

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

### **Розроблення заходів з покращення лісосічних робіт в умовах Вигодського надлісництва Філії “Карпатський лісовий офіс” ДП “Ліси України”**

**Виконав:** студент групи ЛІ-61м  
спеціальності 205 Лісове господарство,  
освітньо-професійної програми  
Лісова інженерія  
Ділишин А. В.

**Керівник:** Бакай Б. Я.

**Рецензент:** Удовицький О. 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

Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) рівень

Спеціальність \_\_\_\_\_ 205 Лісове господарство

Освітньо-професійна програма \_\_\_\_\_ Лісова інженерія

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В. о. завідувача кафедри АЛІ

 доц. Бакай Б. Я.

“ 02 ” жовтня 2025 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Ділишину Артему Володимировичу

1. Тема роботи Розроблення заходів з покращення лісосічних робіт в умовах Вигодського надлісництва Філії “Карпатський лісовий офіс” ДП “Ліси України”,

керівник роботи \_\_\_\_\_ Бакай Борис Ярославович, канд. техн. наук,  
затверджені наказом університету від “ 29 ” липня 2025 року № С-461

2. Термін подання студентом роботи \_\_\_\_\_ 16 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи базове підприємство – Вигодське надлісництво Філії “Карпатський лісовий офіс” ДП “Ліси України”; об’єкт дослідження – технологія та устаткування для лісосічних робіт; обсяг заготівлі для розрахунку – 60 тис. м<sup>3</sup>, розподілений порівну між двома зонами (зона А, до 20<sup>0</sup> і зона Б понад 20<sup>0</sup>); врахувати особливості та стан природного поновлення лісів – гірські умови.

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

\_\_\_\_\_ 1. Аналіз теоретико-методологічних засад та сучасних технологій лісосічних робіт у гірському лісівництві

\_\_\_\_\_ 2. Методика виконання дослідження

\_\_\_\_\_ 3. Розроблення та технологічно-економічне обґрунтування заходів щодо покращення сортиментної заготівлі деревини

\_\_\_\_\_ 4. Висновки




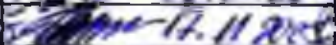


5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень) \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ 1. Схеми технології для покращення лісосічних робіт.

\_\_\_\_\_ 2. Критерії та індикатори кількісної оцінки екологічного впливу

\_\_\_\_\_ 3. Результати порівняння основних показників технологічних систем лісосічних робіт; порівняння економічних показників технологій.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Бакай Б. Я., в. о. зав. кафедри	 02.10.2025	 20.10.2025
2	Бакай Б. Я., в. о. зав. кафедри	 21.10.2025	 17.11.2025
3	Бакай Б. Я., в. о. зав. кафедри	 18.11.2025	 08.12.2025

7. Дата видачі завдання 02.10.2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Ч. ч.	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз теоретико-методологічних засад та сучасних технологій лісосічних робіт у гірському лісівництві	02.10.2025-20.10.2025 р.	
2	Методика виконання дослідження	21.10.2025-17.11.2025 р.	
3	Розроблення та технологічно-економічне обґрунтування заходів щодо покращення сортиментної заготівлі деревини	18.11.2025-08.12.2025 р.	
4	Формування висновків та оформлення кваліфікаційної роботи	09.12.2025-15.12.2025 р.	

Студент  \_\_\_\_\_

Ділишин А. В.

Керівник роботи  \_\_\_\_\_

Бакай Б. Я.

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 77 с., 3 ч., 12 табл., 6 рис., 3 дод., 12 джерел.

**Тема:** Розроблення заходів з покращення лісосічних робіт в умовах Вигодського надлісництва Філії “Карпатський лісовий офіс” ДП “Ліси України”.

ЛІСОСІЧНІ РОБОТИ, СОРТИМЕНТНА ЗАГОТІВЛЯ, КАНАТНО-ТРЕЛЮВАЛЬНА УСТАНОВКА, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, СКІДЕР, ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.

**Об’єкт дослідження** – технологія та устаткування для лісосічних робіт.

**Мета роботи** – обґрунтування та розроблення комплексу організаційно-технічних заходів із покращення лісосічних робіт в умовах Вигодського надлісництва, що базуються на впровадженні екологічно орієнтованої сортиментної технології заготівлі та застосуванні сучасних канатно-трелювальних систем для забезпечення сталого ведення лісового господарства в гірських умовах.

**Методи дослідження** – аналіз, порівняння та моделювання; дослідження включали спостереження й натурні вимірювання у виробничих умовах підприємства.

Магістерська робота присвячена актуальній проблемі модернізації технологічних процесів лісозаготівлі в умовах Вигодського НЛ. Об’єкт дослідження – технологія та устаткування для лісосічних робіт. Метою роботи є розроблення та техніко-економічне обґрунтування заходів щодо покращення лісосічних робіт шляхом впровадження високомеханізованих комплексів та канатних систем.

У роботі проведено комплексний аналіз існуючого парку машин, який виявив значні екологічні ризики при використанні скідерів на крутосхилах. Запропоновано перехід на сортиментну заготівлю із застосуванням харвестерів та форвардерів на пологих ділянках, а також впровадження канатно-трелювальних установок на схилах понад 20 градусів. Розраховано, що такі заходи забезпечують зростання продуктивності у 3,7 раза та зменшення екологічного навантаження на ґрунт на 90%. Термін окупності інвестицій становить близько 5 років.

## ABSTRACT

Master's degree graduation thesis: 77 p., 3 ch., 13 tbl., 9 ill., 3 add., 12 literature sources.

**Thesis topic:** Development of measures to improve logging operations in the conditions of the Vyhoda Forestry Department of the Carpathian Forest Office Branch of the SFE Forests of Ukraine.

LOGGING OPERATIONS, CUT-TO-LENGTH LOGGING, CABLE YARDING SYSTEM, ENVIRONMENTAL SAFETY, SKIDDER, FEASIBILITY STUDY.

**Study subject** – technology and equipment for logging operations..

**Research objective** – substantiation and development of a set of organizational and technical measures to improve logging operations in the Vyhoda forestry unit, based on the implementation of environmentally oriented cut-to-length logging technology and the use of modern cable yarding systems to ensure sustainable forest management in mountainous conditions.

**Research methods** – analysis, comparison, and modeling; the research included observations and field measurements under the enterprise's operational conditions.

The Master's thesis is devoted to the urgent problem of modernizing logging technological processes in the conditions of the Vyhoda forestry unit. Study subject – technology and equipment for logging operations. The aim of the work is to develop and provide a feasibility study for measures to improve logging operations through the introduction of highly mechanized complexes and cable systems.

The work provides a comprehensive analysis of the existing machinery fleet, which revealed significant environmental risks when using skidders on steep slopes. A transition to cut-to-length logging using harvesters and forwarders on gentle slopes, as well as the introduction of cable yarding systems on slopes over 20 degrees, is proposed. It is calculated that such measures ensure a productivity increase of 3.7 times and a 90% reduction in environmental impact on the soil. The payback period for investments is about 5 years.

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП</b>	<b>8</b>
<b>1 АНАЛІЗ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНИХ ЗАСАД ТА СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЛІСОСІЧНИХ РОБІТ У ГІРСЬКОМУ ЛІСІВНИЦТВІ</b>	<b>10</b>
1.1 Загальна характеристика та історичний розвиток лісогосподарської діяльності у Карпатському регіоні	10
1.2 Теоретичні основи та екологічні вимоги до лісосічних робіт в умовах гірських лісів	13
1.3 Аналіз існуючих технологічних систем заготівлі деревини в Україні та світі з акцентом на гірську місцевість	16
1.4 Огляд нормативно-правової бази та чинних галузевих стандартів щодо організації та виконання лісосічних робіт у ДП “Ліси України”	21
1.5 Загальна характеристика підприємства	23
1.6 Формулювання проблеми та обґрунтування необхідності вдосконалення технологій лісозаготівлі у Вигодському НЛ	28
<b>2 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ</b>	<b>31</b>
2.1 Програма дослідження: визначення мети, завдань та послідовності виконання робіт	31
2.2 Фокус дослідження: припущення щодо технологічних та організаційних чинників, які мають ключовий вплив на ефективність лісосічних робіт	32
2.3 Обґрунтування теоретичних передумов щодо можливості зниження екологічного навантаження шляхом впровадження нових технологічних рішень	35
2.4 Методика оцінки ефективності лісосічних робіт та їх екологічного впливу	37

2.5 Дослідження та аналіз продуктивності основних виробничих операцій	39
2.6 Методика оцінювання технологічних витрат та втрат деревини на різних етапах	41
2.7 Методика кількісної оцінки деградації ґрунтів та пошкодження залишеного деревостану	44
2.8 Аналіз існуючого парку машин та обладнання, що використовується на лісосічних роботах	47
<b>3 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ СОРТИМЕНТНОЇ ЗАГОТІВЛІ ДЕРЕВИНИ</b>	49
3.1 Обґрунтування вибору найбільш раціональних технологій лісосічних робіт для складних гірських умов Вигодського НЛ	49
3.2 Розроблення інноваційних схем освоєння лісосік, орієнтованих на застосування сортиментної заготівлі	50
3.3 Визначення доцільності впровадження високомеханізованих комплексів (“харвестер-форвардер”) на ділянках із помірною крутизною схилів	53
3.4 Проектування та розрахунок параметрів канатних установок для ділянок із критичною крутизною схилів	55
3.5 Розроблення удосконалених технологічних карт лісосічних робіт та їх організаційне забезпечення	59
3.6 Прикладні розрахунки та техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів	61
3.7 Заходи з охорони праці, екологічна та соціальна ефективність впровадження запропонованих заходів	65
<b>ВИСНОВКИ</b>	68
<b>ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ</b>	70
<b>ДОДАТКИ</b>	72

## ВСТУП

На сучасному етапі розвитку лісового господарства України формується стійка тенденція до переходу від екстенсивних методів лісокористування до принципів сталого ведення лісового господарства. Ця парадигма вимагає пріоритетного застосування вибіркового рубок, що є критично важливим для збереження біологічної стійкості, водоохоронних та ґрунтозахисних функцій гірських лісів Карпатського регіону [1]. Такий технологічний і екологічний імператив висуває підвищені вимоги до виконання науково-дослідних робіт, сфокусованих на підвищенні рівня механізації лісосічних робіт, впровадженні нових, екологічно безпечних способів заготівлі деревини та використанні сучасного високопродуктивного обладнання, адаптованого до складних гірських умов.

Особлива увага у цьому контексті приділяється ефективному трелюванню та транспортуванню деревини, які є найбільш вразливими ланками технологічного процесу в гірській місцевості Українських Карпат. Сучасне обладнання, включаючи високоточні гідравлічні маніпулятори, інтегровані в скідери, форвардери або канатні установки, має потенціал для оптимізації процесів переміщення деревини на всіх етапах: від формування сортиментів на лісосіці до їхнього штабелювання на верхніх складах. Українські підприємства галузевого машинобудування демонструють потенційні можливості для виробництва та забезпечення лісового господарства такими технічними засобами [1, 2]. У зв'язку з цим, виникає нагальна необхідність у фаховому інженерному обґрунтуванні можливості та доцільності використання конкретних типів механізмів, зокрема з урахуванням специфічних природно-виробничих умов експлуатації.

На території Вигодське надлісництво Філії “Карпатський лісовий офіс” ДП “Ліси України” (надалі Вигодське НЛ), яке раніше функціонувало як ДП “Вигодське лісове господарство”, існуюча практика лісосічних робіт потребує кардинального перегляду. Завдання підвищення ефективності технології рубок

та мінімізація ризиків критичного пошкодження опорної поверхні лісосіки та залишеного деревостану шляхом розроблення заходів з покращення лісосічних робіт стоїть надзвичайно гостро через круті схили відведених лісосік. Існуюче домінування наземного трелювання колісними скідерами не відповідає екологічним вимогам і призводить до значної деградації ґрунтового покриву. Це зумовлює необхідність підготовки ґрунтового наукового обґрунтування для впровадження сортиментної технології, інтегрованої з канатно-трелювальними системами на крутосхилах.

Актуальність кваліфікаційної роботи визначається необхідністю розроблення науково обґрунтованих організаційно-технічних заходів, які забезпечать перехід Вигодського НЛ до високомеханізованих та екологічно безпечних методів лісозаготівлі. Впровадження такого підходу гарантує підвищення рівня механізації, оптимізацію транспортування деревини, зниження собівартості та, що є ключовим для гірського лісівництва, суттєве зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

У зв'язку з цим робота спрямована на розроблення та техніко-економічного обґрунтування комплексу заходів щодо покращення лісосічних робіт в умовах Вигодського НЛ, орієнтованих на застосування прогресивних технологій заготівлі та транспортування деревини у межах лісосіки.

