіння стовбурів, особливо при проведенні поступових та вибіркового рубок, де важливо не пошкодити дерева, що залишаються на пні, та наявний підріст. Очищення стовбурів від сучків та розкрязування на сортименти виконується безпосередньо біля пня. Трелювання заготовленої продукції до верхніх складів або навантажувальних майданчиків здійснюється у напіввантажному стані або методом підтягування за допомогою лебідок, якими обладнані трактори. Хоча такий підхід дозволяє досягати показника збереженості підросту на рівні 70%, він характеризується значною часткою ручної праці та низьким рівнем комплексної механізації.

Транспортна логістика всередині лісових масивів спирається на мережу діючих трелювальних волоків та лісовозних доріг, стан яких суттєво залежить від погодних умов. У періоди інтенсивних опадів використання наявних колісних тракторів призводить до утворення глибокої колії та руйнування верхнього родючого шару ґрунту, що є порушенням принципів сталого лісоуправління та стандартів FSC. Навантаження сортиментів на автотранспорт для подальшого вивезення здійснюється за допомогою гідроманіпуляторів, змонтованих безпосередньо на лісовозах, що дещо скорочує час перебування техніки на лісосіці. Проте відсутність у розпорядженні надлісництва сучасних багатоопераційних машин, таких як харвестери та форвардери, обмежує можливість підприємства щодо різкого підвищення продуктивності праці та

безпеки робітників [1, 2].

Критичний аналіз діючих технологій дозволяє виявити невідповідність між наявним технічним потенціалом та складними умовами експлуатації, особливо у гірській частині надлісництва (таблиця 1.11). На схилах з крутизною понад 20 градусів використання стандартних колісних тракторів стає небезпечним та малоефективним, що змушує підприємство залучати підрядні організації з вузькоспеціалізованою технікою або використовувати застарілі канатні установки.

Таблиця 1.11 – Технологічна карта діючого процесу рубок головного користування

Етап процесу	Зміст операції	Засоби механізації	Місце виконання
Підготовчий	Розмітка пасік, підготовка навантажувальних майданчиків	Ручна праця, МТЗ-82	Лісосіка
Основний	Звалювання дерев із заданим напрямком падіння	Бензопили	Біля пня
Первинна обробка	Очищення від сучків, розкрязування на сортименти	Бензопили	Біля пня
Транспортування	Трелювання сортиментів у напіввантажному стані	Трактори МТЗ, ЛТ-157 з лебідкою	Волоки до верхнього складу
Заключний	Штабелювання та навантаження	Автомобільні гідроманіпулятори	Верхній склад

Необхідність модернізації технічного парку та переходу до більш досконалих технологічних схем диктується не лише економічними показниками, а й жорсткими вимогами екологічного моніторингу. Зокрема,

актуальним є впровадження малогабаритної техніки з низьким питомим тиском на ґрунт та сучасних систем дистанційного керування трелювальними лебідками (таблиця 1.12), що дозволить мінімізувати техногенне навантаження на лісове середовище при проведенні рубок головного користування.

Таблиця 1.12 – Порівняльний аналіз діючої технології та вимог сталого лісоуправління (FSC)

Критерій оцінки	Стан при діючій технології	Вимоги екологізації (цільовий стан)	Висновок про необхідність змін
Збереження підросту	65-70% (задовільно)	Понад 80%	Потрібна малогабаритна техніка та дистанційне керування
Вплив на ґрунт	Утворення колії до 25-30 см у вологий період	Мінімальний тиск, виключення глибокої колії	Необхідно обмежити масу машин або використовувати широкі шини
Частка ручної праці	Висока (звалювання, розкрязування)	Максимальна механізація (харвестери)	Потребує впровадження багатоопераційних машин
Безпека праці	Середній ризик (робота бензопилою)	Високий рівень безпеки (кабіна машини)	Необхідна заміна ручного звалювання механізованим

1.6 Аналіз виробничої діяльності підприємства

Аналіз виробничої діяльності Чернівецького надлісництва за звітний період 2024-2025 років свідчить про стабільне функціонування підприємства як потужної сировинної бази, проте критичний розгляд показників виявляє низку структурних диспропорцій. Основний фінансовий та виробничий результат установи формується за рахунок реалізації деревини, заготовленої в порядку

рубок головного користування та заходів з формування й оздоровлення лісів. На 2026 рік запланований загальний обсяг заготівлі ліквідної деревини становить 215,5 тис. м³, з яких лише 74,7 тис. м³ (близько 35%) припадає на рубки головного користування (таблиця 1.13). Така структура вказує на значну питому вагу санітарних та доглядових заходів, що часто є наслідком старіння деревостанів та поширення хвороб, але водночас створює додаткове логістичне навантаження на підрозділи через розпорошеність лісосічного фонду.

Таблиця 1.13 – Розрахункова лісосіка та структура заготівлі на 2026 рік

Категорія господарства	Ліквідна деревина, тис. м ³	Сортиментна структура, тис. м ³
Хвойне господарство	19,48	12,23
Твердолистяне господарство	55,22	31,51
Усього за рубками головного користування	74,70	43,74
За рубками формування та оздоровлення	140,8	96,16
Загалом по надлісництву	215,5	139,9

Критичної оцінки потребує ефективність використання лісового ресурсу в розрізі сортиментної структури. Загальний вихід ділової деревини від усіх видів рубок запланований на рівні 139,9 тис. м³, що становить 64,9% від загального обсягу ліквіду. Для підприємства, що володіє значними запасами високоякісного бука та дуба, такий показник є помірним. Це зумовлено не лише природними вадами деревини, а й технологічними втратами під час звалювання та трелювання у напіввантажному стані колісними тракторами МТЗ та ЛТ-157, що призводить до механічних пошкоджень цінних сортиментів. Висока частка дров'яної деревини (понад 75 тис. м³) знижує загальну рентабельність виробництва, оскільки витрати на її заготівлю та транспортування в умовах гірського рельєфу часто наближаються до її ринкової вартості (таблиця 1.14).

У сфері лісовідновлення надлісництво демонструє позитивну динаміку, успішно виконуючи плани на площі 456,3 га (дані за 2024 рік). Проте

критичний аналіз виявляє надмірну концентрацію на природному поновленні (96,9% від загальної площі). Хоча це відповідає засадам наближеного до природи лісівництва та вимогам FSC, повна відмова від створення лісових культур на великих площах може призвести до небажаної зміни порід, зокрема захаращення цінних дубових та букових зрубів менш цінним грабом чи осикою [1]. Крім того, підготовка ґрунту під лісові культури (14,3 га) виконується переважно ручним або маломеханізованим способом, що підвищує собівартість робіт та терміни їх виконання.



Рисунок 1.1 – Трактор на трелюванні у Чернівецькому надлісництві

Таблиця 1.14 – Аналіз виконання виробничих показників та їх критична оцінка

Показник діяльності	Планове значення (2026 р.)	Фактичний стан / Тенденція	Критичний висновок
Загальна заготівля деревини	215,5 тис. м ³	Висока частка санітарних рубок	Необхідність омолодження фонду та покращення стану насаджень
Вихід ділової деревини	64,9%	Значні втрати при трелюванні	Потреба у впровадженні сучасних захватів та канатних систем
Лісовідновлення	456,3 га	97% – природне поновлення	Ризик неконтрольованої зміни цільових порід на зрубках
Експлуатація техніки	Наявний парк (МТЗ, КрАЗ)	Високий рівень зносу та витрат ПММ	Низька енергоефективність виробничих процесів
Сертифікація FSC	Повна відповідність	Ризики через пошкодження ґрунту технікою	Потреба в екологізації трелювальних робіт

Фінансово-економічний стан підприємства безпосередньо залежить від ринкової кон'юнктури на твердолистяну деревину. Незважаючи на стабільний попит, надлісництво стикається з проблемою високої собівартості продукції, зумовленої значними витратами на паливно-мастильні матеріали та утримання застарілого парку техніки (Урал-4320, КрАЗ-6437). Аналіз виробничої діяльності вказує на гостру потребу в оптимізації транспортних схем та впровадженні систем точного обліку деревини на всіх етапах – від пня до

нижнього складу. Існуюча система реалізації через аукціони забезпечує прозорість, проте обмеженість технічних можливостей підприємства щодо самостійної глибокої переробки сировини змушує його залишатися у ролі постачальника виключно круглих лісоматеріалів, що позбавляє установу значної частки доданої вартості [1].

Таким чином, виробнича діяльність Чернівецького надлісництва потребує переходу від екстенсивного до інтенсивного шляху розвитку. Це передбачає не лише кількісне виконання планів із заготівлі, а й якісну зміну технологічних підходів, що дозволить знизити частку дров'яної деревини, мінімізувати екологічні ризики та підвищити прибутковість підприємства за рахунок раціонального використання наявного лісосировинного потенціалу.

1.7 Аналіз літературних джерел та світового досвіду механізації лісосічних робіт у подібних лісорослинних умовах

Завершальним етапом аналітичного огляду є дослідження світових тенденцій та наукових доробків у сфері лісової інженерії, що мають практичне значення для умов Чернівецького надлісництва. Аналіз фахової літератури та закордонного досвіду країн із подібним ландшафтом (Австрія, Німеччина, Скандинавські країни) свідчить про домінування концепції сталого лісокористування, яка базується на максимальній цифровізації та екологізації лісосічних робіт. Сучасна наукова думка акцентує увагу на переході від енергоємних важких машин до маневрених інтелектуальних систем, здатних працювати в умовах обмеженого простору та складного рельєфу без незворотної шкоди для лісового середовища [2, 3].

Світовий досвід механізації в аналогічних фізико-географічних умовах демонструє ефективність застосування багатоопераційних машин — харвестерів та форвардерів, адаптованих для роботи на схилах. Зокрема, у

країнах Альпійського регіону широке розповсюдження отримали канатні системи та крокуючі харвестери, які мінімізують тиск на ґрунт і запобігають ерозії. Наукові дослідження підтверджують, що використання форвардерів із широкими шинами або гусеничними стрічками дозволяє зменшити ущільнення ґрунту на 30-40% порівняно з традиційними колісними тракторами, що є критично важливим для збереження гідрологічного режиму в басейнах річок Прут та Сірет.

Важливим напрямком, що висвітлюється в актуальних джерелах, є впровадження систем “smart forestry” (розумного лісівництва). Це включає використання геоінформаційних систем (ГІС) для точного проектування трелювальних волоків та автоматизацію обліку деревини безпосередньо на лісосіці. Закордонні науковці доводять, що інтеграція сенсорів у гідроманіпулятори дозволяє не лише пришвидшити навантаження, а й забезпечити точну сортиментацію деревини, що суттєво підвищує вихід ділових лісоматеріалів. Крім того, особлива увага приділяється безпеці праці: сучасні стандарти вимагають повної ізоляції оператора в захищених кабінах (ROPS, FOPS), що мінімізує виробничий травматизм під час звалювання великовагових дерев бука та ялиці [1-3].

Критичний огляд літератури вказує на те, що для Чернівецького надлісництва найбільш перспективним є запозичення досвіду використання малогабаритних дистанційно керованих трелювальних установок. Це дозволить виконувати роботи в екологічно чутливих зонах та на ділянках із великою кількістю природного підросту, зберігаючи високу частку регенерації лісу (понад 90%). Таким чином, поєднання традиційних методів із сучасними інноваційними рішеннями, що апробовані у світовій практиці, має стати основою для вдосконалення технологічних процесів рубок головного користування в умовах об’єкта дослідження (таблиця 1.15).

Таблиця 1.15 – Порівняльна характеристика світових технологій та перспектив їх впровадження

Технологічне рішення	Країна-лідер / Регіон	Переваги для надлісництва	Складність впровадження
Канатні установки	Австрія, Швейцарія	Робота на стрімких схилах (понад 25°), нульова ерозія ґрунту	Висока вартість обладнання та навчання персоналу
Форвардери з низьким тиском	Фінляндія, Швеція	Максимальне збереження підросту, відсутність глибокої колії	Необхідність модернізації дорожньої мережі
Радіокеровані лебідки	Німеччина, Словенія	Безпека працівників, точне трелювання в густих деревостанах	Потреба у залученні ІТ-фахівців для обслуговування
ГІС-проектування волоків	Канада, США	Оптимізація логістики, зниження витрат палива на 15-20%	Необхідність створення цифрових карт рельєфу

Отже, аналіз літературних джерел підтверджує, що сучасна лісова інженерія рухається в бік автоматизації та індивідуального підходу до кожної лісосіки. Для Чернівецького надлісництва це означає необхідність поступового відходу від універсальних сільськогосподарських машин на користь спеціалізованої лісозаготівельної техніки, що відповідає міжнародним вимогам сертифікації FSC та забезпечує високу економічну ефективність виробництва.

2 ПРОЕКТУВАННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ РУБОК ГОЛОВНОГО КОРИСТУВАННЯ

2.1 Обґрунтування вибору системи машин для лісосічних робіт у виробничих умовах надлісництва

Проектування будь-якого технологічного процесу в лісовому господарстві починається з вибору таких машин і механізмів, які б найкраще відповідали конкретним природно-виробничим умовам. Для Чернівецького надлісництва, де територія розташована в передгірній зоні Карпат із переважанням схилів крутизною 15-20 градусів, цей вибір має низку особливостей. За таких ухилів використання суто колісних трелювальних тракторів є можливим, але супроводжується суттєвими обмеженнями: зростає ризик перекидання техніки, підвищується буксування коліс, погіршується керованість, а головне – значно посилюється негативний вплив на ґрунтовий покрив. Колеса трактора, особливо під час руху з вантажем, заглиблюються в ґрунт, утворюючи колії глибиною до 20-30 сантиметрів, що порушує природну структуру ґрунту, активізує ерозійні процеси та знищує підріст лісових порід. Тому в гірських і передгірних умовах питання вибору системи машин набуває особливої гостроти [2].

Аналіз світового досвіду показує, що в країнах із розвиненим лісовим господарством, таких як Австрія, Німеччина, Швейцарія та Словаччина, на схилах крутизною понад 12-15 градусів широко застосовують канатні трелювальні установки. Ці системи мають незаперечну перевагу: тяговий канат, що рухається між анкерною опорою вгорі лісосіки та натяжним пристроєм унизу, дає змогу транспортувати деревину, практично не торкаючись поверхні ґрунту. Підріст, ґрунтова біота та кореневі системи дерев, що залишаються на пасіці, не зазнають механічних пошкоджень. Окрім того, канатне трелювання є значно безпечнішим для працівників, оскільки вони перебувають на відстані від

каната, що рухається. Водночас такі установки потребують додаткових витрат на монтаж, демонтаж та періодичне переміщення в межах лісосіки.

З іншого боку, суто канатне трелювання не завжди є економічно виправданим на схилах 15-20 градусів, особливо коли відстань трелювання не перевищує 300-400 метрів, а об'єм пачки є невеликим. У таких умовах доцільнішим може бути використання колісних трелювальних тракторів, але з обов'язковим дотриманням спеціальних вимог: застосування шин низького тиску з широким протектором, обмеження швидкості руху, чітке дотримання технологічних схем із мінімальною кількістю проходів по одному сліду. Однак, як показує практика роботи більшості лісгосподарських підприємств України, такі вимоги часто не виконуються через брак належного контролю, низьку кваліфікацію окремих працівників або прагнення будь-що виконати змінне завдання.

Саме тому для виробничих умов Чернівецького надлісництва, де схили мають крутизну 15-20 градусів, а річні обсяги заготівлі деревини є достатньо великими, пропонується комбінована система машин. Вона поєднує в собі сильні сторони обох підходів: на крутих і довгих схилах деревину трелюють канатною установкою, що мінімізує пошкодження ґрунту, а на пологіших ділянках або на невеликих відстанях використовують колісний трактор, який забезпечує високу продуктивність.

Для реалізації цієї системи машин до складу лісозаготівельної бригади включено такі основні одиниці техніки, кожна з яких виконує чітко визначену функцію [2].

Найпершою операцією в технологічному ланцюжку є звалювання дерев. У сучасному лісозаготівельному виробництві існує два основні підходи: механізоване звалювання харвестерами та ручне звалювання бензопилами. Харвестери, безсумнівно, мають високу продуктивність, але вони є дорогими, вимагають кваліфікованих операторів та, що важливо для гірських умов, мають велику масу, яка спричиняє значне ущільнення ґрунту [2]. Крім того, вартість

сучасного харвестера в десятки разів перевищує вартість набору бензопил, що для більшості українських підприємств є фінансово недосяжним. Тому для умов Чернівецького надлісництва обрано для звалювання використовувати професійну пилку Echo CS-621SX (Японія). Ця модель є оптимальною для гірської місцевості завдяки своїй невеликій масі – близько 6,2 кілограма, що дозволяє звалювальнику вільно маневрувати на схилі. Потужність двигуна становить 4,4 кінських сил (3,27 кВт), чого достатньо для звалювання дерев діаметром до 45-50 сантиметрів, які переважають у насадженнях надлісництва. Важливою перевагою цієї пилки є наявність гальма пилкового ланцюга, яке миттєво зупиняє ланцюг у разі зворотного удару – це суттєво знижує ризик травматизму під час роботи на схилі. Також пилка оснащена системою, що зменшує вібрацію, та інжекторним мастилом ланцюга, яке подається дозовано залежно від частоти обертання. Додатковим аргументом на користь цієї моделі є її поширеність у лісових господарствах карпатського регіону, що спрощує постачання запасних частин та сервісне обслуговування.

Наступною операцією після звалювання є очищення стовбурів від гілок. Технологічно цю роботу можна виконувати як на місці звалювання (на пасіці), так і на верхньому складі після трелювання. У запропонованій технології прийнято рішення виконувати обрізування гілок на пасіці. Основна причина, це значно зменшує об'єм матеріалу, який потрібно трелювати, оскільки гілки залишаються на місці. Також, гілки, що розкладаються на пасіці, виконують важливу ґрунтозахисну функцію: вони пом'якшують удар крапель дощу, затримують поверхневий стік води, запобігають ерозії та збагачують ґрунт органічними речовинами після перегнивання. Відомо, що трелювання очищених стовбурів є безпечнішим і продуктивнішим, оскільки гілки не чіпляються за перешкоди на шляху руху пачки [2]. Для обрізування гілок використовується та сама бензопила Echo CS-621SX, що забезпечує уніфікацію інструменту. Змінна продуктивність на цій операції є досить високою і становить понад 60 кубічних метрів на зміну, оскільки на обрізування одного

стовбура середнім об'ємом 1,5-2,0 кубічних метра витрачається не більше 1-2 хвилин.

Трелювання деревини – це найбільш відповідальна операція в гірських умовах, оскільки саме на цьому етапі завдається найбільшої шкоди ґрунтовому покриву. Для схилів крутизною 15-20 градусів, які переважають на території Чернівецького надлісництва, пропонується використовувати ливвову трелювальну установку ЛЛ-33, агреговану з трактором IRUM Tagro 102 (Румунія), рисунок 2.1.



Рисунок 2.1 – Трактор IRUM Tagro 102

Ця установка має кілька важливих технічних характеристик, які роблять її придатною для передгірних умов. По-перше, робоча довжина несучого каната становить 400 метрів, що дозволяє трелювати деревину з усієї лісосіки без переміщення установки. По-друге, вантажопідйомність становить 2,0-2,5 тони на один рейс, що відповідає пачці з 2-3 середніх стовбурів або 4-5 дрібних. По-третє, установка може працювати на схилах крутизною до 35 градусів, що забезпечує значний запас стійкості. Принцип роботи є досить простим: у верхній частині лісосіки встановлюють щоглу з блоками, через які пропущено тяговий та несучий канати. Каретка з чокерами рухається вздовж несучого каната, доставляючи пачку на верхній склад. Оператор керує рухом каретки за

допомогою дистанційного пульта, перебуваючи в безпечній зоні остеронь від траси руху каната. Такий спосіб трелювання практично не пошкоджує ґрунт, оскільки пачка деревини та каретка не контактують із земною поверхнею. Єдине, що стикається з ґрунтом – це чокери, але вони ковзають по поверхні, не заглиблюючись [2].

Однак канатна установка не може працювати на всьому шляху від лісосіки до нижнього складу або лісовозної дороги. Тому після доставлення деревини на верхній склад (тимчасовий майданчик біля межі лісосіки) вступає в дію колісний трелювальний трактор TAF 690 S5, рисунок 2.2.



Рисунок 2.2 – Трактор TAF 690 S5

Цей трактор є досить поширеним у лісових господарствах України, оскільки він був розроблений ще в радянський період спеціально для роботи в складних умовах. Він має колісну формулу 4×4 (повний привід), що забезпечує добру прохідність на вологих ґрунтах та схилах. Кліренс (дорожній просвіт) становить 550 міліметрів, завдяки чому трактор може переїжджати через повалені дерева та каміння, не зачіпаючи їх днищем. Шини низького тиску зменшують питомий тиск на ґрунт, але, як уже зазначалося, повністю уникнути пошкодження ґрунтового покриву все одно не вдається [2, 3]. Тому трактор TAF 690 S5 використовується лише на ділянках, де ґрунт є більш стійким до

ущільнення, або на тимчасових волоках, які після завершення робіт підлягають рекультивациі. Для зменшення кількості проходів трактора на верхньому складі організовують накопичення деревини у вигляді штабелів об'ємом 30-50 кубічних метрів, після чого трактор за один рейс перевозить одразу кілька пачок.

Останньою операцією в технологічному ланцюжку лісосічних робіт є навантаження круглих лісоматеріалів на лісовозний транспорт. У багатьох господарствах цю операцію досі виконують вручну за допомогою ваг або естакад, що є важкою, небезпечною та малопродуктивною працею. Для Чернівецького надлісництва пропонується використовувати гідравлічний маніпулятор Loglift 96, який монтується на трактор TAF 690 S5 або на окремий причіп. Цей маніпулятор має виліт стріли до 6,5 метра, кут повороту 360 градусів та вантажопідйомність до 1,5 тони на максимальному вильоті. Захоплювач (грейфер) охоплює пачку сортиментів загальним об'ємом до 1,5-2,0 кубічних метрів і піднімає її на рівень кузова лісовоза [3]. Керування здійснюється з кабіни трактора за допомогою джойстика, що є інтуїтивно зрозумілим навіть для оператора з невеликим досвідом роботи. Використання маніпулятора дає змогу скоротити чисельність робітників на навантаженні з 3-4 осіб до одного оператора, підвищити продуктивність у 2-3 рази та практично виключити травматизм, пов'язаний із падінням колод або перенапруженням м'язів.

Таким чином, запропонована система машин для лісосічних робіт у Чернівецькому надлісництві має такий склад:

- бензопила Echo CS-621SX – для звалювання дерев, зрізування гілок та кряжування.
- лінвова трелювальна установка ЛЛІ-33 на базі трактора IRUM Tagro 102 – для трелювання деревини з пасік до верхнього складу.
- колісний трелювальний трактор TAF 690 S5 – для первинного транспортування деревини від верхнього складу до місця навантаження.

– гідравлічний маніпулятор Loglift 96 – для навантаження лісоматеріалів на лісовозний транспорт.

Така комбінація техніки дозволяє максимально використати переваги кожного типу обладнання та мінімізувати їхні недоліки. Канатна установка забезпечує екологічно безпечне трелювання на схилах, де ґрунт є найбільш вразливим. Колісний трактор бере на себе транспортування на пологіших ділянках та на верхньому складі, де пошкодження ґрунту є менш критичним. А гідроманіпулятор вирішує проблему механізації навантажувальних робіт, яка часто залишається поза увагою при проєктуванні технологічних процесів. У результаті досягається баланс між продуктивністю, економічністю та екологічною безпекою – трьома складовими сталого лісокористування, яке є пріоритетним напрямом розвитку лісового господарства України [2, 3].

2.2 Удосконаленої технологічної схеми розроблення лісосіки

Після того як визначено склад системи машин, які будуть задіяні в лісозаготівельному процесі, необхідно розробити чітку технологічну схему, за якою ці машини взаємодіятимуть між собою в просторі та часі. Технологічна схема – це своєрідний «маршрутний лист» лісосіки, який визначає, в якій послідовності виконуються окремі операції, де саме розташовуються волюки та пасіки, куди слід скеровувати деревину після звалювання та де облаштовувати верхній склад [2]. Для гірських умов Чернівецького надлісництва, де схили мають крутизну 15-20 градусів, ця схема має враховувати не лише технічні, а й природоохоронні вимоги, оскільки будь-яке порушення ґрунтового покриву на схилах може спричинити незворотні ерозійні процеси.

За основу запропонованої технологічної схеми взято принцип поздовжнього (вздовж схилу) трелювання з використанням канатної установки. Цей принцип є класичним для гірських лісозаготівель і полягає в тому, що деревину транспортують знизу вгору (або зверху вниз) вздовж лінії

найбільшого схилу, а не впоперек нього [2]. Коли пачка деревини рухається вздовж схилу, навантаження на канатну систему є рівномірним, а ризик перекидання каретки мінімальним. Якщо ж намагатися трелювати впоперек схилу, виникають бічні зусилля, які можуть спричинити сходження каретки з несучого каната або її заклинювання в блоках. Крім того, рух вздовж схилу дає змогу використовувати силу гравітації: під час спуску порожньої каретки вниз (якщо трелювання виконується знизу вгору) або під час спуску навантаженої каретки (якщо трелювання виконується зверху вниз). У нашому випадку прийнято “трелювання знизу вгору”, тобто порожня каретка під дією власної ваги або з невеликим підгальмовуванням спускається вниз лісосікою, де її зачокерують до стовбурів, після чого лебідка втягує навантажену каретку вгору до верхнього складу.

Розглянемо технологічну схему детально, починаючи з моменту, коли лісосіку вже відведено в рубку, виконано підготовчі роботи (розмічання меж, облаштування верхнього складу, монтаж канатної установки) і бригада приступає до основних робіт.

Розбивання лісосіки на технологічні елементи. Лісосіка, яку відведено для суцільної рубки головного користування, має форму багатокутника, витягнутого вздовж схилу. Її верхня межа проходить уздовж лісовозної дороги або вздовж гребеня хребта, а нижня межа – вздовж підніжжя схилу або природної перешкоди (струмок, яр). Технологічними елементами, на які поділяють лісосіку, є магістральний волок, пасіки та верхній склад. Магістральний волок – це смуга лісосіки завширшки 4-5 метрів, яка проходить уздовж усієї лісосіки в її центральній частині. Він призначений для руху колісного трелювального трактора TAF 690 S5, який після трелювання канатною установкою перевозить деревину з верхнього складу далі. Від магістрального волока в обидва боки під прямим кутом (або під кутом, близьким до прямого) відходять пасіки – смуги лісосіки завширшки 40–50 метрів, у межах яких безпосередньо виконують звалювання дерев та канатне трелювання. Кожна пасіка має власну канатну трасу – лінію, вздовж якої

прокладено несучий канат. Канатна траса проходить через середину пасіки вздовж схилу [2]. Таким чином, у межах однієї лісосіки може бути від 3 до 7 пасік залежно від її ширини.

Звалювання дерев на пасіці. Вальник із бензопилою Echo CS-621SX заходить у пасіку з верхньої її частини (біля верхнього складу) і починає звалювати дерева, рухаючись униз схилом. Це дуже важливий момент: у гірських лісах дерева завжди звалюють вершиною вниз по схилу, навіть якщо це потребує додаткових зусиль для створення направляючого підпилю. Стовбур, який упав вершиною вниз, не буде скочуватися далі – він зачепиться гілками за ґрунт та інші дерева. Якщо ж звалити дерево вершиною вгору, воно під дією сили тяжіння може почати ковзати вниз, набираючи швидкість, і стати неконтрольованим, що створює смертельну небезпеку для працівників, які перебувають нижче. Звалювання виконують під кутом 45–60 градусів до канатної траси, тобто стовбур має лягати не вздовж канатної траси, а під певним кутом до неї [2]. Це потрібно для того, щоб під час трелювання пачка деревини не чіплялася за пні та інші перешкоди. Після того, як звалено 10-15 дерев на ділянці пасіки завдовжки 30-40 метрів, звалювальник повертається до звалюваних стовбурів і виконує обрізування гілок. Гілки він залишає на місці, розкидаючи їх рівномірно по пасіці, щоб вони виконували ґрунтозахисну функцію. Стовбури, очищені від гілок, залишаються лежати на пасіці до моменту, коли до них підійде каретка канатної установки.

Трелювання деревини канатною установкою. Після того як на певній ділянці пасіки накопичилося 10-15 очищених стовбурів, оператор канатної установки ЛЛ-33 починає процес трелювання. Він опускає каретку вниз по схилу на відстань 100-200 метрів (залежно від того, де саме лежать стовбури). Каретка рухається вздовж несучого каната зі швидкістю 2-3 метри на секунду. Коли каретка досягає потрібного місця, оператор зупиняє її, і чокерувальник (один із членів бригади) підходить до каретки, бере чокери (сталеві троси з гаками на кінцях) і закріплює їх на комлях стовбурів. Скільки стовбурів можна приєднати до однієї каретки – залежить від їхнього діаметра та довжини, але в

середньому об'єм пачки становить 1,5-2,0 кубічні метри, що відповідає 2-3 стовбурам бука або 3-4 стовбурам смереки. Після того, як усі чокери закріплено, чокерувальник відходить у безпечну зону (на відстань не менше ніж півтора довжини найдовшого стовбура) і подає сигнал оператору. Оператор вмикає лебідку, яка починає втягувати каретку вгору по схилу. Стовбури, приєднані до каретки, ковзають по поверхні ґрунту, але, оскільки вони очищені від гілок, тертя є мінімальним, а пошкодження ґрунту – незначним. Коли каретка досягає верхнього кінця канатної траси (тобто верхнього складу), оператор зупиняє лебідку, і чокерувальник відчіплює чокери. Стовбури скидають на верхньому складі, утворюючи невеликий штабель. Потім цикл повторюється: каретку знову опускають униз, чокерують наступну групу стовбурів тощо.

Кряжування стовбурів на верхньому складі. На верхньому складі накопичується значна кількість стовбурів, доставлених канатною установкою з різних пасік. Тут вступає в роботу ще один член бригади – кряжувальник. Він бере бензопилу Echo CS-621SX і розпилює кожен стовбур на сортименти заданої довжини. Довжина сортиментів визначається технологічною картою та залежить від вимог замовника або від сортиментного плану підприємства. У типових умовах Чернівецького надлісництва найпоширенішими є такі довжини: 4,0 метри (пиловник), 5,5 метра (балансова деревина для целюлозно-паперової промисловості), 6,0 метрів (пиловник великих розмірів). Під час кряжування важливо дотримуватися не лише заданої довжини, але й якості пропилю: торець має бути рівним, без сколів, оскільки це впливає на ціну деревини. Після розпилювання сортименти сортують за діаметром та довжиною, а потім укладають у штабелі окремо для кожного сортименту. Штабелювання виконують таким чином, щоб між окремими колодами залишалися невеликі проміжки для провітрювання – це запобігає ураженню деревини грибками та комахами.

Первинне транспортування трактором TAF 690 S5. Коли на верхньому складі накопичується 30-50 кубічних метрів відсортованих лісоматеріалів, до

роботи приступає тракторист на колісному тракторі TAF 690 S5. Він під'їжджає до штабеля, формує пачку об'ємом 5-6 кубічних метрів (це відповідає 10-15 колодам залежно від їхнього діаметра) і перевозить її до навантажувального майданчика. Навантажувальний майданчик – це спеціально підготовлене місце біля лісовозної дороги, де встановлено гідравлічний маніпулятор Loglift 96. Відстань від верхнього складу до навантажувального майданчика може становити від 500 до 2000 метрів залежно від конфігурації лісосіки та розташування лісовозної дороги. Трактор TAF 690 S5 долає цю відстань зі швидкістю 8-12 кілометрів на годину, що займає від 2,5 до 15 хвилин в один бік. Важливо, що трактор рухається виключно по магістральному волоку, який було підготовлено заздалегідь. Щоб зменшити кількість рейсів, тракторист намагається формувати максимально можливу пачку, але не більше ніж дозволяє вантажопідйомність трактора (близько 6 тонн) та умови безпеки руху на схилі.

Навантаження лісоматеріалів на лісовозний транспорт. На навантажувальному майданчику оператор гідроманіпулятора Loglift 96, який змонтовано на тому самому тракторі TAF 690 S5 (або на окремому причепі), захоплює грейфером пачку сортиментів об'ємом 1,5-2,0 кубічні метри, піднімає її та подає в кузов лісовозного автомобіля. Лісовозний автомобіль (наприклад, КрАЗ-63221 з лісовозним напівпричепом) стоїть на лісовозній дорозі, примикаючи до навантажувального майданчика. Оператор рівномірно розподіляє сортименти по всьому об'єму кузова, намагаючись укласти їх якомога щільніше, але без надмірного стиснення, яке може пошкодити кору. Після того як кузов заповнено (зазвичай це 25-35 кубічних метрів цільної деревини залежно від вантажопідйомності автомобіля), лісовоз вирушає на нижній склад або безпосередньо споживачу. Навантажувальний майданчик при цьому звільняється, і трактор TAF 690 S5 може продовжити підвезення наступних пачок із верхнього складу.