# 1 АНАЛІЗ ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНИХ ЗАСАД ТА СУЧАСНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЛІСОСІЧНИХ РОБІТ У ГІРСЬКОМУ ЛІСІВНИЦТВІ

## 1.1 Загальна характеристика та історичний розвиток лісогосподарської діяльності у Карпатському регіоні

Карпатський регіон України, як поліфункціональна екосистема, історично відігравав стратегічну роль у національному господарстві, а його лісовий фонд, що належить до категорії гірських лісів, є природним ресурсом особливого значення [1, 2].

Специфіка лісогосподарської діяльності, зокрема у Вигодського НЛ, обумовлена передусім складним рельєфом, високою лісистістю, домінуванням букових та смерекових деревостанів, а також винятковими водоохоронними, ґрунтозахисними та рекреаційними функціями, які покладаються на гірські ліси. Отже, технології та організація виробничих процесів завжди мали відповідати не лише економічній доцільності, але й суворим екологічним обмеженням [3].

Історичний розвиток лісового господарства на теренах Карпат має кілька ключових етапів, кожен з яких залишив свій відбиток на сучасному стані лісових ресурсів та методах ведення робіт (табл. 1.1). Період інтенсивної експлуатації, що припав на другу половину ХІХ – початок ХХ століть, був пов'язаний із стрімким розвитком промисловості та масовим експортом деревини за кордон. На цьому етапі домінувала суцільна рубка із застосуванням примітивних, але масових методів трелювання, переважно кінної тяги, а пізніше – вузькоколіїних залізниць та лісосплаву, що мало часто незворотні негативні наслідки для гідрологічного режиму та стійкості гірських схилів.

Таблиця 1.1 – Динаміка еволюції лісогосподарських практик у Карпатах

Період	Ключовий технологічний пріоритет	Домінуючий вид рубок	Середній річний обсяг заготівлі	Основний засіб трелювання	Екологічні наслідки (ключова проблема)
Кінець XIX – Початок XX ст.	Інтенсивна видобувна функція	Переважно суцільні рубки	Високий (орієнтація на експорт)	Лісосплав, кінна тяга, вузькоколійні залізниці	Масштабна деградація ґрунтів, порушення гідрорежиму (повені)
Серединна XX ст. (1950-1970-ті)	Посилення контролю, механізація	Суцільні та поступові рубки	Дуже високий (пік індустріалізації)	Трелювальні трактори (типу ТДТ-40/55)	Ущільнення ґрунтів, формування глибоких ерозійних волоків
Кінець XX ст. (1980-1990-ті)	Перехід до багатопільового лісівництва	Вибіркові та поступові рубки	Середній (зниження обсягів)	Трелювальні трактори, перші канатні установки	Технологічний застій, локальні ерозійні процеси
Початок XXI ст. (сучасний етап)	Стале лісове господарство, екологізація	Переважно вибіркові рубки	Оптимальний, регульований	Канатно-трелювальні системи, спеціалізовані скідери, харвестери	Потреба у впровадженні високоефективних та екологічно безпечних гірських технологій

Зі становленням науково обґрунтованого лісівництва, починаючи із середини ХХ століття, акцент почав зміщуватися від суто видобувної функції до багатоцільового лісокористування. Було впроваджено класифікацію лісів за функціональним призначенням, що призвело до посилення природоохоронного статусу значної частини гірських масивів. У технологічному плані відбулася поступова механізація лісосічних робіт, коли на зміну кінній тязі прийшли колісні трелювальні трактори, це хоча й підвищило продуктивність, але також спричинило інтенсивну деградацію ґрунтів та формування глибоких волоків на схилах. На крутосхилах почали застосовувати перші моделі канатних установок, проте їхнє використання залишалося локальним через високу вартість монтажу та експлуатації.

Сучасний етап розвитку лісогосподарської діяльності у Карпатах характеризується необхідністю гармонізації економічних, екологічних та соціальних аспектів, що відповідає принципам сталого ведення лісового господарства. Провідним трендом є відмова від суцільних рубок (за винятком санітарних та реконструктивних) та перехід до переважного застосування різних видів вибіркових рубок, а також рубок формування та оздоровлення лісів (РФОЛ), що як відомо, мають менший вплив на довкілля та сприяють збереженню біорізноманіття.

У технологічному плані це вимагає кардинального перегляду підходів до виконання лісосічних робіт. Зокрема, використання високопродуктивних технологій сортиментної заготівлі деревини (застосування харвестерів та форвардерів), а також широке впровадження канатних систем різного типу на крутосхилах (включно з повітряно-трелювальними установками), стає необхідною умовою для забезпечення екологічної безпеки. Вибір технології безпосередньо залежить від крутизни схилу, стійкості ґрунтів та інтенсивності рубки, що створює складну інженерну задачу.

Таким чином, сучасна лісогосподарська діяльність у Карпатському регіоні, включаючи діяльність Вигодського НЛ, є високотехнологічним та організаційно складним процесом, який перебуває на етапі трансформації. Вона

вимагає глибокого аналізу існуючих виробничих процесів, пошуку шляхів мінімізації негативного впливу на довкілля та впровадження інноваційних рішень, які б поєднували високу економічну ефективність з екологічною відповідальністю в умовах складного гірського рельєфу. Цей історично сформований контекст є відправною точкою для розроблення заходів з покращення лісосічних робіт.

## **1.2 Теоретичні основи та екологічні вимоги до лісосічних робіт в умовах гірських лісів**

Теоретичні засади виконання лісосічних робіт у гірських умовах, до яких належить і територія Вигодського НЛ, ґрунтуються на необхідності досягнення балансу між технологічною ефективністю заготівлі деревини та збереженням стійкості гірських екосистем. Лісова інженерія в цьому контексті виходить за рамки суто виробничих завдань, інтегруючи принципи гідрології, ґрунтознавства та екології ландшафтів [3].

Ключовою теоретичною засадою є концепція захисного лісівництва, яка визначає першочергову роль лісів у запобіганні ерозії, зсувам, селям та регулюванні водного стоку. У Карпатах, де крутизна схилів часто перевищує 20 градусів, кожен технологічний елемент лісосічних робіт, від вибору напрямку звалювання ростучих дерев до трасування трелювальних волоків, має бути підпорядкований мінімізації ризику дестабілізації ґрунтового покриву. Це зумовлює переважне застосування технологій, які передбачають максимально щадний вплив на підґрунтя, зокрема, безволокові способи трелювання або використання підвісних систем [4, 5].

Екологічні вимоги до лісосічних робіт у гірських лісах є надзвичайно суворими і базуються на причинно-наслідкових зв'язках між інтенсивністю антропогенного впливу та деградацією природних компонентів.

По-перше, критичною вимогою є збереження цілісності ґрунтового покриву. Традиційне трелювання деревини тракторами призводить до ущільнення

грунту, погіршення його аерації та інфільтраційної здатності, що, своєю чергою, збільшує поверхневий стік і провокує ерозійні процеси. Зменшення тиску на одиницю площі, досягне за рахунок застосування гусеничної техніки з низьким питомим тиском або, що є більш доцільним для крутосхилів, канатних установок, є імперативом для лісової інженерії в гірській місцевості.

По-друге, особлива увага приділяється збереженню водних об'єктів та прибережних захисних смуг. Будь-які виробничі операції, особливо трелювання, повинні бути повністю виключені в межах водоохоронних зон, а перетин водотоків повинен здійснюватися виключно у спеціально обладнаних місцях, щоб уникнути забруднення води нафтопродуктами та підвищення мутності, що є прямим наслідком порушення ґрунту під час заготівлі деревини.

По-третє, екологічна вимога передбачає зменшення пошкодження залишеного деревостану під час вибіркових та поступових рубок, які є домінуючими у Карпатах. Пошкодження кореневої системи та стовбурів залишених дерев створює ворота для інфекцій, зокрема, червоної гнилі, знижуючи біологічну стійкість насаджень. Це вимагає використання технологій сортиментної заготівлі, де короткі сортименти легше маневрувати, та застосування ретельно спланованої мережі трелювальних шляхів із завчасним їх відведенням.

Нарешті, екологічні вимоги тісно пов'язані з ландшафтним плануванням. Технологічні рішення мають бути інтегровані у загальний план лісосіки, враховуючи її форму, конфігурацію та розташування щодо вододілів, щоб мінімізувати візуальний вплив та зберегти естетичну цінність ландшафту. Таким чином, застосування принципів сталого лісового господарства у гірських умовах трансформує завдання лісосічних робіт із простого вилучення деревини на комплексне управління екосистемою, де технологія виступає інструментом збереження її функціональності [6]. Встановимо взаємозв'язок між крутизною схилу, типом технології трелювання та допустимим ступенем впливу на ґрунтовий покрив, що відповідає сучасним екологічним вимогам у гірському лісівництві (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Взаємозв'язок між природно-виробничими чинниками, що відповідає сучасним екологічним вимогам у гірському лісівництві

Критерій оцінки	Крутизна схилу, градуси	Рекомендована технологічна система трелювання	Питомий тиск на ґрунт, МПа	Екологічні наслідки (ключовий ризик)
Низька складність	До 15°	Колісні скідери, форвардери (з низьким тиском на ґрунт)	До 0,08	Ущільнення ґрунту, якщо інтенсивність руху висока
Середня складність	16°-25°	Гусеничні скідери, часткове використання канатних установок	0,03-0,06	Середній ризик ерозії, вимагає чіткого трасування волоків
Висока складність	26°-35°	Канатно-трелювальні установки (переважно), малогабаритна техніка	Мінімальний вплив (точковий)	Високий ризик водної ерозії та зсувів при наземному трелюванні
Надзвичайна складність	Понад 35°	Канатно-трелювальні установки (з підвісним транспортуванням), гелікоптерна трелювання	Нульовий прямий вплив	Недопустимість наземного трелювання через критичну стійкість схилу

Таблиця 1.2 демонструє, як зміна крутизни схилу, що є визначальною характеристикою рельєфу Вигодського НЛ, спричиняє необхідність кардинальної зміни технології трелювання. Забезпечення низького питомого тиску на

грунт, особливо на схилах понад  $25^{\circ}$ , є прямою екологічною вимогою, яка обумовлює доцільність впровадження канатних систем, що, своєю чергою, є однією з центральних проблем, яка вимагає вирішення в межах даної кваліфікаційної роботи.

### **1.3 Аналіз існуючих технологічних систем заготівлі деревини в Україні та світі з акцентом на гірську місцевість**

Аналіз технологічних систем заготівлі деревини є фундаментальним елементом розроблення заходів з покращення лісосічних робіт у Вигодському НЛ, оскільки вибір системи визначає не лише продуктивність, а й рівень екологічного навантаження. Сучасна лісова інженерія класифікує системи заготівлі за ступенем механізації, методом первинної обробки та способом трелювання, але в умовах гірської місцевості критичним критерієм стає саме спосіб транспортування деревини, зважаючи на крутизну схилів [4, 5, 7].

В Україні, зокрема в Карпатському регіоні, досі домінують дві основні групи технологій, які використовувалися історично та технологічно:

По-перше, стовбурова технологія, або заготівля деревини стовбурами, яка передбачає валку, обрубкування сучків на лісосіці та трелювання цілих стовбурів до верхнього або проміжного складу, де відбувається розкряжування на сортименти. Основним засобом трелювання тут є колісні скідери, зокрема модернізовані версії трелювальних тракторів. Ця система характеризується відносно низькою собівартістю на етапі трелювання, але має суттєві екологічні недоліки, оскільки довгі хлисти під час руху схилом спричиняють значне перемішування ґрунту, посилюючи ерозійні процеси, особливо на схилах середньої крутизни (до  $20^{\circ}$ ).

По-друге, сортиментна технологія, що є прогресивним світовим стандартом, особливо в умовах інтенсивного та сталого лісівництва. Ця система передбачає валку, обрубкування сучків та кряжування безпосередньо на лісосіці за допомогою харвестерів або бензопилок. Готові сортименти транспортуються

форвардерами або спеціальними скідерами-збирачами до дороги. Головна перевага цієї технології полягає у зменшенні пошкодження ґрунту, оскільки форвардери пересуваються вже по килиму з порубкових залишків, які захищають підґрунтя. Однак, застосування таких комплексів в умовах Карпат обмежене необхідністю мати відносно пологий рельєф або спеціально облаштовані технологічні коридори.

Розглянемо існуючий світовий досвід та гірські технології заготівлі.