Очищення лісосіки після завершення рубки. Після того як усі стовбури з лісосіки вивезено, настає черга очищення лісосіки від порубкових решток. Це

обов'язкова вимога лісового законодавства, оскільки залишені на лісосіці гілки, хмиз та вершинки є пожежонебезпечними матеріалами, а також сприяють розмноженню шкідників лісу [2]. Очищення виконують вручну силами тієї самої бригади. Робітники збирають дрібні порубкові рештки в купи, а більші гілки та вершинки або вручну, або за допомогою трактора TAF 690 S5 згрібають у вали, розташовані поперек схилу. Таке поперечне розташування валів має важливе протиерозійне значення: вони затримують поверхневий стік води, сприяють накопиченню вологи та запобігають змиву ґрунту. У деяких випадках, якщо це передбачено технологічною картою, порубкові рештки подрібнюють за допомогою бензопили або спеціального подрібнювача та рівномірно розкидають по лісосіці, щоб пришвидшити їхнє перегнивання та збагачення ґрунту органічними речовинами.

Описана технологічна схема має кілька важливих переваг порівняно з традиційними схемами, які використовуються в більшості лісових господарств України. По-перше, вона забезпечує високий рівень збереження ґрунтового покриву, оскільки основне трелювання виконується канатною установкою, яка не контактує з ґрунтом. По-друге, вона є безпечнішою для працівників, оскільки оператор канатної установки перебуває на відстані від рухомої пачки деревини, а роботи з чокерування виконуються лише після повної зупинки каретки. По-третє, вона дає змогу зменшити кількість проходів техніки по ґрунту до мінімуму – лише трактор TAF 690 S5 рухається по магістральному волоку, та й то лише на ділянці від верхнього складу до навантажувального майданчика. По-четверте, вона є гнучкою – залежно від конкретних умов лісосіки (крутизна схилу, наявність підросту, вологість ґрунту) можна змінювати ширину пасік, відстань між канатними трасами та інші параметри без зміни самої суті технологічного процесу.

Звісно, ця схема не позбавлена недоліків. Головним недоліком є необхідність монтажу та демонтажу канатної установки під час переходу з однієї лісосіки на іншу, що потребує додаткових трудовитрат. Крім того, канатна установка є досить дорогим обладнанням, і не кожне підприємство

може дозволити собі її придбання. Однак для Чернівецького надлісництва, яке розташоване в передгірній зоні Карпат і має значні площі лісів на схилах крутизною 15-20 градусів, такі витрати є цілком виправданими, оскільки вони окупаються за рахунок збереження ґрунтів, зменшення витрат на лісовідновлення та підвищення безпеки праці.

На рисунку (у графічній частині роботи) наведено схематичне зображення запропонованої технологічної схеми з позначенням усіх основних елементів: лісовозної дороги, навантажувального майданчика, магістрального волока, верхнього складу, пасік, канатних трас та напрямків руху техніки. У тексті роботи також подано детальний опис кожного елемента та його функціонального призначення.

2.3 Встановлення параметрів технологічних елементів з метою мінімізації пошкодження ґрунту та підросту

Проектування технологічних елементів лісосіки є одним із найважливіших завдань під час розроблення будь-якої технологічної схеми лісозаготівельних робіт. Від того, наскільки правильно визначено ширину пасік, розташування та ширину волоків, залежить не лише продуктивність роботи техніки, але й ступінь пошкодження ґрунтового покриву, збереження підросту та успішність природного лісовідновлення після рубки [2]. Для умов Чернівецького надлісництва, де схили у багатьох випадках мають крутизну 15-20 градусів, а ґрунти є досить вразливими до ерозії, ці параметри потребують особливо ретельного обґрунтування.

Оскільки в межах цієї роботи ми розглядаємо лісосіку площею 1 гектар, це дає змогу чітко уявити її геометричні розміри та спроектувати розташування всіх технологічних елементів на обмеженій території. Лісосіка площею 1 гектар зазвичай має форму прямокутника або квадрата. Для зручності організації робіт із урахуванням поздовжнього трелювання вздовж схилу приймемо, що лісосіка

втягнута вздовж схилу під кутом: її довжина (від верхньої до нижньої межі) становить 200 метрів, а ширина (впоперек схилу) – 50 метрів [2]. Така форма є типовою для гірських лісосік, оскільки вона дозволяє максимально використати переваги канатного трелювання та мінімізувати довжину магістральних волоків.

Визначення ширини пасіки. Пасікою називають частину лісосіки, у межах якої виконують звалювання дерев та трелювання деревини однією канатною трасою або одним волоком. Ширина пасіки безпосередньо впливає на кількість канатних трас на лісосіці, відстань, на яку чокерувальник має відтягувати стовбури до канатної траси, та ступінь пошкодження підросту. Занадто широка пасіка призводить до того, що стовбури, звалені на значній відстані від канатної траси, важко підтягувати до неї, а чокери можуть пошкоджувати кору дерев, що залишаються на сусідніх пасіках. Занадто вузька пасіка збільшує кількість канатних трас, а отже, збільшує трудовитрати на монтаж та демонтаж канатної установки, а також зменшує корисну площу лісосіки [2].

Для умов Чернівецького надлісництва, де схили мають крутизну 15-20 градусів, а середній об'єм стовбура становить 1,5-2,0 кубічних метри, оптимальна ширина пасіки визначена емпіричним шляхом на основі досвіду роботи лісозаготівельних підприємств Карпатського регіону. Вона становить 40-50 метрів. У випадку меншої ширини, наприклад 30 метрів, тоді на лісосіці довжиною 200 метрів і шириною 50 метрів знадобиться дві канатні траси (оскільки $50 \text{ метрів} / 30 \text{ метрів} \approx 1,7$, тобто дві траси). Це можливо, але призведе до подвоєння витрат на монтаж обладнання. Якщо прийняти ширину 50 метрів, то достатньо однієї канатної траси, розташованої посередині лісосіки. Такий підхід є більш економічним, оскільки зменшує кількість підготовчих робіт. Однак ширина пасіки 50 метрів вимагає, щоб чокерувальник відтягував стовбури дерев, звалених біля межі пасіки, на відстань до 25 метрів до канатної траси. Це цілком прийнятно, оскільки чокери мають довжину 5 метрів, а стовбури можна підтягувати за допомогою ручної лебідки або

трактора [2, 3]. Тому для нашої лісосіки площею один гектар приймаємо ширину пасіки 50 метрів. Це означає, що вся лісосіка буде однією пасікою, а канатна траса проходитиме через її середину вздовж схилу.

Визначення ширини та розташування волоків. Волоки – це смуги лісосіки, якими переміщується техніка під час трелювання та первинного транспортування деревини. Залежно від призначення розрізняють магістральні волоки та пасічні волоки. Магістральний волок призначений для руху колісного трелювального трактора TAF 690 S5, який перевозить деревину з верхнього складу до навантажувального майданчика. Пасічні волоки – це тимчасові шляхи, якими чокерувальник або трактор підтягують стовбури до канатної траси.

Ширина магістрального волока визначається габаритними розмірами трактора TAF 690 S5 та необхідністю забезпечити безпечний проїзд із пачкою деревини. Трактор TAF 690 S5 має ширину колії 1800 міліметрів, а з урахуванням навісного обладнання та пачки деревини (стовбури можуть виступати за габарити трактора на 0,5-1,0 метра з кожного боку) ширина магістрального волока має становити не менше 4,0 метрів. У гірських умовах, де схили є нестабільними, доцільно збільшити ширину волока до 5,0 метрів, щоб забезпечити простір для маневрування трактора під час розвороту або у разі незначного зсуву ґрунту. Однак збільшення ширини волока означає збільшення площі пошкодженого ґрунту, тому потрібно шукати компроміс. Для нашої лісосіки площею один гектар приймаємо ширину магістрального волока 4,0 метра. Це дає змогу трактору вільно рухатися навіть у складних умовах, але не надто збільшує пошкоджену площу.

Магістральний волок на лісосіці площею один гектар доцільно розташувати вздовж її верхньої межі, тобто паралельно лісовозній дорозі. Це обґрунтовано тим, що верхній склад, куди канатна установка доставляє деревину, розташований у верхній частині лісосіки [2]. Якщо магістральний волок проходить уздовж верхньої межі, тоді трактор TAF 690 S5 може одразу

після завантаження на верхньому складі виїхати на волок і рухатися вздовж нього до навантажувального майданчика. Якщо магістральний волок розташувати в центрі лісосіки, трактору доведеться щоразу перетинати всю лісосіку, що збільшить шлях та пошкодження ґрунту. Отже, для нашої лісосіки магістральний волок проходитиме вздовж її верхньої межі на відстані 5 метрів від неї. Його довжина дорівнює ширині лісосіки, тобто 50 метрів. Площа магістрального волока становить $4,0 \text{ метра} \times 50 \text{ метрів} = 200 \text{ квадратних метрів}$, що дорівнює 2,0 % площі лісосіки.

Пасічні волоки у запропонованій технологічній схемі, по суті, відсутні, оскільки основне трелювання виконується канатною установкою, а не колісним трактором. Єдине, що можна назвати пасічним волоком – це смуга вздовж канатної траси, по якій переміщуються чокери та ковзають стовбури. Але ця смуга не зазнає впливу коліс техніки, тому її пошкодження є мінімальним. Ширина цієї смуги становить приблизно 1,5-2,0 метри (діаметр зони контакту стовбурів із ґрунтом). Оскільки канатна траса проходить через усю лісосіку вздовж схилу на довжину 200 метрів, площа такої смуги становить $2,0 \text{ метра} \times 200 \text{ метрів} = 400 \text{ квадратних метрів}$, тобто 4,0 % площі лісосіки. Однак це не є пошкодженням ґрунту в класичному розумінні, оскільки ґрунт не ущільнюється колесами, а лише частково зсувається стовбурами, що ковзають. До того ж ця смуга згодом легко відновлюється природним шляхом.

Оцінка пошкодження ґрунту та підросту. Головним критерієм якості будь-якої технологічної схеми в гірських умовах є мінімізація площі ґрунту, на якій техніка безпосередньо контактує з поверхнею. Для традиційних технологій, де використовують лише колісні трелювальні трактори, площа пошкодженого ґрунту може сягати 25-30 відсотків площі лісосіки. Це відбувається тому, що трактор рухається по всій лісосіці, утворюючи мережу волоків, а також розвертається на пасіках, ущільнюючи ґрунт на значних площах.

У запропонованій технологічній схемі з використанням канатної установки площа ґрунту, яка безпосередньо контактує з колесами техніки, обмежується лише магістральним волоком, оскільки канатна установка не контактує з ґрунтом, а чокери лише ковзають по поверхні. Таким чином, загальна площа пошкодженого ґрунту (ущільненого колесами трактора) становить 200 квадратних метрів, тобто 2,0 % площі лісосіки. Якщо додати смугу вздовж канатної траси (400 квадратних метрів, але це не ущільнення, а лише зсування), то загальна площа порушеного ґрунту становитиме близько 6,0 %. Це у 4-5 разів менше, ніж за традиційних технологій.

Щодо збереження підросту, то тут переваги канатного трелювання є ще більш очевидними. Підріст – це молоді дерева висотою до 1,5–2,0 метрів, які ростуть під пологом материнського лісу. Під час суцільної рубки підріст, як правило, гине або зазнає серйозних пошкоджень, якщо через нього проходить техніка. У традиційних технологіях підріст зберігається лише на ділянках, які не потрапили під колеса тракторів та не були завалені зваленими деревами [2]. Збереженість підросту зазвичай не перевищує 30-40 відсотків.

У запропонованій технологічній схемі підріст зберігається на всій площі лісосіки, за винятком магістрального волока (2,0 % площі) та вузької смуги вздовж канатної траси (близько 4 %). Однак слід враховувати, що під час звалювання дерев частина підросту все одно буде пошкоджена падаючими стовбурами. Це неминуче за будь-якої технології. Досвід показує, що при вмілому звалюванні (вершиною вниз по схилу, з використанням направляючих пристроїв) можна зберегти до 60-70 % підросту на площі, де не проходить техніка. Таким чином, загальна збереженість підросту в запропонованій технології може сягати 50-60 %, що є дуже високим показником для суцільних рубок.

Розрахунок питомих показників для лісосіки площею 1 гектар. Зведемо всі розраховані параметри в таблицю 2.1 для зручності.

Таблиця 2.1 – Параметри технологічних елементів лісосіки площею 1 га

Назва параметра	Одиниця вимірювання	Позначення	Значення
1	2	3	4
Площа лісосіки	га	S	1,0
Довжина лісосіки (вздовж схилу)	м	L	200
Ширина лісосіки (впоперек схилу)	м	B	50
Крутизна схилу	градуси	α	15-20
Ширина пасіки	м	$b_{\text{П}}$	50
Кількість пасік на лісосіці	шт.	$n_{\text{П}}$	1
Ширина магістрального волока	м	$b_{\text{МВ}}$	4,0
Довжина магістрального волока	м	$l_{\text{МВ}}$	50
Площа магістрального волока	м ²	$S_{\text{МВ}}$	200
Частка площі магістрального волока	%	$\delta_{\text{МВ}}$	2,0
Ширина смуги вздовж канатної траси	м	$b_{\text{КТ}}$	2,0
Довжина канатної траси	м	$l_{\text{КТ}}$	200

Продовження таблиці 2.1

Площа смуги вздовж канатної траси	м ²	$S_{кт}$	400
Частка площі смуги вздовж канатної траси	%	$\delta_{кт}$	4,00
Загальна площа порушеного ґрунту (разом із канатною трасою)	м ²	$S_{пор}$	600
Загальна частка порушеного ґрунту	%	$\delta_{пор}$	6,0
Очікувана збереженість підросту	%	$P_{зб}$	50-60

Важливо зазначити, що наведені параметри є оптимальними для схилів крутизною 15-20 градусів. Якщо крутизна схилу буде більшою (понад 25 градусів), ширину пасіки слід зменшити до 30-40 метрів, щоб зменшити ризик сходження каретки з каната через бічні навантаження. Якщо крутизна схилу буде меншою (до 10 градусів), ширину пасіки можна збільшити до 60-70 метрів, що дасть змогу зменшити кількість канатних трас. Умови Чернівецького надлісництва, де переважають схили 15-20 градусів, є цілком сприятливими для застосування запропонованих параметрів.

Практичні рекомендації щодо розмітки технологічних елементів на місцевості. Після того як лісосіку відведено в рубку та складено технологічну карту, необхідно виконати розмітку технологічних елементів на місцевості. Цю роботу виконує майстер лісу разом із лісничим. Межі лісосіки позначають візирами (просіками) шириною 0,5-1,0 метра, які прорубують через кожні 50-100 метрів. Магістральний волок позначають кілками або затісками на деревах

через кожні 20-30 метрів. Канатну трасу позначають так само, але з меншим кроком (10-15 метрів), оскільки вона потребує точного витримування напрямку. Верхній склад обирають на верхній межі лісосіки в місці, де ґрунт є найбільш рівним і стійким [2]. Його розміри мають бути не меншими ніж 20×20 метрів, щоб забезпечити простір для маневрування канатної установки, трактора та складування деревини.

Таким чином, запропоновані параметри технологічних елементів – ширина пасіки 50 метрів, ширина магістрального волока 4,0 метра, розташування канатної траси посередині лісосіки вздовж схилу – забезпечують мінімізацію пошкодження ґрунту (лише 6,0 % площі) та високу збереженість підросту (до 50-60 %). Це робить запропоновану технологію придатною для застосування в передіірних умовах Чернівецького надлісництва з урахуванням вимог сталого лісокористування. За даним матеріалів “План лісоуправління на 2026 рік (проект)”, фактичний обсяг заготівлі на одному гектарі становить для рубок:

- загальний обсяг заготівлі (всі рубки) – 215 528 м³;
- рубки головного користування – 139 913 м³. Згідно завдання – 10 500 м³ для рубок на гірських схилах крутизною 15-20 градусів.;
- рубки формування та оздоровлення – 75 615 м³.

Було прийнято середній об’єм стовбура, який у багатьох випадках залежить від стану лісового фонду філії, який відведено у рубку:

- на РГК – 1,80 м³.

Весь об’єм лісозаготівлі від РГК, розташований на гірських схилах у межах 11-30⁰, що відповідає спадистим та стрімким схилам. Ця особливість рельєфу місцевості відображає складність проведення робіт з трелювання деревини.

Одним із основних визначальних факторів в умовах підприємства лісового господарства, що характеризує виробництво, є розмір річної лісосіки, яка встановлюється для суцільних рубок головного користування так і

планових обсяг заготівлі деревини які виконуються в під час рубок формування і оздоровлення лісів, рисунок 2.3.

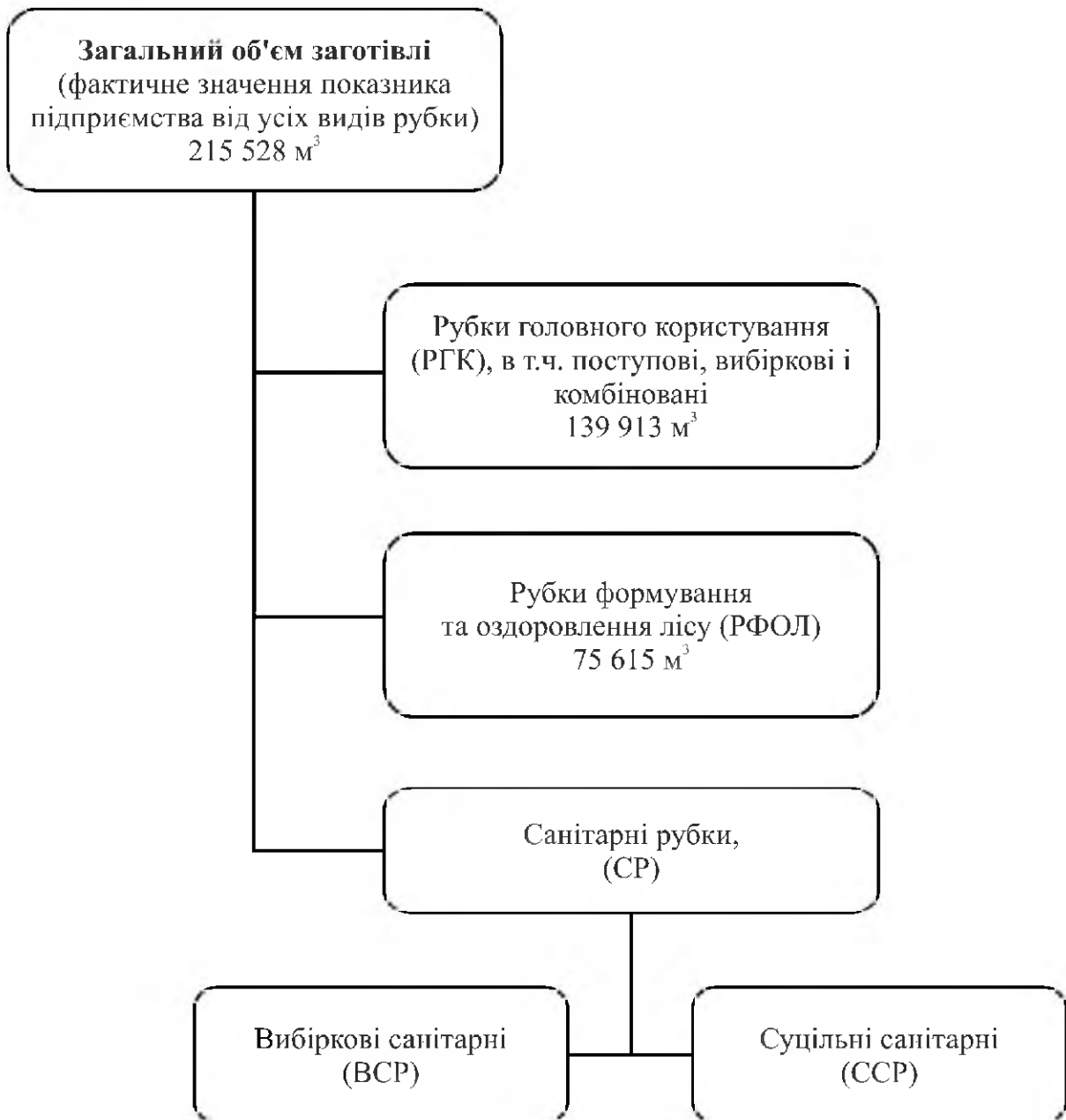


Рисунок 2.3 – Системи рубок та фактичний обсяг заготівлі [1]

Виконаємо визначення площі лісосік за такою формулою

$$S_{p.l.} = \frac{Q_p}{M},$$

де Q_p – обсяг заготівлі, м³;

M – запас деревини, м³/га.

Тоді, для РГК

$$S_{p.л.} = \frac{10500,0}{175,0} = 60,00 \text{ га.}$$

Встановлено, що відведені лісосіки у рубку філії, як по факту у 2025 так і у планах на 2026, є достатньо віддалені від лісових доріг та доріг загального призначення, що створює необхідність складнощі під час трелювання.

З огляду на рекреаційну цінність лісового фонду філії та екологічну ситуацію у гірській місцевості, а також стан лісовозних доріг, ми плануємо освоєння лісових масивів у два етапи, переміщуючи деревину до верхніх складів, а потім виконуючи перевинне транспортування до відвантажувальних майданчиків, які примикають до доріг.

2.4 Розрахунок продуктивності прийнятих машин та устаткування

Після того як визначено склад системи машин для лісосічних робіт та розроблено технологічну схему розроблення лісосіки, настає черга кількісного оцінювання їхньої роботи. Розрахунок продуктивності є ключовим етапом технологічного проектування, оскільки саме на його основі визначають необхідну кількість машин, чисельність робітників у бригаді, тривалість освоєння однієї лісосіки та, зрештою, економічну доцільність запропонованої технології [2, 3]. Для умов Чернівецького надлісництва, де схили мають крутизну 15-20 градусів, а річні обсяги заготівлі деревини є достатньо великими, продуктивність машин розраховується з урахуванням поправочних коефіцієнтів, які враховують вплив рельєфу, породного складу насаджень, середнього об'єму стовбура та інших факторів.

Перш ніж перейти безпосередньо до розрахунків, зазначимо вихідні дані, які є спільними для всіх машин [3]. Тривалість робочої зміни в лісовому господарстві України становить 8 год, або 28800 с. У гірських умовах через

підвищену небезпеку робіт та необхідність додаткових пауз на відпочинок коефіцієнт використання робочого часу дещо нижчий, ніж на рівнинних лісосіках. Для розрахунків приймаємо коефіцієнт використання робочого часу 0,85 для всіх машин, крім бензопили, для якої цей коефіцієнт становить 0,80 (оскільки робота вальника є фізично важчою і потребує більш частих пауз). Також ураховуємо, що лісосіка має площу 1 гектар, довжину вздовж схилу 200 метрів, а середній об'єм стовбура для букових та смерекових насаджень Чернівецького надлісництва становить 1,80 кубічних метри для рубок головного користування.

Кількість машин та устаткування для виконання робіт з заготівлі деревини на всіх операціях визначаємо за формулою (2.1)

$$n_m = \frac{Q^i}{\Pi_i \cdot A \cdot z}, \quad (2.1)$$

де Q^i – обсяг роботи, м³. [1];

z – прийнята кількість змін, $z=1$ зміна;

Π_i – числове значення змінної продуктивності на окремих операціях виробничого процесу, м³/зм.

Для встановлення продуктивності машин й обладнання використаємо загальну формулу

$$\Pi_{зм} = \frac{(T - t_{n.з}) \cdot c_1 \cdot q_{см}}{t}, \quad (2.2)$$

де T – тривалість зміни, приймаємо для всіх операцій $T = 28800$ с, [2];

c_1 – коефіцієнт використання часу на операції, яка залежить від характеру операції [2, 3];

$t_{n.з}$ – тривалість виконання підготовчих робіт приймемо рівню $t_{n.з} = 1800$ с, [2, 3];

$q_{см}$ – об'єму стовбура, $q_{см} = 1,80$ м³;

Розрахунок продуктивності бензопили Echo CS-621SX на звалюванні дерев. Звалювання дерев є першою операцією в технологічному ланцюжку. Від того, наскільки швидко та якісно звалювальник звалює дерева, залежить ритм роботи всієї бригади. Продуктивність бензопили на звалюванні визначається за формулою (2.2), а їх кількість за формулою (2.1). Результат виконано розрахунку наведено у додатку А та зведено у таблицю 2.2.

Середній час на звалювання одного дерева в гірських умовах залежить від діаметра стовбура, крутизни схилу та досвіду звалювальника. Для дерев діаметром 40-50 сантиметрів, які переважають у стиглих насадженнях Чернівецького надлісництва, час на звалювання становить приблизно 90-120 секунд. До цього часу входить: оцінювання напрямку падіння дерева (15-20 с), виконання направляючого підпилу (25-30 с), виконання основного пропилу (30-40 с), контроль падіння дерева та відхід у безпечну зону (10-15 с) [2]. Для розрахунку приймаємо $t_{зв}=105$ секунд.

Отримане значення продуктивності 130,18 кубічних метрів на зміну – є теоретично можливим за ідеальних умов. Однак у реальних гірських умовах, де звалювальник мусить пересуватися по схилу, витрачаючи додаткові зусилля та час, фактична продуктивність буде нижчою. Крім того, слід ураховувати, що звалювальник працює не один, а в складі бригади, і його робота узгоджується з роботою чокерувальників та оператора канатної установки [2, 3]. Тому для подальших розрахунків приймаємо продуктивність бензопили на звалюванні 130,18 м³/зм. Це означає, що за одну зміну один звалювальник може звалити близько 195 дерев (оскільки $350 / 1,8 \approx 194,4$).

Розрахунок продуктивності бензопили Echo CS-621SX на обрізуванні гілок. Після того як дерево звалено, необхідно очистити стовбур від гілок. Ця операція є менш відповідальною, але також потребує часу та фізичних зусиль. Продуктивність бензопили на цій операції визначається за формулою (2.2), а їх кількість за формулою (2.1). Результат виконано розрахунку наведено у додатку А та зведено у таблицю 2.2.

Час на зрізування гілок залежить від породи дерева, його діаметра та густоти крони. Для бука, який має густу крону з великою кількістю тонких гілок, обрізування триває довше, ніж для смереки, гілки якої розташовані більш рівномірно та легше відокремлюються. У середньому для дерев діаметром 40-50 сантиметрів час на зрізування гілок становить 60-90 секунд [3]. Приймаємо $t_{зр}=75$ секунд.

Теоретична продуктивність на зрізуванні гілок є вищою, ніж на звалюванні, оскільки сама операція є менш складною. Однак на практиці звалювальник, який щойно звалив дерево, одразу його й обрізує, тому ці дві операції виконуються послідовно. Фактична комплексна продуктивність (звалювання плюс обрізування) буде нижчою за кожен з них окремо. Для розрахунку потреби в пилках нам важливіше знати, скільки часу займає оброблення одного стовбура в середньому [3]. Продуктивність пилки на операції зрізування гілок визначається за формулою (2.2), а їх кількість за формулою (2.1). Результат виконано розрахунку наведено у додатку А та зведено у таблицю 2.2.

У зв'язку з прийнятою технологією та послідовністю виконання операцій проведемо розрахунок величини комплексної продуктивності пилки за такою формулою

$$P_k = \frac{P_{зв} \cdot P_{зр}}{P_{зв} + P_{зр}}, \quad (2.3)$$

де $P_{зв}$, $P_{зр}$ – числові значення продуктивностей пилки Echo CS-621SX відповідно на двох окремих операціях, див. вище, м³/зм.

$$P_k = \frac{130,18 \cdot 111,09}{130,18 + 111,09} = 59,94 \text{ м}^3/\text{зм}.$$

Розрахунок продуктивності ланкової трелювальної установки ЛЛ-33. Трелювання деревини канатною установкою є ключовою операцією, яка визначає загальну продуктивність усієї лісозаготівельної бригади в гірських умовах. Продуктивність канатної установки залежить від відстані трелювання,

об'єму пачки, швидкості руху каретки та часу на допоміжні операції (чокерування та відчіплювання).

Згідно з технічними характеристиками установки ЛЛ-33, максимальний об'єм пачки становить 2,5 м³. Однак у гірських умовах, особливо на схилах крутизною 15-20 градусів, не рекомендується завантажувати установку на максимум, оскільки це збільшує навантаження на несучого каната та ризик його обриву [2, 3]. Оптимальним вважається об'єм пачки 1,5 м³, що відповідає 1-2 стовбурам бука або стовбурам смереки. Приймаємо $Q_{п}=1,5$ м³.

Так як, лісосіка має довжину вздовж схилу 200 метрів. Канатна траса проходить через усю лісосіку від верхньої до нижньої межі. Стовбури можуть лежати на різній відстані від верхнього складу: одні – ближче (50-100 м), інші – далі (150-200 м). Середня відстань трелювання становить приблизно половину довжини лісосіки, тобто 100 метрів. Однак слід урахувувати, що каретка щоразу повертається до верхнього складу, тому фактична відстань, яку проходить каретка за один цикл, дорівнює подвоєній середній відстані: 200 метрів (100 м вниз порожньою, 100 м вгору навантаженою) [2]. Для розрахунку приймаємо $l_{тр}=100$ м (в один бік).

Швидкість руху порожньої каретки вниз по схилу під дією сили тяжіння становить приблизно 3,0 м/с. Однак для безпеки руху її обмежують гальмівним пристроєм до 2,5 м/с. Приймаємо $v_x=1,8$ м/с. Швидкість руху навантаженої каретки вгору під дією лебідки становить 1,5-2,0 м/с залежно від маси пачки [3]. Приймаємо $v_p = 1,1$ м/с.

Тривалість чокерування – це закріплення чокерів на відземках стовбурів. На один стовбур витрачається приблизно 40-50 секунд. Для пачки з 2 стовбурів час на чокерування становитиме 80-100 секунд [2]. Крім того, чокерувальнику потрібно підійти до стовбурів, що займає додатковий час. На основі розрахунку (див. додаток) приймаємо $t_3 = 276$ секунд.

Відчіплювання пачки на верхньому складі є простішою операцією, оскільки чокери легко знімаються з комлів, коли натяг каната ослаблено. На відчіплювання одного стовбура витрачається 15-20 секунд, на пачку з 2 стовбурів – 30-40 секунд. На основі розрахунку (див. додаток) приймаємо $t_4 = 141,6$ секунд.

Отже, продуктивність установки ЛЛ-33 на операції трелювання гілок визначається за формулою (2.2), а їх кількість за формулою (2.1). Результат виконано розрахунку наведено у додатку А та зведено у таблицю 2.2.

Розрахунок продуктивності бензопили Echo CS-621SX на кряжуванні. Кряжування – це розпилювання стовбура на сортименти заданої довжини. Ця операція виконується не на пасіці, а на верхньому складі, після того як стовбури доставлено канатною установкою. Продуктивність на кряжуванні залежить від кількості пропилів, яку потрібно зробити на одному стовбурі. Для стовбура довжиною 20-25 метрів, який розпилюють на сортименти довжиною 4-6 метрів, кількість пропилів становить від 3 до 5. Час на один пропил – приблизно 10-15 секунд (з урахуванням переходу між пропилами) [2]. Таким чином, час на кряжування одного стовбура становить 40-75 секунд. Приймаємо $t_{кр}=60$ секунд.

Однак слід урахувати, що кряжувальник працює на верхньому складі, де умови є більш комфортними, ніж на пасіці (рівна поверхня, відсутність нахилу). Тому фактична продуктивність може бути близькою до теоретичної. Продуктивність пилки на операції зрізування гілок визначається за формулою (2.2), а їх кількість за формулою (2.1). Результат виконано розрахунку наведено у додатку А та зведено у таблицю 2.2. Приймаємо продуктивність канатної установки ЛЛ-33 – 47,20 м³/зм.

Трактор TAF 690 S5 використовується для первинного транспортування деревини від верхнього складу до навантажувального майданчика. Його

продуктивність визначається за формулою (2.4), з урахуванням швидкостей руху та відстаней переміщення деревини (рисунок 2.4).