У світовій практиці гірського лісівництва, зокрема в Альпах, Скандинавії та Канаді, переважають високопродуктивні технологічні системи. Канатно-трелювальні системи є найбільш екологічно безпечним та ефективним рішенням для схилів із крутизною понад  $25^{\circ}$ , де наземне трелювання є неприпустимим. Вони дозволяють повністю або частково підвішувати деревину, мінімізуючи контакт з ґрунтом. Залежно від конфігурації, такі системи розрізняють:

- канатні (човникові) системи, де деревина переміщується вздовж канатної траси;
- скіп-системи, які передбачають використання спеціальних контейнерів (або скіпів) для транспортування сортиментів.

Впровадження таких систем вимагає значних капіталовкладень у техніку та високої кваліфікації персоналу для монтажу та експлуатації, але забезпечує дотримання найсуворіших екологічних норм, що прямо корелюється із захисним статусом Карпатських лісів.

Високо механізовані гірські комплекси представлені спеціальними харвестерами та форвардерами, обладнаними системою вирівнювання кабіни та лебідками для роботи на схилах середньої крутизни. Ці машини, відомі як харвестери-процесори, здатні здійснювати валку та повну обробку стовбурів, значно підвищуючи якість та продуктивність заготівлі [7-9].

Отже, існуючі технологічні системи, які застосовуються в Україні, часто не повною мірою відповідають вимогам екологічно безпечної заготівлі в гірських умовах, що формує обґрунтовану необхідність розроблення заходів з удосконалення. Перехід до домінуючого використання сортиментної

технології, інтегрованої з канатними системами на крутих схилах, є ключовою стратегією, яка дозволить Вигодському НЛ досягти відповідності стандартам сталого лісового господарства. Проведемо порівняльний огляд традиційних та інноваційних технологій (табл. 1.3) валки і первинної обробки (обрубкування суцків, розкрязування) з точки зору їх застосовності та ефективності у гірських умовах, що є визначальним для Вигодського НЛ.

Таблиця 1.3 – Порівняння варіантів технологій заготівлі деревини

Критерій порівняння	Варіанти технологій заготівлі деревини		
	традиційна (ручна)	напівмеханізована (стовбурова)	прогресивна (сортиментна)
1	2	3	4
Основний інструмент валки	Бензомоторна пила	Бензомоторна пила	Харвестер (багатоопераційна машина)
Первинна обробка	Бензомоторна пила (на лісосіці)	Бензомоторна пила (на лісосіці або верхньому складі)	Харвестер (автоматизований процес)
Форма трельованої деревини	Стовбури (хлїсти) або напівсортименти	Стовбури	Сортименти (Cut-to-Length)
Продуктивність праці	Низька	Середня	Висока (у 3-5 разів вища за ручну)
Вимоги до крутизни схилу	Будь-яка (валка)	Обмежено крутизною трельовання	Обмежено крутизною переміщення техніки (до 20° без лебідки)

Продовження табл. 1.3

Якість обробки	Залежить від кваліфікації робітника	Залежить від кваліфікації робітника	Висока, стандартизована, точність розкряджування
Вплив на охорону праці	Високий рівень ризику травматизму	Середній рівень ризику	Низький (оператор працює в захищеній кабіні)
Капітальні інвестиції	Низькі	Середні	Високі

Таким чином, детальний аналіз існуючих технологічних систем заготівлі деревини чітко доводить, що застосування традиційних методів наземного трелювання колісними скідерами в умовах критичної крутизни схилів Вигодського НЛ є неекологічним, оскільки спричиняє неприпустиме ущільнення та ерозію ґрунтів. Ефективність та екологічна безпека прямо залежать від ступеня інтеграції сортиментної технології валки та обробки з методами повітряного транспортування, зокрема, з канатно-трелювальними системами. Ці системи, попри високі початкові інвестиції, є єдиним технологічно обґрунтованим шляхом забезпечення сталого лісокористування на складних гірських ділянках, що формує ключову задачу для розроблення заходів з покращення лісосічних робіт у рамках даної кваліфікаційної роботи.

Вибір оптимального способу трелювання та транспортування деревини є ключовим інженерним рішенням у гірському лісівництві, оскільки він має прямий причинно-наслідковий вплив на собівартість кінцевої продукції та, що критично для Карпатського регіону, на рівень екологічного пошкодження [8, 9]. В умовах складного рельєфу Вигодського НЛ, де крутизна схилів часто включає можливість використання традиційних наземних методів, аналіз зосереджується на порівнянні механізованого наземного транспортування (колісні та гусеничні скідери) з технологіями повітряного чи напівповітряного трелювання (канатно-трелювальні системи) (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Порівняльна характеристика основних способів трелювання та транспортування деревини у гірських умовах Вигодського НЛ

Спосіб трелювання	Тип техніки / системи	Діапазон крутизни схилу	Екологічний вплив на ґрунт	Продуктивність та вартість	Ключові обмеження
Наземне (колісні)	Скідери, лісовози (тягачі)	До 20° (з обмеженнями)	Значне ущільнення та ерозія ґрунту	Середня продуктивність, низька вартість одиниці	Критичні обмеження на схилах понад 20°
Наземне (гусеничні)	Спеціалізовані гусеничні скідери	До 25°	Середнє ущільнення, менша ерозія порівняно з колісними	Середня продуктивність, вища вартість одиниці	Високі експлуатаційні витрати, повільність
Канатне (півпідвісне/повітряне)	Канатно-трелювальні установки (човникові, скіп-системи)	20° - понад 45°	Мінімальний або нульовий прямий вплив	Висока продуктивність на великих обсягах	Високі початкові інвестиції, складність монтажу траси
Авіаційне (гелікоптерне)	Транспортні гелікоптери (типу Sikorsky S-64)	Будь-яка крутизна	Нульовий прямий вплив	Надзвичайно висока продуктивність, короткі терміни	Критично висока собівартість (економічно виправдано рідко)

Кожен із цих способів має чітко визначені межі ефективності та екологічної прийнятності, які необхідно врахувати при розробленні заходів щодо покращення лісосічних робіт [4, 7-10]. Висока вартість та обмежена доступність деяких інноваційних рішень, таких як гелікоптерне трелювання, також вимагають суворого економічного обґрунтування.

Таким чином, детальний порівняльний аналіз технологій трелювання у гірських умовах однозначно вказує на критичну невідповідність між потребою у збереженні екологічної стійкості схилів Вигодського НЛ та домінуванням наземних способів транспортування деревини, які спричиняють значні ерозійні процеси. Принципове значення для подальшого вдосконалення лісосічних робіт має канатно-підвісна трелювальна технологія, оскільки вона є єдиною, що забезпечує мінімальний або нульовий прямий вплив на ґрунтовий покрив при критичній крутизні схилів (понад  $25^{\circ}$ ). Успішне впровадження цієї технології, інтегрованої з принципами сортиментної заготівлі, становить головний напрямок розроблення заходів з покращення виробничих процесів, що потребує відповідного організаційного та нормативного забезпечення.

#### **1.4 Огляд нормативно-правової бази та чинних галузевих стандартів щодо організації та виконання лісосічних робіт у ДП “Ліси України”**

Організація та виконання лісосічних робіт, особливо в умовах гірських лісів Вигодського НЛ, суворо регламентуються комплексом нормативно-правових актів України та внутрішніми галузевими стандартами, які формують правове та технологічне поле діяльності [1, 2, 9]. Дотримання цих норм є не лише вимогою закону, але й фундаментальною умовою сталого та екологічно відповідального лісокористування.

На найвищому рівні регулювання лісосічні роботи ґрунтуються на положеннях Лісового кодексу України, який визначає основні принципи використання, охорони та відтворення лісів. Кодекс встановлює необхідність застосування методів заготівлі деревини, що забезпечують збереження

біорізноманіття, ґрунтозахисних та водорегулюючих функцій лісів. Прямим наслідком цього є законодавче обмеження суцільних рубок у гірських лісах і пріоритетність вибіркових та поступових рубок.

Деталізація технологічних та екологічних вимог міститься у Правилах рубок головного користування в гірських лісах Карпат та у Правилах санітарних рубок. Ці документи визначають:

- обґрунтування допустимої інтенсивності рубки, яка має мінімізувати дестабілізацію гірських схилів;
- вимоги до проєктування та трасування трелювальних шляхів, волоків та лісовозних доріг, з обов'язковим врахуванням крутизни схилу та наявності водотоків. Зокрема, встановлюються жорсткі обмеження на використання колісних скідерів на схилах із критичною крутизною;
- стандарти щодо залишення недорубів, насінневих дерев та збереження підросту для сприяння природному відновленню лісу.

Окреме місце у нормативній базі займають внутрішні галузеві стандарти та інструкції, розроблені для системи ДП “Ліси України” та його структурному підроділі Філії “Карпатський лісовий офіс”. Ці документи часто деталізують загальнодержавні вимоги до конкретних природних умов, зокрема:

- типові технологічні карти лісосічних робіт, які є основним організаційним документом. Вони містять детальні схеми розташування виробничих об'єктів, маршрути руху машин, норми часу та витрат пального.
- вимоги до екологічної сертифікації лісопродукції (наприклад, за системою FSC, де це актуально), які висувають додаткові, часто більш жорсткі, вимоги до мінімізації пошкодження ґрунту та водних об'єктів під час трелювання.

Проте, слід визнати, що навіть за наявності чіткої нормативної бази, залишається розрив між теоретичними вимогами та практичним застосуванням. Часто чинні стандарти не повною мірою враховують потенціал \*\*інноваційних високомеханізованих систем (наприклад, харвестерно-форвардерних комплексів на базі лебідкового трелювання або сучасних канатних систем), що може

стримувати їхнє широке впровадження у Вигодському НЛ. Отже, розроблення заходів з покращення лісосічних робіт вимагає не лише суворого дотримання існуючих норм, а й обґрунтування необхідності внесення змін або доповнень до технологічних карт, що базуються на передовій інженерній практиці та принципах економічної доцільності, адаптованих до специфічних умов гірського регіону.

### **1.5 Загальна характеристика підприємства**

Станом на 2025 рік Вигодське НЛ, є структурним підрозділом Філії “Карпатський лісовий офіс”. Підприємство має стовідсоткову державну форму власності і здійснює господарську та виробничу діяльність, яка за Класифікацією видів економічної діяльності (КВЕД-2010) повністю відповідає лісогосподарському спрямуванню (Лісове господарство та лісозаготівлі).

На основі аналізу первинної документації, зібраної під час переддипломної практики (зокрема, статистичної звітності, лісовпорядкування та річних звітів за 2024 рік та частково 2025 року), встановлено, що виробнича діяльність підприємства ведеться на засадах сталого розвитку лісових екосистем. Діяльність Вигодського НЛ сфокусовано на збереженні, примноженні та раціональному використанні лісових ресурсів Карпатського регіону.

Адміністративно-господарська структура підприємства, що діяла на протязі останніх років, була сформована з урахуванням функціональних завдань та стратегії діяльності. Вона включала адміністрацію, дванадцять лісництв, нижній склад, автотранспортний підрозділ, шкільне лісництво, а також підрозділи, відповідальні за об’єкти природного заповідного фонду. Управління підприємством реалізується через директора та адміністративний апарат, забезпечуючи відповідну організаційну форму для ефективного виконання поставлених цілей.

Сьогодні Вигодське НЛ дотримується політики відкритості щодо реалізації основних завдань та особливостей функціонування, забезпечуючи

детальну та повну інформацію про свою лісогосподарську, виробничу, зокрема лісосічну та лісоскладську, а також природоохоронну діяльність. Інформація про всі заплановані рубки, хід їх проведення, виконавців-підрядників та особливості оформлення лісорубних квитків постійно оновлюється на спеціалізованих відкритих інформаційних ресурсах.

Лісовий фонд, що перебуває у віданні Вигодського НЛ (рис. 1.1), є історично цінним об'єктом, оскільки заготівля деревини в цьому регіоні має давні традиції. На ранніх етапах, до широкої механізації, усі роботи з лісозаготівлі проводились виключно ручним способом, а основним обладнанням були пилики та сокири. Заготівля деревини реалізовувалась у вигляді сортиментів довжиною 6,0 метрів. Для переміщення та транспортування кряжів схилом активно використовувалися трельовальні трактори різних типів, а для підтягування – гужовий транспорт.