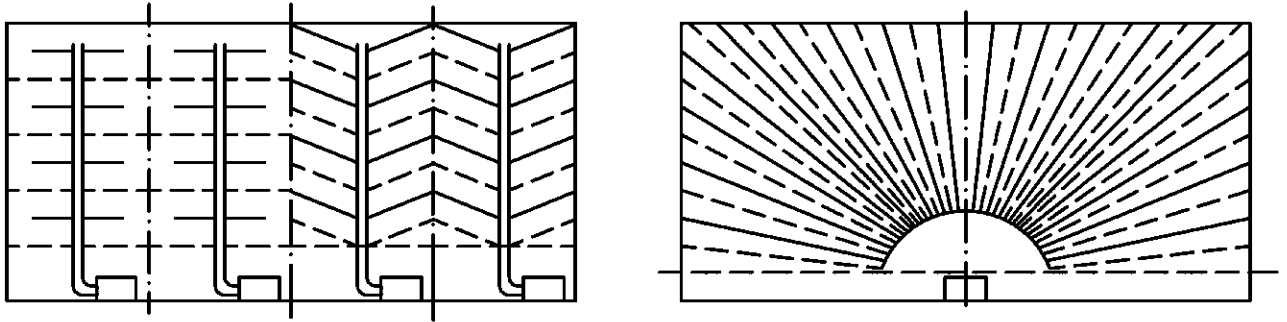


Рисунок 2.4 – Варіанти радіальних схем трелювальних волоків для канатної установки ЛЛ-33

Трактор TAF 690 S5 може трелювати пачку об'ємом до 5-8 м³. Однак на схилах крутизною 15-20 градусів через обмежену стійкість трактора об'єм пачки слід зменшити до 5,4 м³ (рисунок 2.5). Приймаємо $Q_{п}=5,4$ м³.

Так як, верхній склад розташовано у верхній частині лісосіки, навантажувальний майданчик – на лісовозній дорозі, яка проходить уздовж верхньої межі лісосіки. Відстань між ними залежить від конфігурації лісосіки та розташування верхнього складу [2]. У нашому випадку, коли магістральний волок проходить уздовж верхньої межі, відстань транспортування становить 1500-2000 метрів. Приймаємо $l_{сер}=1800$ м (в один бік).

Швидкість руху трактора без вантажу на рівній поверхні становить 15–20 км/год, але на волоку, який може бути вологим та нерівним, вона знижується до 16 км/год (приймаємо $v_x = 4,5$ м/с). Швидкість руху з вантажем становить 8 км/год (приймаємо $v_p = 2,7$ м/с).

Формування пачки включає під'їзд трактора до штабеля на верхньому складі, чокерування 3-5 стовбурів (оскільки об'єм пачки 5,5 м³, а середній об'єм стовбура 1,80 м³, то в пачці буде 3 стовбури). Час на чокерування одного стовбура – 40-50 секунд, тобто на 3 стовбури – 120-150 секунд. Плюс час на

під'їзд та маневрування – 30 секунд [3]. На основі проведеного розрахунку приймаємо $t_3 = 543,76$ секунд.

На навантажувальному майданчику трактор зупиняється, і оператор знімає чокери зі стовбурів. Це займає 20-30 секунд на один стовбур, тобто на 3 стовбури – 60-90 секунд. На основі проведеного розрахунку приймаємо $t_4 = 267,6$ секунд.

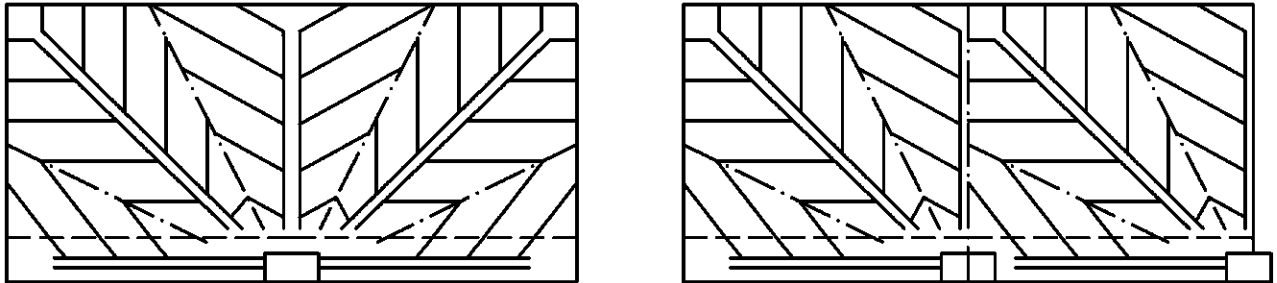


Рисунок 2.5 – Варіанти радіальних схем трелювальних волоків для технології для комбінованого використання трелювальних тракторів та канатної установки ЛЛ-33

Отже, продуктивність трактора TAF 690 S5 на операції трелювання визначається за формулою (2.2) з врахуванням $t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 1838,36$ с, а їх кількість за формулою (2.1). Результат виконано розрахунку наведено у додатку та зведено у таблицю 2.2.

Розрахунок роботи транспортних засобів на вивезені заготовленої деревини, відповідно й обслуговуючого персоналу, у запроєктованому виробничому процесі не проводимо, так як ці роботи не включаються у формування комплексної бригади для заготівлі деревини.

На основі виконаних розрахунків та прийнятих рішень формуємо відомість необхідної кількості машин, устаткування та робітників для проведення запроєктованих рубок (таблиця 2.2). Результати розрахунку продуктивності підтверджують, що запропонована система машин є збалансованою та здатною ефективно працювати в умовах Чернівецького надлісництва.

2.5 Кінематика та маневреність лісозаготівельної техніки на лісосіці

Ефективність роботи будь-якої лісозаготівельної техніки в гірських умовах визначається не лише її продуктивністю [5-7], але й здатністю переміщатися схилами, долати перешкоди, виконувати розвороти на обмеженому просторі та безпечно маневрувати між пнями, поваленими деревами та іншими об'єктами. Для умов Чернівецького надлісництва, де лісосіки розташовані на схилах крутизною 15-20 градусів, а ґрунти є помірно вологими, найбільш вимогливою до кінематичних параметрів є колісна техніка. Саме тому в цьому підрозділі основну увагу приділено трельовальному трактору TAF 690 S5, який виконує первинне транспортування деревини від верхнього складу до навантажувального майданчика.

Трактор TAF 690 S5 (Румунія) був розроблений роках спеціально для роботи в умовах гірських та передгірних лісів. Його конструкція поєднує в собі елементи сільськогосподарського трактора загального призначення та спеціалізованого лісогосподарського обладнання. Від сільськогосподарських тракторів він успадкував надійну ходову частину з колісною формулою 4×4 (повний привід), що забезпечує добру прохідність на вологих ґрунтах та помірних схилах. Від спеціалізованих лісогосподарських машин він отримав підвищений кліренс (дорожній просвіт), посилену раму та захисні каркаси, які оберігають кабіну та двигун від пошкоджень під час роботи в лісі.

Поворот трактора TAF 690 S5 здійснюється за допомогою шарнірно-зчленованої рами, яка є характерною особливістю цієї моделі. Така конструкція означає, що трактор складається з двох напіврам – передньої, на якій змонтовано двигун та кабіну, та задньої, на якій розташовані основні вузли трансмісії та навісне обладнання. Ці дві напіврами з'єднані вертикальним шарніром, який дозволяє їм повертатися одна відносно одної на кут до 42 градусів у кожную сторону. Завдяки такому компоюванню трактор має надзвичайно малий радіус повороту – лише 7,2 метра за зовнішнім габаритом та 4,5 метра за внутрішнім. Для порівняння, звичайний колісний трактор з

керованими передніми колесами має радіус повороту 10-12 метрів. Маневреність TAF 690 S5 є вирішальною перевагою під час роботи на лісосіці, де простір для розвороту обмежений стовбурами дерев, пнями та штабелями деревини.

Ширина колії трактора становить 1800 міліметрів, що відповідає ширині магістрального волока 4,5 метра, прийнятого в підрозділі 2.3. Така ширина забезпечує запас простору для маневрування – відстань від зовнішнього краю колеса до межі волока становить приблизно 1,35 метра з кожного боку. Цього достатньо, щоб трактор міг розвернутися навіть на вузькому волоку, використовуючи шарнірно-зчленовану раму [4].

Колісна база (відстань між передньою та задньою осями) становить 2800 міліметрів. Це забезпечує добру поздовжню стійкість трактора під час руху на схилах. Чим довша база, тим менше трактор розгойдується в поздовжній площині та тим менший ризик перекидання вперед або назад під час подолання крутих підйомів. Для схилів крутизною 15-20 градусів бази 2800 міліметрів є цілком достатньою.

Кліренс трактора, тобто відстань від найнижчої точки рами до поверхні ґрунту, становить 550 міліметрів. Цей параметр є критично важливим для роботи на лісосіці, де на шляху трактора можуть траплятися пні заввишки 200-300 міліметрів, повалені гілки, каміння та інші перешкоди. Кліренс 550 міліметрів дозволяє трактору переїжджати через більшість таких перешкод, не зачіпаючи їх днищем. Якщо порівняти зі звичайним сільськогосподарським трактором, кліренс якого рідко перевищує 350-400 міліметрів, то перевага TAF 690 S5 стає очевидною.

Одним із найважливіших питань під час експлуатації будь-якої техніки в гірських умовах є стійкість проти перекидання [3]. Для трактора TAF 690 S5 критичний кут поперечного схилу, за якого виникає ризик перекидання на бік, становить 25 градусів. Це означає, що на схилах крутизною до 25 градусів трактор може рухатися впоперек схилу (наприклад, під час розвороту або переміщення між волоками) без значного ризику перекидання. Для

поздовжнього руху (вгору або вниз по схилу) критичний кут є дещо більшим – до 30 градусів [3]. Оскільки в умовах Чернівецького надлісництва крутизна схилів становить 15-20 градусів, трактор працює у зоні безпечних кутів нахилу навіть під час руху з пачкою деревини.

Однак слід ураховувати, що на стійкість впливає не лише крутизна схилу, але й стан ґрунту, наявність вологи та тип шин. На вологих глинистих ґрунтах зчеплення коліс із поверхнею погіршується, що може призвести до ковзання навіть на менш крутих схилах. Крім того, під час руху з пачкою деревини центр ваги трактора зміщується вгору та назад (оскільки пачка чокається ззаду), що зменшує стійкість на підйомах. Тому в технологічній карті кожної лісосіки обов'язково зазначають максимально допустиму крутизну схилу для руху з вантажем та без вантажу.

На лісосіці трактор TAF 690 S5 виконує відносно складні маневри [4]. Основний маршрут трактора проходить по магістральному волоку, який розташований уздовж межі лісосіки. Довжина цього маршруту становить 50 метрів (від одного краю лісосіки до іншого). Трактор виїжджає з верхнього складу, де він сформував пачку деревини, рухається по магістральному волоку до навантажувального майданчика, розчокерує пачку, а потім повертається порожнім назад. Наприкінці магістрального волока йому потрібно розвернутися, щоб рухатися в зворотному напрямку.

Розвертання трактора на магістральному волоку шириною 4,5 метра є можливим завдяки шарнірно-зчленованій рамі. Процедура виглядає так. Трактор під'їжджає до кінця волока, зупиняється. Потім водій повертає кермо, що призводить до згинання рами на максимальний кут (близько 42 градусів). Після цього трактор рухається вперед, описуючи дугу, і за один прийом (без додаткового маневрування) розвертається на 180 градусів. Діаметр розвороту при цьому становить приблизно 9 метрів. Таким чином, трактор може розвернутися навіть на волоку довжиною 10-12 метрів, що значно розширює його можливості на лісосіці.

Крім руху по магістральному волоку, трактору іноді доводиться заїжджати на верхній склад, щоб сформувати пачку. Верхній склад має розміри 20×20 метрів, що є достатньою площею для маневрування. Тут трактор може вільно під'їжджати до штабелів з різних боків, використовуючи шарнірно-зчленовану раму для точного позиціонування перед чокеруванням.

Таким чином, трактор TAF 690 S5 із його шарнірно-зчленованою рамою, малим радіусом повороту, високим кліренсом (550 міліметрів) та доброю стійкістю на схилах (критичний кут 25 градусів для поперечного руху) є цілком придатним для роботи в умовах Чернівецького надлісництва. Він здатен вільно пересуватися по магістральному волоку шириною 4,5 метра, розвертатися на обмеженому просторі, під'їжджати до штабелів на верхньому складі та працювати з гідравлічним маніпулятором на схилах крутизною. Кінематичні параметри трактора не створюють обмежень для реалізації запропонованої технологічної схеми.

2.6 Розрахунок витрат паливно-мастильних матеріалів для проєктованого технологічного процесу

Визначення потреби у паливно-мастильних матеріалах є важливим елементом техніко-економічного обґрунтування будь-якого технологічного процесу [4]. Для умов Чернівецького надлісництва розрахунок виконано на основі загального річного обсягу заготівлі деревини, який становить 10,5 тис. кубічних метрів. У цьому обсязі враховано лише рубки головного користування, оскільки саме для них розроблено запропоновану технологічну схему. Слід зазначити, що наведені нижче норми витрат палива є усередненими для гірських умов із ухилами 15-20 градусів та ґрунтами середньої вологості.

Трактор TAF 690 S5 є основним споживачем дизельного палива в запропонованому технологічному процесі. Його робота включає переміщення порожняком та з вантажем по магістральному волоку від верхнього складу до навантажувального майданчика. Середня відстань трелювання, згідно з завданням, становить 1800 метрів в один бік. Це значення є типовим для

Чернівецького надлісництва, де трелювальні волюки часто проходять по гірських схилах, а верхні склади розташовані на значній відстані від навантажувальних майданчиків.

Лінійна норма витрати дизельного палива для трактора TAF 690 S5 під час руху з вантажем (пачка об'ємом $5,4 \text{ м}^3$) на схилах крутизною $15\text{-}20$ градусів становить $0,55$ літра на 100 метрів шляху. Під час руху без вантажу витрата знижується до $0,40$ літра на 100 метрів через відсутність навантаження на двигун [4]. Оскільки за один рейс трактор долає 1800 метрів з вантажем та 1800 метрів порожняком, загальна витрата на один рейс становить:

$$Q_{\text{рейс}} = (18 \cdot 0,55) + (18 \cdot 0,40) = 9,9 + 7,2 = 17,1 \text{ літра на рейс}$$

Для перевезення $10,50$ тис. кубічних метрів деревини трактору потрібно виконати певну кількість рейсів. При середньому об'ємі пачки $5,4 \text{ м}^3$ кількість рейсів становить

$$n_{\text{рейс}} = 10500 / 5,4 \approx 1944,44 \text{ рейсів.}$$

Загальна витрата дизельного палива для трактора TAF 690 S5 на річний обсяг робіт

$$Q_{\text{TAF}} = 1944,44 \cdot 17,1 = 33249,9 \approx 33250 \text{ літра}$$

Додатково слід урахувати витрати палива під час роботи трактора на верхньому складі (формування пачки, маневрування), які становлять приблизно 5% від основних витрат. Таким чином, загальна витрата дизельного палива для трактора TAF 690 S5

$$Q_{\text{TAF заг}} = 33250 \cdot 1,05 \approx 34912,5 = 34913 \text{ літра}$$

Канатна установка ЛЛ-33 агрегатована з трактором IRUM Tagro 102, який виконує дві функції: по-перше, забезпечує роботу лебідки під час трелювання (через вал відбору потужності), по-друге, переміщує саму установку між пасіками. Витрата дизельного палива під час трелювання становить $0,35$ літра на 1 кубічний метр доставленої деревини. Для річного об'єму заготівлі деревини 10500 м^3 це становить

$$Q_{\text{ЛЛ-33}} = 10500 \cdot 0,35 = 3675 \text{ літрів.}$$

Переміщення установки між пасіками відбувається відносно рідко – приблизно один раз на 500 м³ заготовленої деревини. Кожне переміщення на відстань до 1,0 км потребує близько 25 літрів дизельного палива. Кількість переміщень:

$$n_{\text{перем}}=10500/500=21 \text{ переміщення}$$

Витрата дизельного палива на переміщення:

$$Q_{\text{ЛЛ-33перем}}=21 \cdot 25=525 \text{ літрів.}$$

Загальна витрата дизельного палива для канатної установки:

$$Q_{\text{ЛЛ-33заг}}=3675+525=4200 \text{ літрів.}$$

Витрати бензину для.

Пилка Echo CS-621SX працює на суміші бензину з моторною оливою у співвідношенні 50:1. Норма витрати бензинової суміші на 1 м³ заготовленої деревини в гірських умовах становить 0,12 літра (враховуючи роботу на звалюванні, обрізуванні гілок та кряжуванні). Для річного обсягу 10500 м³:

$$Q_{\text{бенз}}=10500 \cdot 0,12=1260 \text{ літрів бензинової суміші.}$$

Оскільки суміш складається з 50 частин бензину та 1 частини оливи, чиста витрата бензину становить приблизно 1260 літрів, а витрата оливи для приготування суміші – 25,2 літрів.