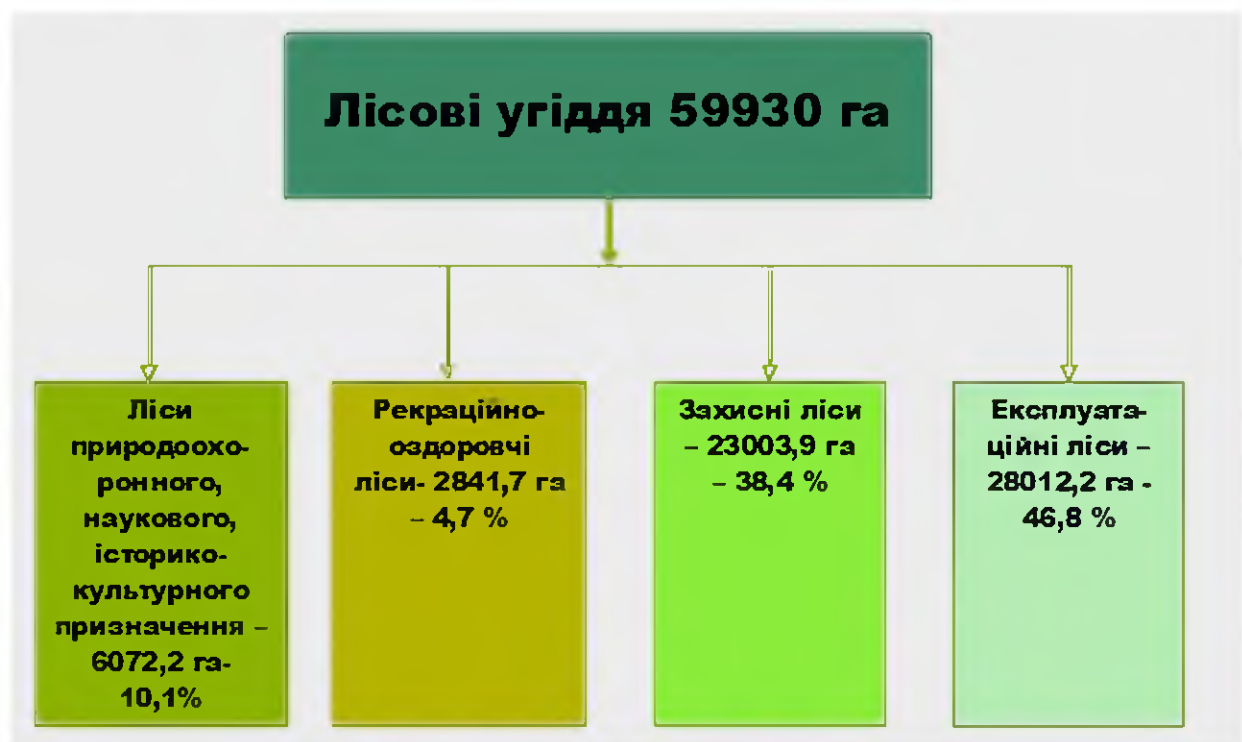


Рисунок 1.1 – Поділ лісів на категорії в порядку, що встановлюється Кабінетом Міністрів України

Історично склалося, що транспортування кряжів здійснювалося здебільшого шляхом скидання їх у водяні потічки, що дозволяло зменшити тертя, після

чого деревина сплавлялася річками до нижнього складу. Сплавлення деревини річками було основним способом її транспортування в гірських районах Карпат. Діяльність Вигодського лісового комбінату свого часу стимулювала стрімкий розвиток регіону, а згодом було розпочато комплексні роботи, спрямовані на покращення ведення лісового господарства, зокрема приділялася належна увага не лише заготівлі, а й ефективному перероблянню деревини та лісовідновленню.

Лісовий фонд Вигодського НЛ (рис. 1.2) сформований переважно такими породами: ялина (близько 80%), біла ялиця (близько 10%) та бук (близько 10%). Така породна структура залишається домінуючою і на даний час. Завдяки комплексному підходу до господарювання та організованій діяльності управління лісовим фондом, вдалося у досить короткий термін здійснити лісовідновлення незаліснених лісових площ.

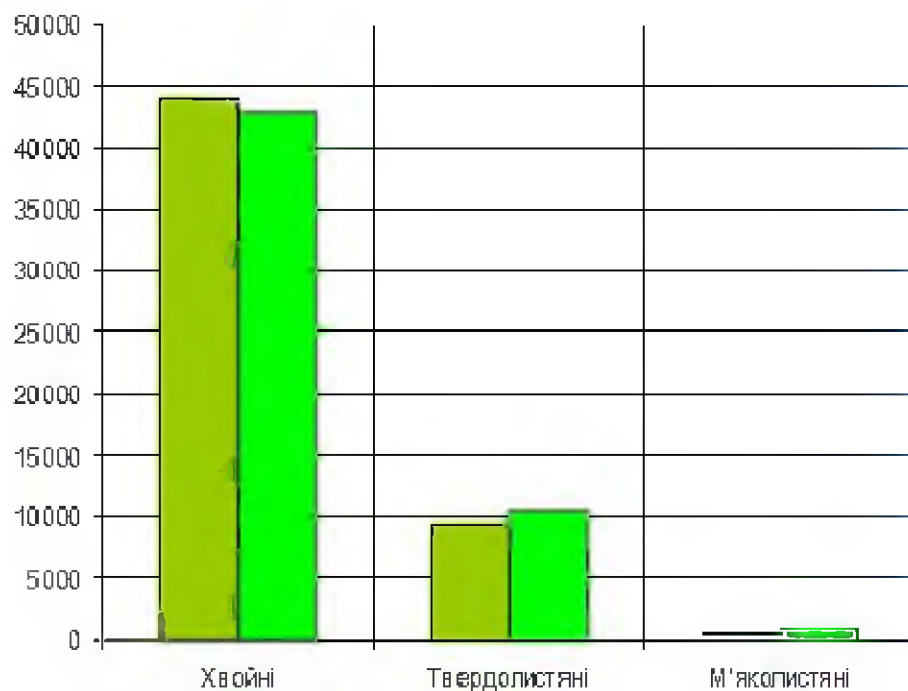


Рисунок 1.2 – Існуючий і оптимальний поділ деревостанів за групами віку на підприємстві

Відповідно до започаткованих стратегічних змін та нових принципів ведення лісового господарства, ліскокомбінат було перепрофільовано на підприємство лісового господарства, зокрема ДП ВЛГ, а пізніше – Вигодське

НЛ. На даний час підприємство ефективно проводить господарську діяльність. На його обліку перебуває двадцять вісім об'єктів природно-заповідного фонду із загальною площею понад 6,0 тисяч гектарів, що становить близько 10% від загальної площі лісового фонду підприємства.



Рисунок 1.3 – Динаміка вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок за групами лісу на підприємстві

Серед об'єктів природно-заповідного фонду, які мають особливий статус, на обліку стоять: один дендрологічний парк площею 0,01 тисячі гектарів, шість пам'яток природи загальною площею 0,11 тисячі гектарів, два спеціальні заказники загальною площею 3,30 тисячі гектарів, а також понад п'ятнадцять урочищ, що мають заповідний статус, загальною площею 2,60 тисячі гектарів.

Основним напрямом діяльності підприємства є ведення лісогосподарської діяльності на засадах сталого розвитку, виконання робіт із заготівлі деревини на основі запланованих рубок (рис. 1.4) із первинною її переробкою виробничими потужностями підприємства.

Група технології	Номер процесу	Операції, що виконуються	Вид продукції, яка трелюється	Операції, які проводяться на верхньому складі (навантажувальному майданчику)	Лісопродукція, яка транспортується
Стовбурна	I	Звал.- Ф.п.	Дерева	Відв.	Дерева
	II	Звал.- Ф.п.	Дерева	Зріз.- Відв.	Стовбури / напівстовбури
	III	Звал.- Зріз.- Ф.п.	Стовбури	Відв.	Стовбури
Сортиментна	IV	Звал.- Зріз.- Ф.п.	Стовбури	Кр.- Відв.	Сортименти
	V	Звал.- Ф.п.	Дерева	Зріз.- Кр.- Відв.	Сортименти
	VI	Звал.-Зріз.-Кр.- Ф.п.	Сортименти	Відв.	Сортименти
	VII	Звал.-Зріз.-Кр.- Ф.п.- Відв.	–	–	Сортименти

Рисунок 1.4 – Представлення технологічних процесів для виконання лісосічних робіт: Звал. – звалювання; Зріз. – зрізування гілок; Кр. – кряжування; Ф.п. – формування пакету; Відв. – відвантаження.

Встановлено, що ключовою операцією в технологічному циклі лісосічних робіт для Вигодського НЛ, незалежно від обраного варіанту заготівлі, залишається трелювання деревини. Ця особливість є типовою для більшості лісогосподарських підприємств Карпатського регіону, оскільки саме фаза транспортування деревини з лісосіки до верхнього складу є найбільш

трудомісткою, енергоємною та, в умовах складного гірського рельєфу, найбільш екологічно небезпечною операцією. Ефективність та безпека трелювання прямо визначають загальну продуктивність та екологічний вплив усього комплексу лісосічних робіт.

### **1.6 Формулювання проблеми та обґрунтування необхідності вдосконалення технологій лісозаготівлі у Вигодському НЛ**

Аналіз загальної характеристики Вигодського НЛ та існуючого світового досвіду гірського лісівництва чітко засвідчує існування гострої технологічної невідповідності між складністю природно-виробничих умов Карпатського регіону та домінуванням застарілих методів лісосічних робіт. Саме ця невідповідність формує ключову проблему, яка потребує негайного вирішення в рамках сталого ведення лісового господарства.

Головна проблема полягає у надмірному використанні наземного трелювання колісними скідерами на ділянках із критичною крутизною схилів, що перевищує двадцять градусів (рис. 1.5). Це має прямий причинно-наслідковий зв'язок із неприпустимим рівнем екологічного навантаження. Наслідком є інтенсивне ущільнення ґрунтового покриву, формування глибоких ерозійних волоків та, як результат, посилення поверхневого стоку і деградація гірських ґрунтів, що ставить під загрозу водорегулюючу функцію лісів. Крім того, така практика призводить до значного пошкодження залишеного деревостану під час вибіркових рубок, знижуючи його біологічну стійкість.

Друга суттєва проблема є організаційно-економічною. Застосування стовбурової технології із залученням ручної праці на валці та обробці деревини в поєднанні з низькопродуктивним трелюванням на складних ділянках призводить до високої собівартості заготівлі та значних технологічних втрат, що знижує загальну економічну ефективність Вигодського НЛ. При цьому, високі

ризика для охорони праці, пов'язані з ручними операціями та експлуатацією важкої техніки на схилах, також є вагомим чинником, що обмежує інтенсивність і якість робіт.



Рисунок 1.5 – Забезпечення цілісності ґрунтового покриву та запобігання ерозії

Основні види рубок, що виконуються у Вигодському НЛ, такі як поступові та вибіркові, характеризуються особливими умовами експлуатації машин та обладнання. Саме ці умови, зокрема значна крутизна схилів та нерівномірність деревостану, вимагають застосування спеціалізованих технологічних рішень для забезпечення як економічної ефективності, так і мінімізації негативного впливу на ґрунтовий покрив.

Таким чином, необхідність вдосконалення технологій лісозаготівлі обґрунтовується трьома невідкладними чинниками:

- екологічний імператив – забезпечення цілісності ґрунтового покриву та запобігання ерозії шляхом впровадження канатно-трелювальних систем(рис. 1.6).

- економічна доцільність – зниження собівартості та підвищення продуктивності через перехід до високомеханізованої сортиментної технології.

- соціальна відповідальність – підвищення рівня охорони праці та безпеки виробництва.