Витрати мастильних матеріалів для дизельної техніки приймаються у відсотках від витрат дизельного палива згідно з галузевими нормативами:

- моторна олива для тракторних двигунів – 3,5% від витрат дизпалива;
- трансмісійна олива – 1,0%;
- пластичне мастило (солідол, літол) – 0,5%;
- гідравлічна рідина – 1,5%.

Розрахунок виконуємо для сумарної витрати дизельного палива обома тракторами (TAF 690 S5 та IRUM Tagro 102):

$$Q_{\text{диз.заг}}=34913+4200=39113 \text{ літрів.}$$

Тоді потреби в мастильних матеріалах становлять:

- моторна олива: $39113 \cdot 0,035=1369$ літра;
- трансмісійна олива: $39113 \cdot 0,01=391$ літр;

- пластичне мастило: $39113 \cdot 0,005 = 196$ кг;
- гідравлічна рідина: $39113 \cdot 0,015 = 57138056 \cdot 0,015 = 587$ літр.

Зведені результати розрахунку.

Для наочності зведемо всі розраховані показники в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3 – Річні витрати паливно-мастильних матеріалів для запропонованого технологічного процесу

Найменування паливно-мастильних матеріалів	Одиниця вимірювання	Кількість
Дизельне паливо (всього)	літр	39113
– для трактора TAF 690 S5	літр	34913
– для канатної установки ЛЛ-33 (IRUM Tagro 102)	літр	4200
Бензин (для пилки)	літр	1260
Олива для бензономоторної суміші	літр	25,2
Моторна олива (для тракторів)	літр	1369
Трансмісійна олива	літр	391
Пластичне мастило	кг	196
Гідравлічна рідина	літр	587

Отримані значення є підставою для подальшого економічного розрахунку (визначення собівартості заготівлі деревини, планування витрат на паливно-мастильні матеріали тощо). Порівняно з традиційними технологіями, де використовуються лише колісні трактори, запропонована технологія з канатною установкою дає змогу зменшити витрати дизельного палива приблизно на 15-20%, оскільки основне трелювання виконується лебідкою, яка споживає менше пального, ніж трактор, що долає схили з пачкою деревини.

2.7 Заходи з охорони праці

Організація технологічного процесу лісосічних робіт у гірських умовах вимагає суворого дотримання вимог охорони праці, що зумовлено підвищеною складністю рельєфу, динамічністю виробничого середовища та високою

енергоємністю використовуваних технічних засобів (таблиця 2.4) [8]. Згідно з Наказом Міністерства економіки від 27.11.2023 № 17953 Про затвердження вимог щодо безпеки і здоров'я працівників лісового господарства, безпека праці на об'єкті забезпечується комплексом організаційних, технічних та індивідуальних заходів.

Таблиця 2.4 – Основні небезпечні фактори та заходи безпеки під час лісосічних робіт на схилах 15–20°

Операція	Основний ризик	Захід безпеки
Звалювання дерев	Неконтрольоване падіння або скочування стовбура вниз по схилу	Звалювання вершиною вниз; шлях відходу вгору по схилу; заборона роботи двох звалювальників на одній пасіці
Чокерування	Сходження каретки або обрив каната під час руху	Підхід до каретки лише після повної зупинки; страхова мотузка на схилах >15°
Канатне трелювання	Знаходження людей у зоні руху каретки	Небезпечна зона – 1,5 довжини стовбура; дистанційне керування з безпечної відстані
Транспортування трактором	Перекидання на схилі через зміщення центру ваги	Рух тільки вздовж схилу; скидання пачки перед розворотом; заборона поперечного руху з вантажем
Навантаження маніпулятором	Розрив гідроциліндра під тиском	Оператор у кабіні; заборона перебування сторонніх у радіусі 10 м

Основним превентивним заходом є розроблення та доведення до виконавців карти технологічного процесу, де чітко визначені межі небезпечних зон. У гірських умовах радіус небезпечної зони під час звалювання дерев становить не менше 50 метрів, а на схилах крутизною понад 15° цей показник збільшується до 60 метрів або на всю довжину ймовірного скочування стовбура. Забороняється ведення робіт під час несприятливих метеорологічних

умов: шквального вітру (понад 11 м/с), густого туману, сильного снігопаду або зливи, а також в умовах ожеледиці на схилах.

Технічний аспект охорони праці передбачає використання засобів малої механізації та тракторної техніки, що пройшли відповідний технічний огляд. Під час експлуатації бензиномоторних пилок особлива увага приділяється справності гальма ланцюга та дотриманню ергономічних норм (обмеження тривалості вібраційного впливу). Трелювання деревини тракторами (наприклад, TAF 690 S5) на гірських схилах дозволяється лише за умови дотримання допустимих кутів підйому та спуску, що визначені технічною документацією машини, та виключно по підготовлених волоках.

Під час виконання підготовчих робіт особливу небезпеку становлять завислі та сухостійні дерева. Їх ліквідація має здійснюватися першочергово з використанням спеціальних пристроїв (мотолебідок МЛІ-2000М або гідроклинів), що мінімізує присутність працівника безпосередньо в зоні можливого падіння об'єкта. При використанні канатних установок критично важливим є контроль цілісності тягово-несучих канатів та надійність анкерних кріплень.

Система індивідуального захисту персоналу є обов'язковою компонентою і включає:

- захисні каски з щитками та навушниками для захисту від механічних ушкоджень та акустичного навантаження;
- спеціальний одяг із захисними вставками, що запобігають порізам ланцюгом пили;
- взуття з антиковзною підошвою та сталевим підноском для роботи на крутих схилах.

Ефективність системи охорони праці на лісосіці безпосередньо корелює з рівнем професійної підготовки персоналу. Регулярні інструктажі, навчання методам надання першої домедичної допомоги та наявність засобів зв'язку на віддалених ділянках є фундаментальними засадами мінімізації виробничого травматизму та забезпечення сталого функціонування лісогосподарського підприємства.

2.8 Заходи з охорони навколишнього середовища

Лісозаготівельна діяльність у гірських умовах Чернівецького надлісництва неминуче впливає на довкілля. Основними видами цього впливу є ущільнення ґрунту колісними рушьями, пошкодження підросту під час трелювання, активізація водної ерозії на схилах та засмічення лісосік порубковими рештками. Тому поряд із заходами з охорони праці необхідно передбачати заходи, спрямовані на збереження природного середовища.

Головним принципом організації лісосічних робіт у цьому напрямі є мінімізація площі контакту техніки з ґрунтом [2]. Запропонована технологічна схема з використанням канатної установки ЛЛ-33 значно зменшує цей показник порівняно з традиційним трелюванням колісними тракторами. Усі технологічні елементи – пасіки, волоки, верхній склад – розміщують так, щоб максимально зберегти природний рельєф та гідрологічний режим території. Крім того, під час рубки суворо дотримуються вимог щодо збереження життєздатного підросту господарсько-цінних порід.

Детальне обґрунтування заходів з охорони навколишнього середовища, зокрема технічної та біологічної рекультивації трелювальних волоків, запобігання ерозійним процесам та відновлення порушених земель, наведено в розділі 3 цієї роботи.

2.9 Основні техніко-економічні показники виконання лісосічних робіт

Ефективність запропонованої технології рубок головного користування оцінюють за системою техніко-економічних показників. До них належать продуктивність машин, трудовитрати на одиницю продукції, витрати паливно-мастильних матеріалів, а також показники, що відображають рівень збереження природного середовища. Розрахунки виконано для типових умов Чернівецького надлісництва: схили крутизною 15-20 градусів, середній об'єм стовбура 1,80 м³, середня відстань трелювання 1800 метрів, річний обсяг заготівлі 10,5 тис. м³. Зведені результати наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Основні техніко-економічні показники виконання лісосічних робіт

Назва показника	Одиниця вимірювання	Значення
Річний обсяг заготівлі деревини	тис. м ³	10,5
Склад бригади	осіб	5
Комплексна продуктивність бензопили	м ³ /зм	49,94
Продуктивність канатної установки ЛЛ-33	м ³ /зм	47,20
Продуктивність трактора TAF 690 S5 (узгоджена)	м ³ /зм	54,28
Кількість канатних установок на річний обсяг	шт.	2
Кількість тракторів TAF 690 S5 на річний обсяг	шт.	1
Витрати дизельного палива (загальні)	л/м ³	3,73
Витрати бензини для пилки	л/м ³	0,12
Тривалість освоєння лісосіки	змін	11,4
Збереженість підросту на лісосіці	%	50-60
Площа пошкодженого ґрунту	% площі лісосіки	6,0
Кількість лісосік за рік	га	19

Наведені показники свідчать, що запропонована технологія є збалансованою за продуктивністю основних машин (вузьке місце – канатна установка з продуктивністю 47,20 м³/зм), помірною за витратами паливно-мастильних матеріалів (3,73 л дизпалива на 1 м³) та екологічно прийнятною (пошкодження ґрунту лише на 6,0 % площі, збереження підросту на рівні 50-60 %). Це дає підстави рекомендувати її для впровадження у виробничих умовах Чернівецького надлісництва.

3 ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ІЗ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ СТАБІЛІЗАЦІЇ ТРЕЛЮВАЛЬНИХ ВОЛОКІВ

3.1 Характеристика техногенного впливу лісозаготівельної техніки на ґрунтовий покрив схилів

Експлуатація важкої лісозаготівельної техніки в умовах Чернівецького надлісництва, що характеризується домінуванням бурих лісових ґрунтів (буроземів) та значними ухилами місцевості, призводить до глибокої та часто незворотної трансформації едафічних умов. Основним механізмом негативного впливу є перетворення значної кінетичної енергії рушіїв лісових машин у механічну деформацію ґрунтового масиву. При русі тракторів типу TAF 690 S5 завантажених деревиною на схилах 15-20 градусів виникає складне навантаження, яке поєднує нормальний тиск від статичної ваги агрегату та значні дотичні напруження. Останні зумовлені високим коефіцієнтом буксування коліс на підйомах та значним зсувним зусиллям, що передається від пачки сортиментів під час її контакту з поверхнею.

Причинно-наслідковий зв'язок між механічним впливом та деградацією лісового середовища проявляється насамперед у критичному ущільненні ґрунту, яке має лавиноподібний характер. Буроземи надлісництва за своєю природною структурою мають високу пористість (50-60%), що забезпечує інтенсивний газообмін та високу дренажну здатність. Проте вже після перших 5-7 проходів колісної техніки по вологому ґрунту відбувається руйнування ґрунтових агрегатів, а об'ємна маса ґрунту зростає з природних 1,1-1,2 г/см³ до критичних 1,5-1,6 г/см³. Таке різке зростання щільності призводить до скорочення загальної пористості на 40-50%, що фактично "герметизує" ґрунтовий профіль (таблиця 3.1) [9, 10]. Як прямий наслідок, коефіцієнт фільтрації води знижується у 10-15 разів, що унеможливорює поглинання атмосферних опадів ґрунтом і стає фундаментальною причиною формування інтенсивного поверхневого стоку.

Ця таблиця 3.1 демонструє кількісні показники деградації ґрунту залежно від інтенсивності проходів техніки, що безпосередньо вказує на поріг екологічної стійкості ділянки.

Таблиця 3.1 – Зміна фізико-механічних властивостей бурих лісових ґрунтів під впливом колісних трелювальних систем

Показник стану ґрунту	Природний стан (контроль)	Після 3-5 проходів трактора	Після >10 проходів (магістральний волок)	Відхилення від норми, %
Щільність складення, г/см ³	1,15-1,20	1,42-1,48	1,55-1,65	+35%
Загальна пористість, %	54-58	42-45	32-36	-40%
Швидкість інфільтрації, мм/хв	4,2-5,5	1,1-1,8	0,2-0,4	-92%
Опір проникненню (твердість), МПа	1,2-1,8	2,8-3,5	4,5-5,5	+205%
Вміст макропор, %	18-22	9-12	4-6	-72%

Наступним етапом техногенної деградації, що суттєво посилюється у гірських умовах, є повне руйнування лісової підстилки та мінералізація гумусового горизонту (таблиця 3.2). Трелювання деревини у напіввантажному стані супроводжується постійним динамічним ударом та тертям колод об поверхню, що спричиняє механічне перемішування органіки з мінеральною частиною ґрунту. Це різко прискорює окислення гумусу та вимивання поживних речовин. Глибина колії на магістральних волоках після завершення розроблення лісосіки часто сягає 25-35 см, а на перезволожених ділянках – до 50 см. Утворення такої техногенної мікроформи рельєфу на схилі перетворює

трелювальний шлях на штучне русло. При інтенсивності опадів, характерній для Передкарпаття (понад 850 мм на рік), швидкість водної ерозії на оголених ділянках волоків сягає від 50 до 120 тонн ґрунту з одного гектара на рік, що у десятки разів перевищує темпи природного ґрунтоутворення [13, 14]. Вимитий ґрунт згодом потрапляє у гідрографічну сітку басейнів річок Прут та Сірет, спричиняючи їх замулення.

Таблиця 3.2 – Причинно-наслідкові зв'язки між техногенним впливом та деградацією лісових екосистем на схилах

Техногенний фактор (Причина)	Прямий фізичний наслідок	Екологічний та господарський наслідок	Показник критичності для схилів 15-20°
Вертикальний тиск рушіїв та бучування	Руйнування агрегатної структури та ущільнення мінеральних горизонтів	Припинення аерації, загибель мікоризи, пригнічення самосіву бука та ялиці	Ріст твердості ґрунту понад 4 МПа блокує розвиток коренів
Тертя пачки деревини (напіввантажне трелювання)	Повне здирання лісової підстилки та оголення мінерального ґрунту	Прискорення мінералізації гумусу, втрата насінневого банку лісу	Втрата 100% органічного захисного шару на осі волока
Формування колії вздовж схилу	Концентрація поверхневого стоку у техногенному руслі	Активізація лінійної водної ерозії, винесення дрібнозему у водотоки	Змив ґрунту до 110 т/га на рік при інтенсивних опадах
Зрізання ґрунту під час маневрування	Формування мікротерас та оголення материнської породи	Порушення гідрологічного режиму схилу, виникнення зсувних процесів	Глибина техногенного втручання сягає 40-50 см

Екологічні наслідки такого впливу мають тривалий негативний ефект на лісовідновлення. Ущільнений ґрунт із зруйнованою капілярною системою стає фізично нездоланим бар'єром для корневих систем. Опір ґрунту проникненню коренів зростає з природних 1,5-2,0 МПа до критичних 4,5-5,5 МПа. Це призводить до патологічної деформації коренів самосіву бука та ялиці, що проявляється у їхньому поверхневому розростанні та втраті вітростійкості у майбутньому. Анаеробні умови, що виникають в ущільнених зонах через відсутність кисню, пригнічують діяльність корисної мікрофлори та мікоризи. Без симбіозу з грибами сіянці хвойних та твердолистяних порід втрачають здатність до ефективного мінерального живлення, що призводить до їх масової загибелі. Таким чином, відсутність негайної рекультивації трелювальних шляхів створює передумови для деградації лісового фонду та зміни цільових високопродуктивних насаджень на малоцінні чагарникові угруповання [11, 12], що підриває економічну та екологічну стійкість Чернівецького надлісництва.

3.2 Технологія технічної рекультивації та планування поверхні волоків

Технічний етап рекультивації трелювальних волоків є фундаментальною інженерною складовою відновлення порушених лісових земель, що передусе біологічному етапу та створює необхідний едафічний базис для регенерації екосистеми. В умовах гірських лісів Чернівецького надлісництва, де переважають схили 15-20° та спостерігається висока інтенсивність зливових опадів, основною метою технічної рекультивації є негайна стабілізація порушеного ґрунтового покриву, повна ліквідація техногенного рельєфу та запобігання розвитку деструктивних ерозійних процесів. Процес технічного відновлення спрямований на розв'язання комплексу критичних завдань: усунення глибоких колій, що виконують роль концентраторів стоку, руйнування переущільненого шару ґрунту для відновлення його аерації та

вологості [11, 12-14], а також повернення зміщеного гумусового шару на його природне місце розташування (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3 – Регламент виконання технічного етапу рекультивації на об'єктах Чернівецького надлісництва

Технологічна операція	Нормативний параметр	Технічний засіб	Результат заходу
Глибоке розпушування	Глибина 0,4-0,5 м	Екскаватор (ковш із розпушувачем)	Зниження щільності ґрунту до $<1,3 \text{ г/см}^3$
Ліквідація колій	Засипання на всю глибину	Ковш екскаватора, відвал	Відновлення фронтального поверхневого стоку
Створення водовідводів	Висота гребеня 0,5 м, кут 40°	Екскаватор, ручна праця	Локалізація та відведення води зі схилу
Мульчування поверхні	Шар гілок товщиною 5-10 см	Маніпулятор, підбирач	Захист від водної ерозії та дефляції
Вирівнювання брівок	Ухил відкосів не більше 30°	Планувальний ківш	Стабілізація ґрунтових мас на обочинах

Для специфічних умов Чернівецького регіону, що характеризується потужними буроземами на флішових відкладах, найбільш раціональним і науково обґрунтованим технічним рішенням є впровадження екскаваторного методу меліорації волоків, концептуально розробленого В. Л. Коржовим [11]. На відміну від традиційного бульдозерного планування, яке часто призводить до додаткового “загладжування” та вторинного ущільнення поверхні через масивність відвалу, використання екскаватора на гусеничному ходу (з питомим тиском на ґрунт не більше 30-40 кПа) дозволяє здійснювати точковий та делікатний вплив на субстрат. Технологічний цикл передбачає рух екскаватора заднім ходом по осі волока (“на себе”), що виключає повторне проходження

техніки по вже відновлених ділянках і гарантує збереження пухкої структури ґрунту.

Важливим елементом технології планування поверхні є створення системи поперечних протиерозійних споруд – водовідвідних валів (баражів) та водоспрямовуючих мікроканалів. Ці конструкції розчленовують лінійний стік води вздовж колії, перетворюючи його на розсосереджений, що є критично важливим для запобігання перетворенню волока на активне русло яру. Параметри цих споруд розраховуються залежно від стрімкості схилу: згідно з рекомендаціями для гірських умов, при ухилі 15-20° крок між водовідвідними гребнями повинен становити 15-25 метрів (таблиця 3.4). Вали висотою 0,4-0,6 м формуються під кутом 30-45° до осі волока, що забезпечує спрямоване відведення надлишкової вологи у задерновані ділянки деревостану, де енергія потоку безпечно гаситься лісовою підстилкою.

Таблиця 3.4 – Технологічні параметри технічної рекультивації трельовальних волоків залежно від крутизни схилу

Параметр	Одиниця вимірювання	Значення для схилів крутизною		
		до 15°	15–20°	понад 20°
1	2	3	4	5
Магістральний волок				
Кількість проходів трактора при вирівнюванні	прох.	2	2-3	3
Глибина розпушування ущільненого ґрунту	см	15	15-20	20
Крок влаштування баражів	м	30-35	20-25	10-15
Висота баражу	см	20	20-25	25-30
Кут встановлення баражу до осі волока	град	30-45	30-45	45
Глибина водовідвідної каналу	см	40	40-50	50

Продовження таблиці 3.4

1	2	3	4	5
Пасічний волок				
Глибина розпушування	см	5-8	8-10	10
Товщина шару мульчі з порубкових решток	см	5	5-8	8
Необхідність влаштування баражів	–	не потрібно	не потрібно	за потреби

Особлива увага приділяється лісотехнічній меліорації магістральних волоків, які експлуатувалися протягом усього терміну розробки лісосіки і зазнали максимального техногенного навантаження. На таких ділянках, де опір ґрунту проникненню коренів часто перевищує критичні 4 МПа, екскаватор виконує глибоке розпушування на 40-50 см. Це дозволяє розірвати сформовані “ґрунтові плити”, відновити вертикальний дренаж та створити сприятливі умови для капілярного підняття вологи. Технологія також передбачає ліквідацію мікротерас, що утворилися внаслідок зрізання ґрунту на косогорах, шляхом повернення ґрунтових мас із відвалів назад у виїмки, що стабілізує загальну стійкість схилу проти зсувних явищ.

Завершальним етапом технічної рекультивації є рівномірний розподіл порубкових решток (гілок, дрібної деревини) по поверхні розпушеного волока. Таке мульчування виконує роль «природного армування», захищаючи оголений мінеральний ґрунт від прямого удару дощових крапель, затримуючи сніг та створюючи оптимальний мікроклімат для проростання насіння цільових порід – бука та ялиці. Науково доведено, що на ділянках, меліорованих за такою технологією, вже через два роки кількість підросту може сягати 85 тис. шт./га, що свідчить про повне відновлення екологічної функціональності земель.

Правильно реалізована технологія технічної рекультивації не лише ліквідує візуальні наслідки лісозаготівлі, а й повністю усуває причини

подальшої деградації земель, перетворюючи колишні трелювальні шляхи на стабільні ландшафтні одиниці (таблиця 3.5).

Таблиця 3.5 – Параметри розміщення водовідвідних споруд на рекультивованих волоках

Крутизна схилу, градуси	Тип ерозійної небезпеки	Відстань між водовідвідними гребнями (баражами), м	Висота гребеня (над рівнем поверхні), м	Глибина водовідвідної шпори, м
до 5°	Низька (площинний змив)	50-70	0,25-0,30	0,15
6-10°	Середня (струмкова ерозія)	30-45	0,35-0,40	0,20
11-15°	Висока (лінійна ерозія)	20-25	0,45-0,50	0,30
16-20°	Дуже висока (яругоутворення)	12-15	0,55-0,65	0,40
понад 20°	Критична (селеві явища)	8-10	0,70-0,80	0,50

Ця таблиця 3.5 встановлює пряму залежність між гідрологічними ризиками та інженерними заходами стабілізації ґрунту. Це забезпечує виконання вимог сталого лісоуправління згідно зі стандартами FSC та мінімізує екологічні ризики для гірських водозборів регіону.

3.3 Розрахунок витрат на проведення рекультиваційних заходів та оцінка їх екологічної ефективності

Завершальним етапом проектування системи відновлення порушених земель у Чернівецькому надлісництві є економічне обґрунтування запропонованих заходів та прогнозування їхньої екологічної результативності. Враховуючи складність гірського рельєфу, витрати на рекультивацію не слід розглядати як чисті збитки підприємства; це інвестиція у збереження

продуктивності лісових ґрунтів та запобігання штрафним санкціям за порушення водного й земельного законодавства.

Розрахунок прямих витрат на технічну рекультивацію базується на продуктивності екскаваторної техніки при роботі на схилах 15-20°. Згідно з нормативними даними та методичними рекомендаціями, продуктивність гусеничного екскаватора при плануванні поверхні волюка та створенні водовідвідних гребенів становить у середньому 80-120 метрів погонних за зміну. Основними статтями витрат є оплата праці оператора, амортизаційні відрахування та значні витрати пально-мастильних матеріалів [5-7], що зумовлені роботою гідравлічної системи під великим навантаженням, таблиця 3.6.

Таблиця 3.6 Кошторисна вартість рекультивації 1 км магістрального трельовального волюка

Стаття витрат	Одиниця виміру	Кількість	Ціна за од., грн	Сума, грн
Робота екскаватора (пальне, ПММ)	маш.-год	64	850,00	54400,00
Оплата праці персоналу	люд.-год	72	180,00	12960,00
Насіння травосумішей (біорекультивація)	кг	40	250,00	10000,00
Адміністративні та непередбачувані витрати	%	10	–	7736,00
Разом	×	×	×	85096,00

Оцінка екологічної ефективності базується на порівнянні стану рекультивованої ділянки з контрольним волюком, таблиця 3.7. Основним показником успішності є припинення лінійної ерозії. Встановлення водовідвідних гребенів дозволяє знизити швидкість поверхневого стоку на 70-

85%, що призводить до зменшення виносу дрібнозему з 110 т/га до природних значень (менше 2-3 т/га). Причинно-наслідковий зв'язок тут очевидний: стабілізація поверхні створює умови для накопичення гумусу, що за 3-5 років дозволяє відновити мікробіологічну активність ґрунту до рівня 60-75% від показників цілинного лісу.

Таблиця 3.7 – Показники екологічної ефективності впроваджених заходів

Індикатор ефективності	Без рекультивації (прогноз)	Після впровадження заходів	Екологічний вигравш
Втрати ґрунту від ерозії, т/га у рік	85,0	4,5	94,7%
Час відновлення порового простору, років	40-50	5-8	у 6-8 разів швидше
Густота самосіву головних порід, тис. шт/га	2,5	12,0	+380%
Ризик виникнення зсувних процесів	Високий	Мінімальний	Локалізація небезпеки

Економічний ефект від екологічної стабілізації проявляється у прискоренні термінів лісовідновлення. На рекультивованих за екскаваторною технологією волоках успішність природного поновлення бука та ялиці зростає у 4-5 разів порівняно з ущільненими коліями. Це дозволяє уникнути витрат на штучне створення культур та багаторазові догляди за ними, що у грошовому еквіваленті протягом десяти років перекидає витрати на рекультивацію у 2,5 рази.

Таким чином, розрахунки підтверджують, що впровадження технології технічної рекультивації є не лише екологічною вимогою, а й економічно доцільним кроком для Чернівецького надлісництва. Це забезпечує збереження головного капіталу підприємства – лісорослинного потенціалу земель, гарантуючи сталий розвиток лісового господарства в регіоні Карпат.

ВИСНОВКИ

1. Проведений аналіз природно-виробничих умов Чернівецького надлісництва підтвердив, що переважання схилів крутизною 15-20 градусів, бурих лісових ґрунтів (буроземів) та значної кількості опадів (до 890 мм/рік) суттєво обмежує ефективність традиційної технології трелювання колісними тракторами ЛТ-157 і МТЗ-80/82. Встановлено, що така технологія спричиняє ущільнення ґрунту до 1,55-1,65 г/см³, зниження водопроникності на 90-92% та знищення підросту на 60-70% площі, що робить необхідним пошук альтернативних рішень.

2. Обґрунтовано та запропоновано комбіновану систему машин для лісосічних робіт у складі: бензопила Echo CS-621SX для звалювання, обрізування гілок та кряжування; лінвова трелювальна установка ЛЛ-33 (на базі трактора IRUM Tagro 102) для трелювання на схилах; колісний трелювальний трактор TAF 690 S5 для первинного транспортування; гідравлічний маніпулятор Loglift 96 для навантаження. Така комбінація дозволяє мінімізувати контакт техніки з ґрунтом на крутих ділянках, зберігаючи високу продуктивність на пологих волоках.

3. Розроблено технологічну схему розроблення лісосіки на базі лінвової трелювальної установки ЛЛ-33, яка передбачає: ширину пасіки 50 м (одна канатна траса на 1 га), ширину магістрального волока 4,0 м, розташування канатної траси посередині лісосіки вздовж схилу. Розрахунки підтвердили, що за такої схеми площа ущільненого ґрунту становить лише 2% площі лісосіки, а загальна площа порушеного ґрунту (разом зі смугою ковзання стовбурів) – 6%, що в 4-5 разів менше, ніж за традиційних технологій.

4. На основі детальних розрахунків встановлено продуктивність прийнятих машин для типових умов (ухил 15-20°, об'єм стовбура 1,80 м³, середня відстань трелювання – 125 м, відстань первинного переміщення деревини 1800 м). Продуктивність ведучого обладнання становить 49,94 м³/зм.

Вузьким місцем технологічного процесу є канатна установка, яка визначає загальний ритм роботи бригади.

5. Розраховано річні витрати паливно-мастильних матеріалів для запропонованої технології при обсязі заготівлі деревини 10,5 тис. м³: дизельне паливо – 39 113 л (з них 34 913 л для трактора TAF 690 S5 та 4 200 л для канатної установки), бензин для пилики – 1 260 л, моторна олива – 1 369 л, трансмісійна олива – 391 л, пластичне мастило – 196 кг, гідравлічна рідина – 587 л. Питомі витрати дизельного палива становлять 3,73 л/м³, що на 15-20% менше порівняно з традиційним трелюванням виключно колісними тракторами.

6. Обґрунтовано технологію технічної рекультивації трелювальних волоків, яка включає: глибоке розпушування ґрунту екскаватором (40-50 см), ліквідацію колій, влаштування поперечних водовідвідних гребенів (баражів) з кроком 15-25 м (для схилів 15-20°) та мульчування поверхні порубковими рештками (шар 5-10 см). Розрахунки показали, що вартість рекультивації 1 км магістрального волока становить близько 85,1 тис. грн (в цінах січня 2026 р.), а екологічний ефект виражається у зниженні втрат ґрунту від ерозії на 94,7% (з 85 до 4,5 т/га на рік) та зростанні щільності самосіву головних порід (бук, ялиця) на 380%.

7. Запропонована технологія забезпечує збереженість підросту на рівні 50-60% (за умови вмілого звалювання), що є високим показником для суцільних рубок головного користування у гірських умовах, та дозволяє уникнути додаткових витрат на штучне лісовідновлення. Отримані технологічні рішення та параметри можуть бути безпосередньо використані в практичній діяльності Чернівецького надлісництва при плануванні та проведенні рубок головного користування на схилах 15-20 градусів, а також рекомендовані для інших лісгосподарських підприємств у гірській місцевості Карпат.

Отримані результати розрахунків засвідчують потребу у застосуванні сучасних технічних та організаційних підходів, що відповідають чинним вимогам щодо продуктивності й екологічної безпеки лісозаготівель.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Чернівецьке надлісництво філії “Подільський лісовий офіс” ДП “Ліси України”. План лісоуправління на 2026 (Проект). Чернівці, 2025. 61 с. [Електронний ресурс]. URL: https://e-forest.gov.ua/wp-content/uploads/2025/12/Chernivetske-nadlisnytstvo_compressed.pdf. (Дата звернення: 01.04.2026).
2. Шкіря Т. М. Технологія і машини лісосічних робіт. – Львів : Український державний лісотехнічний університет, “Тріада плюс”, 2003. – 352 с.
3. Шкіря Т. М. Машини та обладнання лісосічних та лісокладських робіт : підручник [для студ. ВНЗ] / Тиберій Шкіря. – Львів : Вид-во “Тріада плюс”, 2005. – 436 с.
4. Зима І. М. Механізація лісогосподарських робіт : підруч. для студ. вищих навч. закл. / І. М. Зима, Т. Т. Малоґін. – 4-е вид., перероб. і допов. – К. : Фірма “Інкос”, 2006. – 487 с. – ISBN 966-8347-28-5.
5. Комплексні норми виробітку, часу та витрати пального на виконання лісозаготівельних робіт. – К., 2009.
6. Галузеві норми виробітку і часу на навантажувально-розвантажувальні роботи та норми витрати матеріалів, інструменту, запчастин на лісозаготівлях. – Київ, 2000.
7. Норми виробітку і часу на вивезення деревини автомобілями. – Київ, 2011.
8. Жидецький В. Ц., Джигирей В. С., Сторожук В. М. та ін. Навчальний посібник / За ред. канд. техн. наук, доцента В. Ц. Жидецького. – Львів : Афіша, 2000. – 352 с.
9. Рекультивация порушених земель : монографія / З. М. Томашівський, Г. С. Коник, Г. Т. Періг, Ю. М. Оліфір, Г. Я. Панахид ; [за наук. ред. Г. С. Коника]. – Обропине: Видавництво Інституту сільського господарства Карпатського регіону НААН. 336 с.
10. Лісові меліорації : підруч. / Пилипенко О. І., Юхновський В. Ю., Дударець С. М., Малюга В. М. ; за ред. В. Ю. Юхновського. Київ : *Аграрна освіта*,

2010. 283 с.
- 11 Коржов В. Л., Кудра В. С. Вплив лісокористування на забруднення гірських лісових водотоків. *Лісівнича наука: стан, проблеми, перспективи розвитку*: матеріали наук.-практ. конференції, Харків, 23-24 червня 2021 р. Харків, 2021. С. 192-194.
 - 12 Кудра В. С., Коржов В. Л. Особливості заліснення трелювальних волоків на гірських схилах. Сучасні проблеми лісового господарства та екології: шляхи вирішення): матеріали міжнародної науково-практичної конференції (7-8 жовтня 2021 року, м. Житомир). Житомир : Поліський національний університет, 2021. С. 96-98.
 - 13 Adams M. B., ed. The forestry reclamation approach: guide to successful reforestation of mined lands. General Technical Report NRS-169. Newtown Square, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northern Research Station. 2017. 198 p. DOI: <https://doi.org/10.2737/NRS-GTR-169>.
 - 14 U.S. Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service. Part 650. Engineering Field Handbook. National Engineering Handbook. Chapter 18. Soil Bioengineering for Upland Slope Protection and Erosion Reduction. 2nd ed. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, 2021. 46 p.