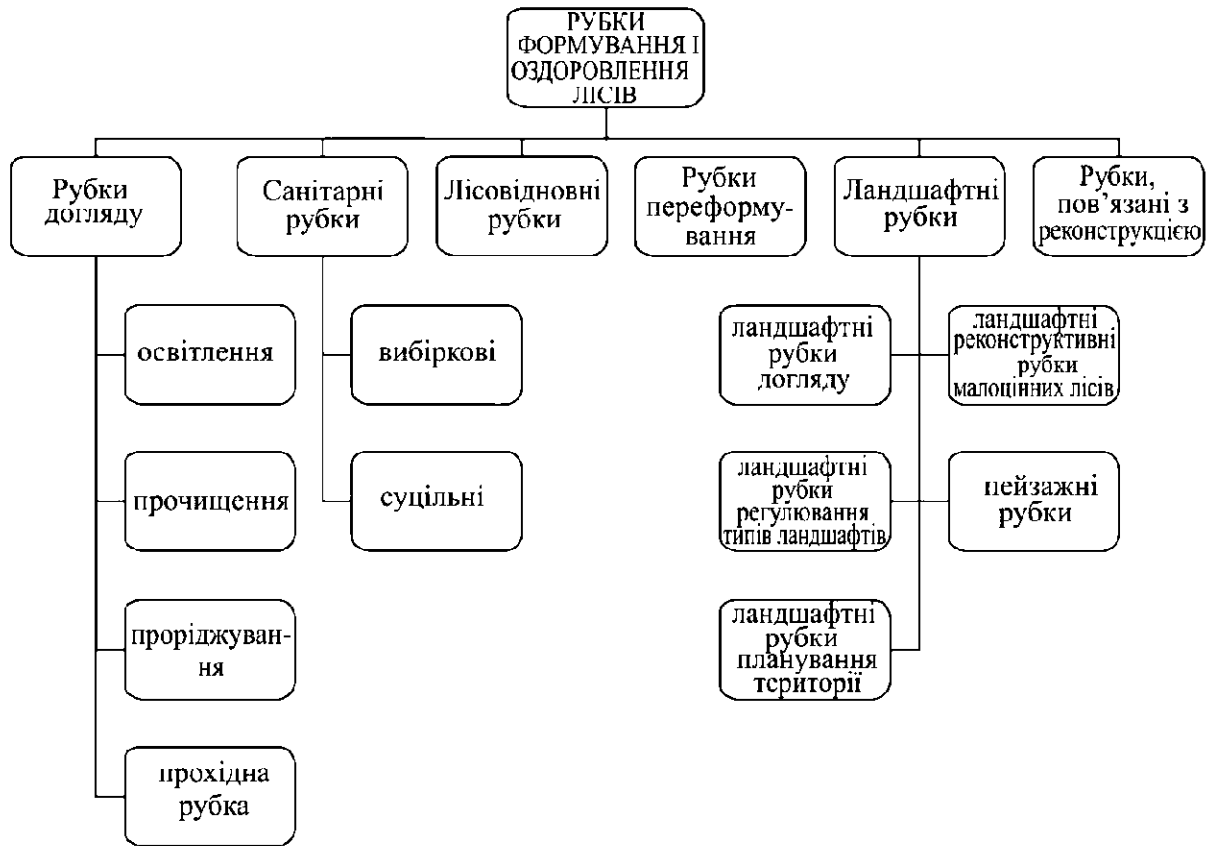


Рисунок 1.6 – Стратегічний підхід до рубок на підприємстві

Це обґрунтування є ключовим, оскільки воно формує безпосередню базу для розроблення конкретних організаційно-технічних заходів, які детально будуть розглянуті у третьому розділі даної кваліфікаційної роботи.

## 2 МЕТОДИКА ВИКОНАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Програма дослідження: визначення мети, завдань та послідовності виконання робіт

Програма дослідження є системоутворюючим елементом кваліфікаційної роботи, який забезпечує досягнення поставленої мети шляхом логічної послідовності науково-прикладних завдань. Враховуючи виявлені в першому розділі проблеми, пов'язані з екологічною стійкістю та технологічною ефективністю лісосічних робіт на крутосхилах Вигодського НЛ, програма дослідження має чітко сфокусуватися на розробленні та обґрунтуванні інноваційних рішень.

Метою дослідження є науково-технологічне обґрунтування та розроблення комплексу організаційно-технічних заходів, спрямованих на суттєве покращення екологічної безпеки та економічної ефективності лісосічних робіт в умовах гірської місцевості Вигодського НЛ, з пріоритетом впровадження високомеханізованої сортиментної технології та канатних систем трелювання.

Для досягнення цієї мети було сформульовано наступні завдання:

По-перше, необхідно здійснити глибокий аналіз природно-технічних умов Вигодського НЛ, включно з детальною оцінкою крутизни схилів на ділянках, відведених під рубку, їх ґрунтової стійкості та наявного парку машин, що застосовуються для трелювання деревини, з метою виявлення причинно-наслідкових зв'язків між використовуваними технологіями та негативним впливом на лісове середовище.

По-друге, розробити науково обґрунтовану методику проведення натурних хронометражних спостережень та вимірювань для точної оцінки фактичної продуктивності праці, витрат часу та технологічних втрат на ключових операціях лісосічних робіт (звалювання, оброблення, трелювання) при використанні існуючих та запропонованих технологічних рішень.

По-третє, на основі проведеного аналізу та зібраних даних, розробити та змоделювати принципово нові технологічні карти лісосічних робіт для ділянок із різною крутизною схилів, передбачаючи інтеграцію сортиментної заготівлі з

ефективними та екологічно безпечними методами транспортування, переважно канатно-підвісними трелювальними системами.

По-четверте, провести техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів. Це включає розрахунок очікуваного підвищення продуктивності, зниження собівартості заготівлі та мінімізації технологічних втрат, а також кількісну оцінку екологічної ефективності (зниження площі пошкоджених ґрунтів та залишеного деревостану).

Послідовність виконання робіт передбачає таку логічну черговість:

1. Підготовчий етап: збір та систематизація вихідних даних (матеріали лісовпорядкування, виробничі звіти, кліматичні та рельєфні характеристики Вигодського НЛ).

2. Аналітично-дослідницький етап: проведення досліджень на лісосіках (хронометражні заміри, оцінка деформації ґрунту) згідно з розробленою методикою та обробка отриманих емпіричних даних.

3. Проектний етап: розроблення та графічне представлення нових технологічних рішень (схем освоєння лісосік, розрахунок параметрів канатних систем тощо).

4. Економіко-екологічний етап: проведення розрахунків економічної та екологічної ефективності та формулювання кінцевих рекомендацій і висновків.

Така послідовність забезпечить комплексний підхід до вирішення поставленої проблеми, перетворюючи теоретичні припущення на практичні впроваджувані інженерно-технологічні рішення.

## **2.2 Фокус дослідження: припущення щодо технологічних та організаційних чинників, які мають ключовий вплив на ефективність лісосічних робіт**

Фокус магістерського дослідження є центральним елементом програми, оскільки він формулює припущення, які будуть підтвержені або спростовані емпіричним та розрахунковим шляхом, встановлюючи прямі причинно-

наслідкові зв'язки між чинниками та кінцевим результатом. Фокус даної магістерської роботи ґрунтується на аналізі недоліків існуючої практики лісосічних робіт у гірських умовах Вигодського НЛ.

Основний фокус полягає у припущенні, що низька загальна ефективність лісосічних робіт у Вигодському НЛ, яка виявляється у високій собівартості заготівлі та неприпустимому рівні негативного впливу на гірські екосистеми, є прямим наслідком технологічної невідповідності між складністю гірського рельєфу та домінуванням наземних способів трелювання (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 –Гіпотетичні припущення щодо чинників, які впливають на ефективність лісосічних робіт

Чинник впливу	Існуючий стан (причина)	Гіпотетичне рішення (захід)	Очікуваний наслідок (ефект)
Технологічний (трелювання)	Домінування наземного трелювання скідерами на схилах понад 20°.	Широке впровадження канатно-трелювальних систем.	Значне зниження деградації ґрунтів і зростання екологічної безпеки.
Технологічний (обробка)	Використання стовбурової технології (трелювання стовбурами).	Перехід на сортиментну технологію (Cut-to-Length).	Підвищення якості деревини, зменшення втрат і стандартизація продукції.
Організаційний	Відсутність чіткого зонування лісосік за придатністю техніки.	Розроблення оптимізованих технологічних карт із зонуванням за крутизною.	Збільшення продуктивності праці за рахунок раціонального використання механізмів.
Економічний	Висока собівартість через низьку продуктивність і витрати на ремонт.	Комплексне впровадження інноваційних систем.	Довгострокове зниження собівартості та підвищення економічної рентабельності.

Для деталізації цієї основної тези висуваються наступні припущення щодо ключових чинників:

По-перше, технологічний чинник: використання у Вигодському НЛ колісних скідерів та інших наземних засобів на схилах із крутизною понад 20° не лише спричиняє інтенсивну деградацію ґрунтового покриву та водно-ерозійні процеси, але й призводить до значного зниження продуктивності праці та зростання експлуатаційних витрат через високі втрати часу на маневрування та складні умови руху. З цього випливає, що перехід до інтегрованої системи, що поєднує сортиментну заготовлю з канатними установками, забезпечить зростання продуктивності щонайменше на 20 % та зниження екологічного навантаження до рівня, визначеного галузевими стандартами.

По-друге, організаційний чинник: недостатнє застосування принципів технологічного моделювання та оптимізації при проєктуванні лісосічних робіт є причиною нераціонального розташування трелювальних волоків, що веде до перевищення допустимої концентрації волоків та надлишкової протяжності трелювальних відстаней. Організаційне вдосконалення, яке передбачає чітке зонування лісосік за технологічною придатністю (наприклад, ділянки для наземної техніки; ділянки для канатних систем), дозволить мінімізувати просторовий вплив і забезпечити максимальну завантаженість високопродуктивних механізмів.

По-третє, економічний чинник: незважаючи на високу початкову вартість впровадження канатних систем та сучасних харвестерів-процесорів, довгостроковий економічний ефект, досягнутий за рахунок підвищення продуктивності, зниження витрат на ремонт доріг та відновлення деградованих ґрунтів, а також збільшення виходу високоякісних сортиментів, перевищить капітальні інвестиції протягом п'ятирічного періоду.

Таким чином, гіпотеза стверджує, що для досягнення цілей сталого лісового господарства у Вигодському НЛ необхідний системний перегляд технологічних та організаційних рішень на користь інноваційних, екологічно орієнтованих комплексів, що буде підтверджено кількісними показниками

продуктивності та економічної ефективності.

### **2.3 Обґрунтування теоретичних передумов щодо можливості зниження екологічного навантаження шляхом впровадження нових технологічних рішень**

Обґрунтування можливості зниження екологічного навантаження в умовах Вигодського НЛ є центральною теоретичною передумовою даної роботи, що впливає з необхідності інтеграції принципів сталого лісового господарства та лісової інженерії [9-11]. Теоретичні передумови ґрунтуються на аксіомі: мінімізація прямого фізичного контакту важкої техніки з ґрунтовим покривом на крутосхилах корелює зі зниженням ерозійних процесів та збереженням біологічної стійкості лісової екосистеми.

Передумова 1: Ефективність канатного трелювання у зменшенні ґрунтової деградації.

Теоретично, найбільше екологічне пошкодження під час лісосічних робіт спричиняє саме трелювання, оскільки переміщення деревини наземними засобами (особливо колісними скідерами) призводить до глибокого ущільнення та порушення верхніх, найбільш родючих шарів ґрунту. У гірських умовах це має прямий причинно-наслідковий зв'язок із посиленням поверхневого стоку та, як наслідок, інтенсифікацією лінійної ерозії вздовж волоків. Припущення полягає в тому, що перехід на канатно-трелювальні системи, які забезпечують напівпідвісне або повністю підвісне транспортування деревини, зводить питомий тиск на ґрунт до нуля, окрім точок кріплення опор. Таким чином, зниження площі ґрунтів, порушених виробничою діяльністю, може досягти 90 % порівняно з традиційною технологією, що є ключовим показником екологічної ефективності.

Передумова 2: Сортиментна технологія як засіб збереження залишеного деревостану.

У разі ведення вибіркових рубок, які у найближчому майбутньому

можуть домінувати у Вигодському НЛ, критичним екологічним питанням є збереження залишених на вирощування дерев. При стовбуровій технології трелювання довгі стовбури неминуче пошкоджують кореневу систему, стовбури та крони сусідніх дерев, що знижує їхню життєздатність та робить вразливими до інфекцій. Використання сортиментної технології, де валка та обробка здійснюються харвестером, а транспортування – форвардером (або канатними системами зі збірним майданчиком для коротких сортиментів), забезпечує більш точне та контрольоване переміщення вантажу. Короткими сортиментами легше маневрувати, що, за теоретичними розрахунками, дозволяє знизити рівень пошкодження залишених дерев щонайменше у 2-3 рази.

Передумова 3: Оптимізація інфраструктури для зменшення гідрологічного впливу.

Теоретичне обґрунтування також охоплює принцип екологічного трасування у лісовому фонді. Неякісне планування лісосік призводить до прокладання волоків та доріг у невідповідних місцях, зокрема, поблизу водотоків або в місцях концентрації водного стоку. Нові технологічні рішення, інтегровані з сучасними геоінформаційними системами (ГІС), дозволяють проєктувати маршрути трелювання (зокрема, лінії канатних установок) з урахуванням гідрологічних характеристик території. Припущення полягає в тому, що систематичне планування з використанням ГІС та акцент на канатних системах, які не потребують широкої мережі волоків, дозволить значно мінімізувати перетин водних об'єктів, знизити надходження зважених частинок у річки та зберегти гідрологічну функцію лісу.