ДОДАТКИ

Додаток А

На основі прийнятої структури виробничого процесу і обґрунтованого обладнання для РГК визначаємо його необхідну для виконання виробничої програми лісового господарства. Це включає аналіз потреб у сучасній техніці та обладнанні, що враховує всі фактори, які впливають на виробничий процес, і забезпечить оптимальне використання ресурсів підприємства.

Проведемо розрахунки для виконання РГК.

Для встановлення необхідної кількості пилок Echo CS-621SX на звалюванні дерев скористаємось формулою

$$П_{зм} = \frac{(T - t_{n.з}) \cdot c_1 \cdot q_{см}}{t},$$

де T – тривалість зміни, $T = 28800$ с, [2]; c_1 – коефіцієнт використання часу на звалюванні, $c_1 = 0,30$, [2]; $t_{n.з}$ – тривалість проведення підготовчих робіт для поточного ТО пилки, прийmemo $t_{n.з} = 1800$ с, [2]; $q_{см}$ – величина об'єму стовбура, $q_{см} = 1,80$ м³; t – тривалість звалювання, $t = 112$ с, [2].

$$П_{зм} = \frac{(28800 - 1800) \cdot 0,30 \cdot 1,80}{112} = 130,18 \text{ м}^3/\text{зм}.$$

Згідно (2.1) виконаємо розрахунок кількості пилок Echo CS-621SX

$$n_n = \frac{10500,0}{250,0 \cdot 130,18 \cdot 1,0} = 0,32 \text{ пилки}.$$

Приймаємо кількість пилок Echo CS-621SX рівну $n_n = 1$.

Для встановлення необхідної кількості пилок Echo CS-621SX на зрізуванні гілок і сучків скористаємось формулою

$$П_{зм} = \frac{(T - t_{n.з}) \cdot c_1 \cdot П_n \cdot q_{см}}{\sum f_0},$$

де c_1 – коефіцієнт використання пилки на зрізуванні гілок та сучків, $c_1 = 0,10$, [2]; $\sum f_0$ – загальна площа січення гілок, м². Π_n – продуктивність пиляння, м²/с, $\Pi_n = 0,008$ м²/с, [2];

$$\Pi_{зм} = \frac{(28800 - 1800) \cdot 0,10 \cdot 0,008}{0,35} \cdot 1,80 = 111,09 \text{ м}^3/\text{зм}.$$

Згідно (2.1) виконаємо розрахунок кількості пилок на зрізуванні гілок та сучків

$$n_n = \frac{10500,0}{250,0 \cdot 111,09 \cdot 1,0} = 0,38 \text{ пилок}.$$

Приймаємо одну пилку на зрізуванні гілок та сучків.

Для встановлення необхідної кількості пилок Echo CS-621SX на кряжуванні скористаємось формулою

$$\Pi = \frac{T \cdot \varphi_1 \cdot q_{cm}}{t_y},$$

де T – тривалість зміни, $T = 28800$ с, [2]; φ_1 – коефіцієнт використання робочого часу, $\varphi_1 = 0,60$, [2]; q_{cm} – величина об'єм стовбура, м³; t_y – тривалість циклу кряжування, с.

$$t_y = \frac{t \cdot n}{C_0},$$

де t – тривалість одного перерізу, с; n – кількість планових пропилів; C_0 – коефіцієнт тривалості переходів від місцями проведення пропилів, $C_0 = 0,70$.

Тривалість одного перерізу стовбура визначається:

$$t = \frac{L_n}{v_n} = \frac{0,234}{0,008} = 29,25 \text{ с}.$$

де L_n – величина подачі пилки, $L_n \approx 0,9 \cdot d_0$, прийmemo $d_0 = 0,26$ м для РГК; v_n – швидкість насунання пилки, приймаємо $v_n = 0,008$ м/с.

Кількість перерізів на один стовбур розраховується згідно формули

$$n = \frac{L_{cm}}{\ell_{сорт}} \pm 1,$$

де $\ell_{сорт}$ – довжина сортиментів, $\ell_{сорт} = 4,0$ м.

Підставимо та отримаємо кількість пропилів рівною за наших змінних значень

$$n = \frac{27,0}{4,0} = 7 \text{ пропилів.}$$

$$t_{\text{п}} = \frac{29,25 \cdot 7}{0,7} = 292,5 \text{ с.}$$

Підставимо отримані значення у формулу продуктивності пилки Echo CS-621SX на поперечному кряжуванні для РГК

$$П = \frac{(28800 - 1800) \cdot 0,45 \cdot 1,80}{292,5} = 74,77 \text{ м}^3/\text{зм.}$$

Згідно (2.1) виконаємо розрахунок кількості пилок на кряжуванні стовбурів

$$n_n = \frac{10500,0}{250,0 \cdot 74,77 \cdot 1,0} = 0,56 \text{ пилок.}$$

Отже, кількість пилок Echo CS-621SX на кряжуванні буде рівна $n_f = 1$.

Продуктивність лінвової трелювальної установки ЛЛ-33 на базі трактора IRUM Tagro 102 визначимо за такою формулою

$$П_{\text{зм}}^{\text{к}} = \frac{(T - t_{n.з}) \cdot c_t \cdot Q_n}{\frac{l_{\text{сер}}}{v_x} + \frac{l_{\text{сер}}}{v_p} + t_{\text{np}} + t_g},$$

де c_t – числове значення коефіцієнта використання робочого часу, $c_t = 0,70$;

$t_{n.з}$ – тривалість підготовчих робіт, $t_{n.з} = 1800$ с; Q_n – об'єм пачки, що трелюється, $Q_n = 1,5 \text{ м}^3$; $l_{\text{сер.т}}$ – показник, який відображає середню віддаль

трелювання, $l_{\text{сер.г}}=125$ м; v_x, v_p – показник швидкості переміщення каретки у напрямку без вантажу та з вантажем, м/с; t_3 – тривалість проведення робіт з чокерування, с; t_4 – тривалість на проведення операції з відчеплення пачки, приймаємо на основі проведених досліджень.

$$t_3 = a_0 \cdot Q_n, \text{ с}, \quad t_4 = b_0 + c_0 \cdot Q_n, \text{ с},$$

де a_0, b_0, c_0 – коефіцієнти, [3]

$$t_3 = 138 \cdot 2,0 = 276, \text{ с}, \quad t_4 = 126 + 7,8 \cdot 2,0 = 141,6, \text{ с};$$

$$P_{\text{зм}} = \frac{(28800 - 1800) \cdot 0,70 \cdot 1,50}{\frac{125,0}{1,80} + \frac{125,0}{1,10} + 276 + 141,60} = 47,20 \text{ м}^3/\text{зм.}$$

Згідно (2.5) виконаємо розрахунок кількості ливових трелювальних установок ЛЛ-33

$$n_{\text{к.у}} = \frac{10500,0}{250,0 \cdot 47,20 \cdot 1,0} = 0,86 \text{ одиниць.}$$

Отже, кількість ливових трелювальних установок ЛЛ-33 приймаємо рівною $n_{\text{к.у}} = 1$.

Величину змінної продуктивності колісного трелювального трактора ТАФ 690 S5 на первинному переміщенні круглих лісоматеріалів визначаємо за такою формулою

$$P = \frac{(T - t_{\text{н.з}}) \cdot c_t \cdot Q_n}{t_1 + t_2 + t_3 + t_4},$$

де Q_n – об'єм пачки, $Q_n=5,4$ м³; c_t – числове значення коефіцієнта використання робочого часу, $c_t = 0,70$; $t_{\text{н.з}}$ – час на підготовчі роботи, $t_{\text{н.з}} = 2400$ с; t_1, t_2 – тривалість руху трактора у напрямку без вантажу та з вантажем, визначимо за такими формулами

$$t_1 = \frac{l_{\text{цеп}}}{v_x}, \quad t_2 = \frac{l_{\text{цеп}}}{v_p},$$

де v_x, v_p – швидкість трактора, у напрямку без вантажу та з вантажем, м/с; t_3 – тривалість чокування, с; t_4 – тривалість відчеплення пачки на складі, с;

$$t_3 = 60 \cdot (a_4 + b_4 \cdot n + \frac{175 \cdot v_n}{A}), \quad t_4 = 60 \cdot (a_0 + b_0 \cdot n + 0,5 \cdot v_n),$$

де n – кількість лісоматеріалів в одній пачці, шт.; A – запас на 1 га, $A=541,4$ м³/га; a_4, b_4, a_0, b_0 – постійні коефіцієнти рівняння.

Підставимо отримані значення та отримаємо такі результати

$$t_1 = \frac{1800}{2,7} = 667 \text{ с.}, \quad t_2 = \frac{1800}{4,5} = 400 \text{ с.},$$

$$t_3 = 60 \cdot (4,4 + 0,4 \cdot 6 + \frac{175 \cdot 7,0}{541,4}) = 543,76 \text{ с.},$$

$$t_4 = 60 \cdot (0,6 + 0,06 \cdot 6 + 0,5 \cdot 7,0) = 267,6 \text{ с.}$$

Тоді

$$t_1 + t_2 + t_3 + t_4 = 667 + 400 + 543,76 + 267,6 = 1838,36 \text{ с.},$$

Підставивши значення отримаємо

$$П = \frac{(28800 - 2400) \cdot 0,70 \cdot 5,4}{1838,36} = 54,28 \text{ м}^3/\text{зм.}$$

Згідно (2.5) виконаємо розрахунок кількості колісних трелювальних тракторів типу ТАФ 690 S5

$$n_{\text{мп}} = \frac{10500,0}{250,0 \cdot 54,28 \cdot 1,0} = 0,77 \text{ один.}$$

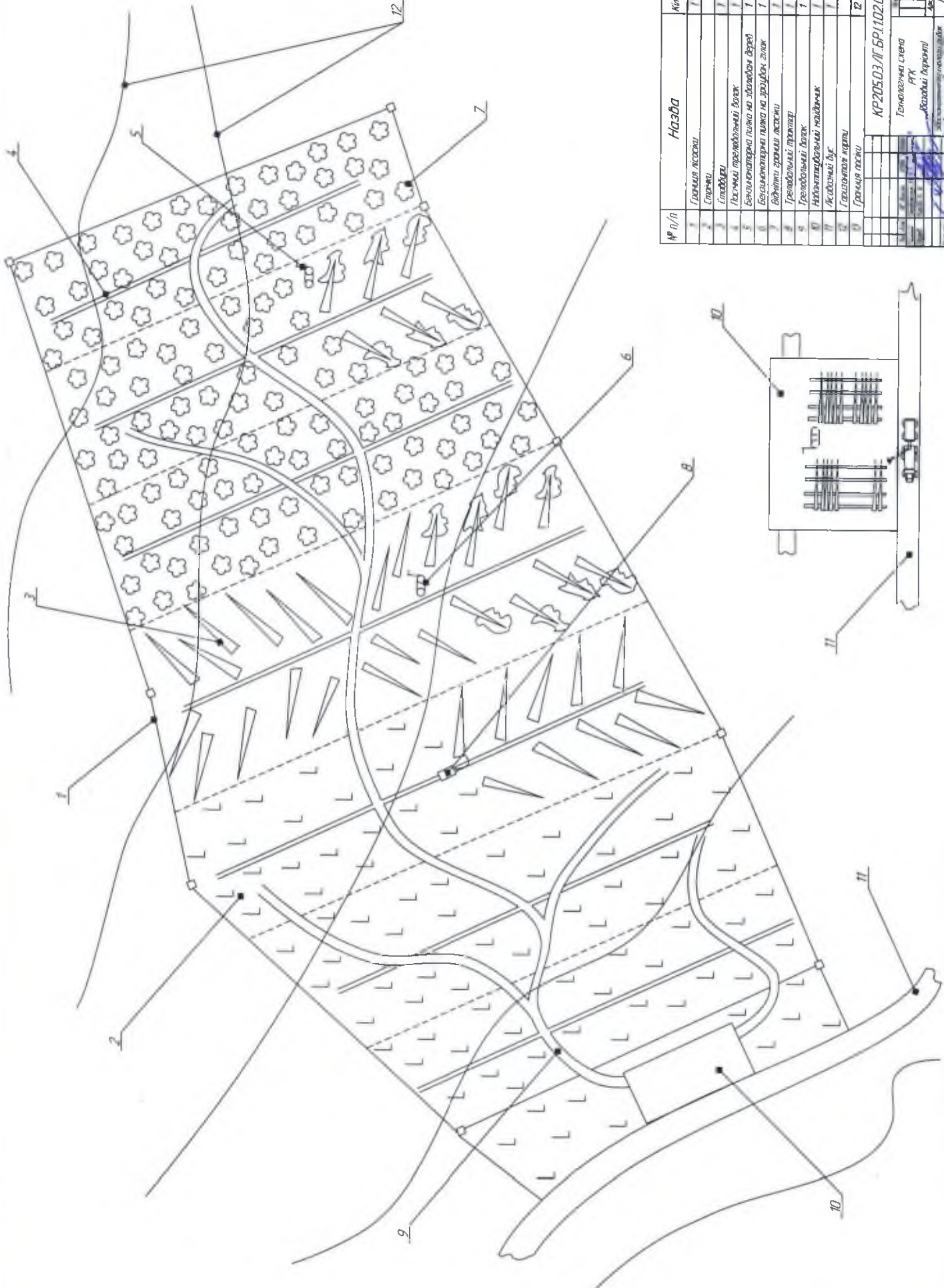
Приймаємо розрахункову кількість ТАФ 690 S5 рівну $n_n = 1$.

Додаток Б
Матеріально технічне забезпечення для
підготовчих робіт

Під час розроблення лісосіки передбачають виконання підготовчих робіт. У відповідності до діючого законодавства, весь комплекс лісосічних робіт, включаючи підготовку лісосік до рубки, лісокористувачі зобов'язані виконувати способами, які виключають або обмежують негативний вплив на стан лісів, їх відтворення, а також на стан ґрунтів, водойм та інших природних об'єктів.

Проектуємо виконання підготовчих роботи складом бригад зайнятих на основних роботах, тому для проведення цих робіт необхідно забезпечити майстерську дільницю наступним устаткуванням:

- бензиномоторні пилки Echo CS-621SX – 1 шт.;
- трактор ТAF 690 S5 – 1 шт.;
- мотолебідка МЛ-2000М – 1 шт.;
- комплект ручного інструменту – 1 шт.;
- комплект мірних інструментів (мірна стрічка, бусоль т. д.) – 1 комп.;
- сокири – 3-5 шт.;
- верхолазний комплект – 2 комп.



№ п/п	Назва	Кіп	Розмітка
1	Головна доріжка	1	
2	Сторінки	1	
3	Сторінки	1	
4	Високі декоративні дерева	1	Л-100
5	Високі декоративні дерева на заході	1	Л-100
6	Високі декоративні дерева на заході	1	Л-100
7	Високі декоративні дерева	1	Л-100
8	Тролейбусні зупинки	1	Л-100
9	Тролейбусні зупинки	1	Л-100
10	Тролейбусні зупинки	1	Л-100
11	Тролейбусні зупинки	1	Л-100
12	Тролейбусні зупинки	1	Л-100

КР-205.03.ЛР-БР-1102.01.000.111	
Технічний план	1:500
РІК	2000
Місце	Київ
Об'єкт	Парк
Арх. і конст.	М.П. Сидоренко
ЛР-51	

Ч. ч.	Назва запроєктованої операції	Марка машини та технологічного обладнання	Змінне завдання, м ³ /зм	Продуктивність розрахункова, м ³ /зм	Кількість працівників на обслуговуванні механізму, роб.	Кількість				
						розрахункова		прийнята		
						механізмів,	людей,		механізмів, людей,	
			м ³ /зм	м ³ /зм	роб.	один.	роб.	один.	роб.	
Варіант: РГК										
1	Звалювання, зрізання гілок і сучків	Пилка Echo CS-621SX	42.0	59,94	2	0,70	1,40	1	2	
2	Трелювання деревини на верхній склад	Линвова установка ЛЛ-33 на базі IRUM Tagro 102	42.0	47,20	3	0,89	2,67	1	3	
3	Кряжування стовбурів	Пилка Echo CS-621SX	42.0	74,77	1	0,56	0,56	1	1	
4	Первинне транспортування лісоматеріалів	Колісний трактор TAF 690 S5	42.0	54,28	2	0,77	1,54	1	2	
	Всього	X	X	X	X	X	X	4	7	

КР205.03/ЛБР/10304.000

Відність патрону

1500

Українська Республіка

Державна служба лісового господарства

ЛП/УкрЛіс

ЛР-51