Таким чином, впровадження інноваційних технологічних рішень, орієнтованих на підвісне або напівпідвісне транспортування та заготівлю сортиментів, є теоретично обґрунтованим шляхом до зниження екологічного навантаження, що є критично важливим для збереження стійкості гірських лісів Вигодського НЛ. Ці припущення будуть перевірені та кількісно оцінені у третьому розділі роботи.

## 2.4 Методика оцінки ефективності лісосічних робіт та їх екологічного впливу

Наукове обґрунтування заходів з покращення лісосічних робіт у Вигодському НЛ вимагає застосування комплексної методики, яка інтегрує кількісну оцінку економічних показників (ефективність) та екологічних наслідків (вплив). Така інтегрована методика дозволяє не лише порівняти існуючі технологічні системи із запропонованими інноваціями, але й встановити прямі кореляційні зв'язки між рівнем механізації, технологічним вибором (наземне трелювання проти канатного) та ступенем деградації гірської екосистеми.

Методика оцінки ефективності базується на принципах системного підходу, де лісосічні роботи розглядаються як послідовність взаємопов'язаних виробничих операцій (валка, обробка, трелювання, штабелювання). Ключові аспекти оцінки ефективності зосереджені на:

- визначенні фактичної продуктивності праці: Це досягається через хронометражні дослідження основних операційних циклів. Точне вимірювання часу, що витрачається на виконання кожної фази, дозволяє ідентифікувати вузькі місця технологічного процесу та кількісно оцінити вплив організаційних та технічних чинників на кінцевий обсяг заготівлі.

- аналізі технологічних витрат: Включає обчислення норм витрат паливно-мастильних матеріалів, енергоресурсів, амортизації обладнання та трудових витрат на одиницю обсягу заготівлі. Порівняння цих даних для традиційної стовбурової технології та запропонованої сортиментної технології, зокрема з використанням канатних систем, формує основу для техніко-економічного обґрунтування.

- оцінці втрат деревини: Вимірювання кількості та якості деревини, втраченої або пошкодженої на різних етапах технологічного процесу (наприклад, тріщини при трелюванні, неточне кряжування).

Методика оцінки екологічного впливу є критично важливою, особливо для Карпатського регіону, і зосереджується на кількісному вимірюванні двох

основних груп негативних наслідків:

Таблиця 2.2 – Ключові показники та методичні критерії оцінки ефективності лісосічних робіт у Вигодському НЛ

Група показників	Критерій оцінки (змінна)	Одиниця виміру	Методичний підхід (інструмент дослідження)
Ефективність (виробничі)	Продуктивність праці на операції трелювання	м <sup>3</sup> / люд.-година	Хронометражні спостереження, аналітичні (розрахункові) дослідження
	Час простою техніки (технологічні втрати)	% від загального часу зміни	Хронометражні спостереження, аналіз виробничих звітів
	Собівартість трелювання	грн / м <sup>3</sup>	Аналіз фінансової звітності, розрахункові дослідження
Екологічний вплив (грунт)	Площа порушеного ґрунту під волоками	% від площі лісосіки	Геодезичні виміри, ГІС-аналіз, натурні обстеження
	Ступінь ущільнення ґрунту	% (від початкової щільності)	Польові вимірювання (наприклад, пенетрометром)
	Глибина колії трелювальних шляхів	см	Лінійні виміри на контрольних ділянках
Екологічний вплив (насадження)	Відсоток пошкодження залишених дерев	% від загальної кількості	Натурні обстеження, класифікація пошкоджень (корені, стовбур)
	Обсяг технологічних втрат деревини	м <sup>3</sup>	Інвентаризація порубкових залишків

- оцінка деградації ґрунтового покриву: Це передбачає вимірювання площі порушених ґрунтів, що припадає на трелювальні волокни, та визначення ступеня їх ущільнення. У гірських умовах, де ризик ерозії є високим, ущільнення ґрунту прямо корелює зі зниженням інфільтраційної здатності та посиленням поверхневого стоку. Методика має включати польові вимірювання щільності ґрунту та глибини колії.

- оцінка пошкодження залишеного деревостану: Вимірювання відсотка пошкоджених дерев (ушкодження стовбурів, коренів, крон) серед насаджень, що залишаються після вибіркових рубок. Ці дані слугують індикатором якості виконання робіт та рівня технологічної відповідності (наприклад, використання скідерів проти канатних систем).

Таким чином, комплексна методика забезпечує подвійну оцінку – економічну та екологічну – дозволяючи обґрунтувати, що впровадження інноваційних технологічних рішень у Вигодському НЛ не лише підвищить продуктивність, але й виконає ключову функцію зі збереження стійкості гірських лісових екосистем.

## **2.5 Дослідження та аналіз продуктивності основних виробничих операцій**

Аналітичні дослідження є необхідною складовою методики, що дозволяє перетворити емпіричні дані, отримані в результаті спостережень, на кількісні показники продуктивності та ефективності. Основна мета цього етапу – встановити нормативні та фактичні показники роботи існуючих технологічних комплексів та на цій основі здійснити інженерний розрахунок продуктивності інноваційних систем, зокрема, канатних установок та високомеханізованої техніки.

Ключовим елементом аналізу є визначення часу операційного циклу та розрахунок змінної (чистої) продуктивності за формулою

$$P = \frac{V}{\sum T_{\text{ц}}}, \quad (2.1)$$

де  $P$  – продуктивність, м<sup>3</sup>/зм.;

$V$  – обсяг деревини, заготовленої за цикл, м<sup>3</sup>;

$T_{\text{ц}}$  – сумарний час, витрачений на виконання повного технологічного циклу (включаючи основний, допоміжний та час на обслуговування), год.

Аналіз продуктивності охоплює всі основні виробничі операції:

1. Звалювання та первинна обробка: проводиться порівняльний аналіз витрат часу на звалювання, обрубівання гілок та сучків, кряжування при ручній (бензомоторна пила) та механізованій (харвестер-процесор) технологіях. Розрахунки враховують середній об'єм стовбура, що є важливим параметром для визначення часових норм.

2. Трельовання (транспортування): Ця операція є найбільш критичною в умовах Вигодського НЛ. Аналітичні дослідження ґрунтуються на моделюванні залежності часу трельовання від відстані трельовання, крутизни схилу та обсягу трельованого вантажу. Для скідерів розраховується час на маневрування, завантаження та розвантаження, враховуючи простой, спричинені складними ґрунтово-рельєфними умовами. Для канатних установок (які пропонуються як інноваційне рішення) розрахунок продуктивності базується на визначенні оптимальної довжини траси, швидкості руху каретки та часу, необхідного для підтягування та відчеплення вантажу.

3. Верхній склад та штабелювання: Аналізуються витрати часу на кряжування (якщо застосовується стовбурова технологія) та штабелювання. Важливою частиною є оцінка впливу технології заготівлі (стовбури чи сортимент) на ефективність роботи гідроманіпуляторів на верхньому складі.

Шляхом порівняння фактичної продуктивності, отриманої хронометражем на існуючих об'єктах Вигодського НЛ, із нормативною та розрахунковою продуктивністю інноваційних систем, буде кількісно обґрунтована доцільність та економічний потенціал запропонованих заходів з покращення лісосічних робіт. Це дозволить чітко встановити, на скільки відсотків може бути скорочено

час виконання операцій та підвищено загальну ефективність виробництва.

## **2.6 Методика оцінювання технологічних витрат та втрат деревини на різних етапах**

Точна оцінка технологічних витрат та втрат деревини є обов'язковою для економічного обґрунтування запропонованих заходів з покращення лісосічних робіт у Вигодському НЛ. Ця методика дозволяє визначити фактичну собівартість заготівлі, виявити найменш раціональні етапи виробничого процесу та кількісно обґрунтувати економічну доцільність впровадження інноваційних технологій.

Розглянемо оцінювання технологічних витрат.

Оцінка технологічних витрат ґрунтується на розрахунку прямих експлуатаційних витрат на одиницю продукції ( $m^3$ ) для кожної основної операції. Дослідження включає такі ключові компоненти витрат:

1. Витрати на паливно-мастильні матеріали (ПММ): Вимірювання або розрахунок фактичної витрати пального (літри на  $m^3$  або літри на машино-годину) для скідерів, канатних установок та вальної техніки. Розрахунок здійснюється на основі хронометражних даних про фактичний час роботи та технічних норм споживання, з подальшою корекцією на специфічні умови експлуатації в гірській місцевості (збільшення витрат через роботу на підйомах та маневрування).

2. Витрати на амортизацію та ремонт: Обчислення амортизаційних відрахувань за одиницю продукції. У гірських умовах, де навантаження на ходову частину скідерів та тракторів є надзвичайно високим, враховується підвищуючий коефіцієнт на знос, що прямо впливає на вартість трелювання. Розрахунок для канатних систем, навпаки, може демонструвати нижчі витрати на ходову частину, але вищі на обслуговування тросів і лебідок.

3. Витрати на оплату праці: Визначення прямих витрат на заробітну плату операторів, які розраховуються на основі встановлених норм виробітку та тарифних ставок. Впровадження високо механізованої техніки, як-от харвестери, вимагає вищої кваліфікації та, відповідно, вищої оплати праці, але це

компенсується значним зростанням продуктивності.

Розрахунок собівартості лісосічних робіт.

Ключовим інтегральним показником ефективності є собівартість заготівлі деревини  $C$ , що розраховується як сума всіх прямих та непрямих витрат, віднесених на одиницю обсягу продукції.

$$C = \frac{\sum (B_{\text{пмм}} + B_{\text{ав}} + B_{\text{зп}}) + B_{\text{інш}}}{V_{\text{заг}}}, \quad (2.2)$$

де  $C$  – собівартість заготівлі 1 м<sup>3</sup> деревини, грн/м<sup>3</sup>;

$\sum (B_{\text{пмм}} + B_{\text{ав}} + B_{\text{зп}})$  – сума прямих витрат (ПММ, амортизація, заробітна плата) на всі операції, грн;

$B_{\text{інш}}$  – непрямі та інші технологічні витрати;

$V_{\text{заг}}$  – загальний обсяг заготовленої деревини, м<sup>3</sup>.

Розглянемо оцінювання втрати деревини.

Втрати деревини є прямим наслідком недосконалості технологічного процесу і класифікуються на кількісні та якісні (табл. 2.3). Методика їхнього оцінювання включає:

1. Кількісні втрати (залишкові): Встановлення обсягу деревини, що залишається на лісосіці після завершення робіт (у вигляді недорубів, пеньків, порубкових залишків, що не були використані). Вимірювання проводиться шляхом закладання пробних площ на лісосіці та інвентаризації невикористаного лісоматеріалу. Очікується, що сортиментна технологія та канатно-трелювальні системи, які забезпечують кращу організацію збору деревини, мінімізують ці втрати.

2. Якісні втрати (технологічні): Оцінка обсягу деревини, яка втрачає свою товарну якість внаслідок технологічних пошкоджень. Це включає:

- пошкодження під час валки та обробки: Тріщини, відколи на торцях, що виникають через некоректну валку або неточне розкрязування.

- пошкодження під час трелювання: Поперечні та поздовжні тріщини, вививи деревини, спричинені тертям об ґрунт або зіткненням з перешкодами. Цей вид втрат є особливо значним при наземному трелюванні хлистами за

допомогою скідерів.

Таблиця 2.3 – Структура технологічних витрат та втрат деревини

Категорія показника	Компонент витрат/втрат	Метод розрахунку / вимірювання	Пріоритет впливу на собівартість у гірських умовах
Прямі технологічні витрати	Витрати на ПММ	Хронометраж / Нормативний розрахунок	Високий (через роботу на схилах)
	Витрати на амортизацію	Бухгалтерські дані / Коефіцієнт зносу	Дуже високий (через інтенсивний знос)
	Витрати на оплату праці	Фактичний виробіток / Тарифні ставки	Середній (зростає при низькій продуктивності)
Технологічні втрати	Кількісні (невикористані залишки)	Інвентаризація пробних площ	Середній (пов'язаний з якістю збору)
	Якісні (пошкодження товарності)	Натурне обстеження та класифікація	Високий (через трелювання хлистами скідерами)

Шляхом зіставлення отриманих показників витрат і втрат для існуючої та інноваційної технологічних схем, буде сформовано чітке економічне обґрунтування для рекомендацій у третьому розділі. Очікується, що хоча початкові витрати на впровадження канатних систем можуть бути вищими, сумарне зниження технологічних витрат, втрат деревини та підвищення продуктивності дозволить знизити кінцеву собівартість заготівлі в умовах Вигодського НЛ.

## 2.7 Методика кількісної оцінки деградації ґрунтів та пошкодження залишеного деревостану

Оцінка екологічного впливу лісосічних робіт є невід'ємною складовою даного дослідження, оскільки в умовах гірських лісів Вигодського НЛ екологічні ризики (ерозія, зсуви) мають прямий причинно-наслідковий зв'язок із вибором технології трелювання. Методика кількісної оцінки деградації ґрунтового покриву та пошкодження залишеного деревостану дозволяє об'єктивно порівняти вплив існуючої наземної технології (з використанням скідерів) із запропонованими інноваційними рішеннями (канатно-трелювальні системи).

Кількісна оцінка деградації ґрунтів.

Деградація ґрунтів оцінюється за двома основними параметрами: площею порушення (залучення під волоки) та ступенем ущільнення.

1. Оцінка площі порушення ґрунту: Натурні дослідження передбачають закладання на лісосіках типових пробних ділянок, де фіксується загальна протяжність та ширина трелювальних волоків, місць розвороту техніки та верхніх складів. Загальна площа, порушена наземним трелюванням, розраховується як відсоток від загальної площі лісосіки. Критично важливим є порівняння цього показника для ділянок, де застосовується наземне трелювання, та ділянок, де пропонується впровадження канатних систем, оскільки останні зводять площу порушення ґрунту під трелювальними шляхами практично до нуля.

Кількісна оцінка площі порушення ґрунту  $S_{\Pi}$  на лісосіці здійснюється за такою формулою

$$S_{\Pi} = \frac{\sum (L_{\text{в}} - B_{\text{в}})}{S_{\text{заг}}}, \quad (2.3)$$

де  $S_{\Pi}$  – відсоток площі лісосіки, порушеної трелюванням, %;

$\sum (L_{\text{в}} - B_{\text{в}})$  – сумарна площа всіх трелювальних волоків та майданчиків, м<sup>2</sup>

$L_{\text{в}}$  – довжина волока,  $B_{\text{в}}$  – середня ширина волока;

$S_{\text{зар}}$  – загальна площа лісосіки, м<sup>2</sup>.

2. Оцінка ущільнення ґрунту: Ущільнення ґрунту є ключовим фактором, що призводить до зниження його водопроникності та посилення поверхневого стоку, що особливо небезпечно на схилах. На контрольних ділянках (на волоках, міжволочних просторах та еталонних, непорушених ділянках) проводиться вимірювання щільності ґрунту або його опору проникненню за допомогою ґрунтового пенетрометра. Різниця між показниками щільності на порушених волоках та еталонних ділянках дає кількісну оцінку ступеня ущільнення, який прямо пов'язаний із частотою проходів важкої техніки.

3. Вимірювання ерозійних ознак: На ділянках, де застосовується наземне трелювання, проводиться вимірювання глибини колії та ознак лінійної ерозії, що виникає внаслідок концентрації води у волоках. Ці вимірювання слугують індикатором неспроможності існуючої технології забезпечити стійкість схилів.

Кількісна оцінка пошкодження залишеного деревостану

Пошкодження дерев, що залишаються після рубок, є не лише економічною втратою (зниження товарності), але й екологічним ризиком (уразливість до шкідників та хвороб). Методика передбачає суцільний перелік та інвентаризацію пошкоджених дерев на пробних ділянках.

1. Визначення ступеня пошкодження: Кожне дерево, що має видимі ознаки пошкодження, класифікується за видом та інтенсивністю:

- пошкодження кореневої системи: Зриви та оголення коренів, що є типовим наслідком проходження скідерів.

- пошкодження стовбура: Забої, здири кори, обдирання деревини (особливо в нижній частині).

- пошкодження крони: Злам гілок.

2. Кількісний показник: Розраховується відсоток пошкоджених дерев від загальної кількості дерев, що залишаються на вирощування, а також визначається середня ступінь пошкодження (у балах або категоріях).

Значення критеріїв та індикаторів кількісної оцінки екологічного впливу

зведемо у таблицю .2.4.

Таблиця 2.4 – Критерії та індикатори кількісної оцінки екологічного впливу

Об'єкт оцінки	Ключовий індикатор	Мета вимірювання	Очікувана динаміка при впровадженні канатних систем
Ґрунто- вий покрив	Площа порушення $S_{п}$ (у % від площі лісосіки)	Оцінка просторового впливу трелювання	Зниження до мінімального рівня (до 5%)
	Ступінь ущільнення ґрунту	Оцінка ризику посилення поверхневого стоку та ерозії	Відсутність критичного ущільнення на трелювальних шляхах
Залишений деревостан	Відсоток пошкоджених дерев $D_{п}$	Оцінка якості та екологічної безпеки рубок	Зниження відсотка пошкоджених дерев у 2-3 рази
Гідрологічний режим	Наявність ерозійних борозен/глибина колії	Оцінка впливу на формування водного стоку	Усунення лінійної ерозії на трелювальних шляхах

Шляхом зіставлення отриманих кількісних показників деградації та пошкодження для різних технологічних варіантів, буде обґрунтована необхідність впровадження технологій з мінімальним екологічним слідом, таких як канатно-трелювальні системи, що є ключовою передумовою для досягнення сталого лісокористування у Вигодському НЛ.

## 2.8 Аналіз існуючого парку машин та обладнання, що використовується на лісосічних роботах

Аналіз технічної оснащеності Вигодського НЛ є критично важливим для розуміння причинно-наслідкових зв'язків між використовуваною технологією та досягнутими виробничими й екологічними показниками. Існуючий парк машин та обладнання, що застосовується на лісосічних роботах, здебільшого відображає історично сформовану практику та технологічну спадщину, що часто створює протиріччя між необхідністю екологізації процесів і наявною технічною базою.

На сьогоднішній день парк машин Вигодського НЛ характеризується значним домінуванням наземної колісної техніки для трелювання. Основний обсяг деревини транспортується із лісосік за допомогою скідерів та трелювальних тракторів різної модифікації. Перевагою такої техніки є її універсальність, відносна простота в обслуговуванні та ремонтпридатність у польових умовах, що стало визначальним фактором для її широкого застосування. Однак, у гірських умовах, де крутизна схилів перевищує 20<sup>0</sup>, ця техніка демонструє критичні недоліки, які безпосередньо впливають на ефективність та екологічну безпеку. Значний питомий тиск на ґрунт призводить до інтенсивного ущільнення та формування глибоких волоків, які стають осередками ерозії.

Валка та первинна обробка деревини (обрубкування сучків і кряжування) переважно здійснюються ручним способом із застосуванням бензопил. Така технологія валки є гнучкою, не має обмежень за крутизною схилу, але характеризується низькою продуктивністю та високими ризиками для охорони праці. Відсутність широкого впровадження харвестерів-процесорів ускладнює перехід до високоефективної сортиментної технології та стандартизацію якості продукції.

Транспортування деревини від верхнього складу до нижнього пункту або споживача здійснюється лісовозами. Якість та технічний стан лісовозної

інфраструктури (доріг), а також можливості маневрування великогабаритної техніки на гірських дорогах, також є чинником, що обмежує загальну ефективність логістичного ланцюга.

Особливе місце в аналізі займає канатно-трелювальна техніка. Наявність та використання канатних установок є визначальним показником технологічної зрілості гірського лісівництва. Якщо подібні системи присутні у парку Вигодського НЛ, їхній аналіз має включати оцінку їхньої потужності, типу (наприклад, човникові чи скіп-системи) та частоти використання. Часто, навіть за наявності таких установок, вони використовуються нерегулярно через високу вартість монтажу/демонтажу або недостатню кваліфікацію персоналу.

Отже, існуюча технологічна база Вигодського НЛ з її акцентом на наземному трелюванні скідерами та ручній валці, є головним організаційно-технічним чинником, що стримує підвищення продуктивності та стає причиною неприпустимого екологічного навантаження в умовах критичного гірського рельєфу. Цей аналіз слугує прямим обґрунтуванням необхідності інженерного перепрофілювання парку машин у бік високо механізованих та екологічно безпечних комплексів, що буде детально розроблено у третьому розділі.

### **3 РОЗРОБЛЕННЯ ТА ТЕХНОЛОГІЧНО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАХОДІВ ЩОДО ПОКРАЩЕННЯ СОРИМЕНТНОЇ ЗАГОТІВЛІ ДЕРЕВИНИ**

#### **3.1 Обґрунтування вибору найбільш раціональних технологій лісо- січних робіт для складних гірських умов Вигодського НЛ**

Обґрунтування вибору технологічних систем для Вигодського НЛ, рельєф місцевості якого характеризується крутими схилами та високим екологічним ризиком, базується на необхідності досягнення двох стратегічних цілей: максимальної економічної ефективності та суворого дотримання принципів екологічної безпеки. Існуючий стан, що характеризується домінуванням наземного трелювання скідерами, є технологічно застарілим і екологічно неприйнятним для значної частини лісового фонду.

Раціональний вибір технології повинен ґрунтуватися на принципі зонування лісосік за крутизною схилу, що дозволяє застосовувати найбільш доцільну техніку для конкретних умов:

1. Ділянки з помірною крутизною схилів (до 20<sup>0</sup>). На таких ділянках, які є найбільш доступними, раціонально застосовувати сортиментну технологію з використанням високопродуктивних харвестерно-форвардерних комплексів. Харвестер виконує звалювання, обрубубування гілок та сучків, кряжування безпосередньо на лісосіці, а форвардер транспортує готові сортименти. Перевага цієї системи полягає у високій продуктивності та низькому рівні пошкодження ґрунту, оскільки форвардер рухається по килиму з порубкових залишків. Для підвищення ефективності та безпеки роботи на верхній межі цього діапазону (від 15<sup>0</sup> до 20<sup>0</sup>) необхідно розглянути впровадження спеціалізованих гірських форвардерів, оснащених лебідками для самопідтягування та стійкості на схилі.

2. Ділянки зі значною та критичною крутизною схилів (понад 20<sup>0</sup>): Це основна проблема Вигодського НЛ, де наземне трелювання є недопустимим. Єдиною раціональною та екологічно безпечною технологією для цих умов є

канатно-трелювальні системи. Канатні установки забезпечують повітряне або напівпідвісне транспортування деревини, виключаючи прямий контакт вантажу з ґрунтом і мінімізуючи формування ерозійно небезпечних волоків. Технологічно обґрунтованим є впровадження універсальних канатних установок, які можуть працювати як зі стовбурами, так і з сортиментами, що забезпечує гнучкість у виробничому процесі.

Таким чином, для Вигодського НЛ обґрунтованим є комплексний технологічний підхід (мультисистемний), який передбачає повну відмову від використання скідерів для трелювання хлистами на крутих схилах. Натомість, пропонується інтеграція двох взаємодоповнюючих систем: високо механізована сортиментна заготівля на помірних схилах та канатно-трелювальна технологія на крутосхилах. Цей вибір є прямим наслідком аналізу екологічних вимог, економічної доцільності та європейського досвіду ведення лісового господарства в гірських умовах, що є необхідною умовою сталого розвитку лісової галузі.

### **3.2 Розроблення інноваційних схем освоєння лісосік, орієнтованих на застосування сортиментної заготівлі**

Розроблення прогресивних схем освоєння лісосік у Вигодському НЛ є фундаментальним інженерним завданням, яке вимагає повної зміни парадигми від традиційної стовбурової технології до екологічно стійкої та економічно ефективної сортиментної заготівлі (технологія Cut-to-Length). Ця зміна не може бути реалізована без оптимізації просторово-планувальних рішень, особливо зважаючи на складний гірський рельєф, де необхідно інтегрувати наземну механізацію та канатні системи.

Ключовим принципом прогресивної схеми освоєння є селективне зонування лісосіки за двома основними критеріями: крутизна схилу та економічна доцільність використання конкретного типу трелювального обладнання.

#### **1. Зонування та проєктування технологічних коридорів**

Лісосіка поділяється на зони:

Зона А (до  $20^0$ ) – призначена для роботи високо механізованих харвестерно-форвардерних комплексів. Схема освоєння передбачає прокладання технологічних коридорів (волоків) із мінімальною шириною та оптимальною відстанню між ними (близько 20-25 метрів). Ці коридори використовуються форвардером і повинні бути прокладені під оптимальним кутом до схилу, щоб мінімізувати опір руху та ерозію. Важливо, що форвардер переміщується по залишках від обрубки сучків та верхівок, які формують захисний килим, запобігаючи прямому ущільненню ґрунту.

Зона Б (понад  $20^0$ ) – зона застосування канатно-трелювальних систем. Сортиментна заготівля тут здійснюється звалювальником із бензомоторною пилкою, але обробка деревини та подальше транспортування організовані принципово інакше.

## 2. Інтеграція сортиментної заготівлі з канатним трелюванням.

Впровадження сортиментної заготівлі у зоні Б вимагає ретельного інженерного розрахунку параметрів канатної траси.

- розміщення верхніх та проміжних складів: Склади повинні розташовуватися на відносно пологих ділянках, як правило, поблизу лісовозної дороги. Верхні склади, до яких здійснюється підтягування деревини канатною установкою, мають бути компактними та забезпечувати зручне штабелювання готових сортиментів.

- проєктування трас: Траса канатної установки має бути прокладена по лінії найбільшого схилу, що мінімізує необхідність використання проміжних опор та забезпечує максимальне підвішування вантажу. Раціональне розташування трас та їхня довжина (оптимально до 800-1000 метрів) є ключовим для забезпечення високої продуктивності системи.

- збір деревини та трелювання: Помічник звалювальника та чокерувальники формують пакети підготовлених сортиментів уздовж траси канатної установки. Канатна установка здійснює точковий збір, що мінімізує пробіги і виключає наземне трелювання. Таким чином, досягається повне усунення ероційно небезпечних волоків у критичній зоні схилів.

Таблиця 3.1 – Технологічне зонування лісосік Вигодського НЛ та порівняння раціональних систем заготівлі

Діапазон крутизни схилу	Рекомендована технологічна система	Типова продуктивність (орієнт.) м <sup>3</sup> /зм.	Очікувана площа порушення ґрунту, %	Собівартість трелювання (відносна од.)	Призначення в системі сортиментної заготівлі
Помірні схили (< 20°)	Харвестер-Форвардер	150-250	6 % - 8 %	1,0	Комплексна заготівля та транспортування сортиментів
Критичні схили (20° - 45°)	Канатно-трелювальна установка (човникова)	70-120	2% - 4 % (тільки на верхньому складі)	1,2	Трелювання оброблених сортиментів або хлестів повітряним способом
Недоступні схили (> 45°)	Гелікоптерне трелювання (або найпотужніші канатні)	300 - 450	< 1%	2,5-3,5	Екстремальне трелювання, застосовується виключно у виняткових випадках
Існуюча наземна технологія (для порівняння)	Ручна валка + скідер	40-80	15%-25%	1,5	(Нераціонально для більшості території)

Таблиця 3.1 ілюструє, що навіть на помірних схилах, харвестер-форвардер значно ефективніший (150-250 м<sup>3</sup>) і екологічніший (6%-8% порушення) порівняно з існуючою технологією (скідер). На критичних схилах канатно-трепловальна установка забезпечує мінімальне порушення ґрунту (2%-4%), що є безальтернативним екологічним імперативом.

Цей підхід, орієнтований на виробництво готових сортиментів на лісо-сіці, забезпечує значне зниження транспортних та технологічних втрат, підвищує якість деревини і, що найважливіше для Вигодського НЛ, забезпечує екологічну стійкість освоєння гірських лісів. Розроблені схеми освоєння стануть основою для подальшого техніко-економічного обґрунтування та розрахунку продуктивності.

### **3.3 Визначення доцільності впровадження високомеханізованих комплексів (“харвестер-форвардер”) на ділянках із помірною крутизною схилів**

Визначення доцільності впровадження високомеханізованих комплексів типу “харвестер-форвардер” у Вигодському НЛ ґрунтується на економічному та технологічному обґрунтуванні, оскільки ці машини є наріжним каменем прогресивної сортиментної технології. В умовах гірського лісівництва їхнє застосування є раціональним виключно на ділянках із помірною крутизною схилів (до 20° або, за умови оснащення лебідкою, до 25°), де вони можуть реалізувати свій максимальний потенціал продуктивності та забезпечити мінімальний екологічний вплив.

Основна технологічна доцільність полягає у заміні ручної праці на високоточну машинну обробку. Харвестер виконує звалювання, зрізування сучків, зкряжування та вимірювання об’єму стовбура за один робочий цикл. Це виключає втрати на неточне кряжування та забезпечує високу якість деревини, що є прямою причиною зростання її товарної вартості. Форвардер, своєю чергою,

транспортує вже готові сортименти, використовуючи спеціально відведені технологічні коридори, мінімізуючи пошкодження ґрунту завдяки низькому питомому тиску та використанню порубкових залишків як захисного шару.

Економічна доцільність впровадження високомеханізованого комплексу обґрунтовується через розрахунок показника річної економії від зниження собівартості заготівлі та зростання продуктивності порівняно з існуючою ручною наземною технологією (бензопила + скідер). Для цього використовується формула річного економічного ефекту  $E_{\text{річ}}$

$$E_{\text{річ}} = (C_{\text{існ}} - C_{\text{пр}}) \cdot V_{\text{річ}} - E_{\text{н}} \cdot k, \quad (3.1)$$

де  $C_{\text{існ}}$  – собівартість заготівлі 1 м<sup>3</sup> існуючою технологією, грн/м<sup>3</sup>;

$C_{\text{пр}}$  – собівартість заготівлі 1 м<sup>3</sup> пропонованою технологією (харвестер-форвардер), грн/м<sup>3</sup>;

$V_{\text{річ}}$  – річний обсяг заготівлі на ділянках помірної крутизни, м<sup>3</sup>;

$E_{\text{н}}$  – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень (приймається за стандартом);

$k$  – капітальні вкладення у придбання комплексу харвестер-форвардер, грн.

Розрахунки демонструють, що попри значні капітальні інвестиції  $k$ , використання комплексу “харвестер-форвардер” забезпечує скорочення витрат на оплату праці, зниження витрат на ПММ (у перерахунку на одиницю об’єму) та, найголовніше, різке зростання продуктивності, що є ключовим фактором у формуванні позитивного економічного ефекту. При цьому показники собівартості  $C_{\text{пр}}$  суттєво знижуються завдяки високій продуктивності.

Визначимо доцільність впровадження високомеханізованих комплексів (“харвестер-форвардер”) на ділянках із помірною крутизною схилів шляхом порівняння існуючої технології (ручна + скідер) з пропонованою технологією (“харвестер-форвардер”), а результати порівняння зведемо у табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняння основних показників двох технологічних систем на лісосіках Вигодського НЛ із крутизною до 20°.

Показник	Існуюча технологія (ручна + скі-дер)	Пропонована технологія (харвестер-форвардер)	Зміна показника
Продуктивність (звалювання / трелювання), м <sup>3</sup> /люд.-год.	1,2	4,5	Зростання у 3,75 разів
Собівартість заготівлі С (умовна), грн/м <sup>3</sup>	550	39	Зниження на 160 грн/м <sup>3</sup>
Площа порушеного ґрунту, % від лісосіки	15	6	Зниження на 9 %
Потреба у працівниках (на зміну), осіб	10	2	Зниження у 5 разів

Таким чином, впровадження високомеханізованих комплексів на ділянках із помірною крутизною схилів у Вигодському НЛ є технологічно раціональним, економічно виправданим та сприяє досягненню цілей екологічної безпеки. Висока продуктивність, значне зниження собівартості та мінімізація екологічного сліду підтверджують доцільність капітальних інвестицій у цю техніку.

#### **3.4 Проектування та розрахунок параметрів канатних установок для ділянок із критичною крутизною схилів**

В умовах Вигодського НЛ, де значна частина лісового фонду розташована на схилах із крутизною понад 25°, використання канатно-трелювальних

систем є не просто раціональним, а безальтернативним інженерним рішенням, яке гарантує мінімальне екологічне навантаження та забезпечує економічно вигідну заготівлю деревини. Проектування канатних установок вимагає точного розрахунку їхніх ключових параметрів, що забезпечує безпеку експлуатації та оптимальну продуктивність.

Проведемо обґрунтування вибору типу установки.

Для освоєння крутих схилів Карпат найбільш доцільними є човникові (маятникові) канатно-трельовальні системи. Вони ідеально підходять для роботи на трасах із довжиною до 800-1000 метрів, які є типовими для лісосік Вигодського НЛ. Ці системи дозволяють застосовувати як напівпідвісне, так і повністю підвісне трельовання, що є критичним для забезпечення цілісності ґрунту та виключення ерозійних процесів.

Інженерні розрахунки, щодо проектування траси та вибору обладнання здійснюються на основі аналізу рельєфу та розрахунку натягу несучого та тягового канатів.

1. Розрахунок критичного натягу канатів є фундаментальним розрахунком і полягає у перевірці міцності несучого каната на розрив, який повинен витримувати власну вагу, вагу каретки та максимальне розрахункове навантаження (трельований пакет деревини).

Формула для визначення необхідного мінімального запасу міцності  $Z$  несучого каната має такий вигляд

$$Z = \frac{R_{\text{роз}}}{T_{\text{max}}}, \quad (3.2)$$

де  $R_{\text{роз}}$  – розривне зусилля каната, Н або кН;

$T_{\text{max}}$  – максимальне розрахункове навантаження на канат (включно з динамічними факторами), Н або кН.

Згідно з нормативними вимогами безпеки у лісовій інженерії, величина  $Z$

повинна бути не менше 3-4.

2. Визначення оптимального провису несучого каната забезпечує можливість транспортування деревини у підвішеному стані. На трасі мають бути відсутні точки, де вантаж може контактувати із землею, що вимагає розрахунку провисання з урахуванням рельєфу та висоти опорних точок. Оптимальна величина провисання забезпечує максимальну висоту підвіски вантажу над найбільш високими точками рельєфу, при цьому мінімізуючи натяг, необхідний для роботи.

3. Визначення параметрів опор та кінцевих точок вимагає врахування максимальних горизонтальних та вертикальних сил натягу, що виникають у процесі трелювання. Це обумовлює необхідність використання потужних, стаціонарних або напівстаціонарних якірних кріплень, здатних витримати навантаження у десятки тон.

Раціональне проектування канатних трас повинно бути інтегроване із схемами освоєння лісосік. Це означає, що траси прокладаються так, щоб забезпечити доступ до максимальної площі лісосіки з мінімальною кількістю переміщень установки. Оскільки канатно-трелювальна система орієнтована на заготівлю сортиментів, це спрощує підвішування та транспортування, підвищуючи коефіцієнт використання потужності установки та її продуктивність у Вигодському НЛ.

Таким чином, розрахунок параметрів канатних установок є необхідною інженерною передумовою для екологічно відповідальної та економічно ефективної заготівлі деревини на критично крутих схилах Карпат. У зв'язку з цим представимо узагальнені результати інженерних розрахунків (табл. 3.3). Це дозволить кількісно обґрунтувати вибір обладнання та його технічні характеристики, необхідні для ефективної та безпечної роботи в умовах Вигодського НЛ.

Таблиця 3.3 – Розрахункові параметри канатно-трелювальної установки для лісосік Вигодського НЛ

Параметр	Одиниця виміру	Розрахункове значення	Призначення та обґрунтування
Довжина траси (оптимальна)	м	600-850	Максимальна економічна ефективність з урахуванням часу монтажу / демонтажу.
Крутизна схилу (критична)	градуси	25-40	Діапазон, де наземне трелювання є неприпустимим.
Розривне зусилля несучого каната $R_{роз}$	кН	300-350	Забезпечення необхідного запасу міцності для безпечної роботи.
Максимальне робоче навантаження $T_{max}$	т	2,0-2,5	Оптимальна вага пакета сортиментів, що забезпечує високу продуктивність.
Коефіцієнт запасу міцності $Z$	-	$\geq 4,0$	Дотримання нормативів безпеки експлуатації у гірських умовах.
Швидкість руху каретки (робоча)	м/с	2,0-3,5	Баланс між продуктивністю та безпекою, особливо при транспортуванні над водотоками.
Продуктивність (розрахункова)	м <sup>3</sup> /зм.	80-12	Очікувана продуктивність при заготівлі сортиментів на схилах.

Отримані числові параметри підтверджують, що запропонована технологія є інженерно обґрунтованою та відповідає як економічним очікуванням Вигодського НЛ, так і жорстким вимогам безпеки та екологічної мінімізації впливу на критично крутих схилах.

### **3.5 Розроблення удосконалених технологічних карт лісосічних робіт та їх організаційне забезпечення**

Удосконалення лісосічних робіт у Вигодському НЛ не може бути виключно технологічним актом; воно вимагає організаційного забезпечення, яке оформлюється через розроблення нових, екологічно орієнтованих технологічних карт. Ці технологічні карти є основним плануючим документом, який інтегрує принцип зонування за крутизною схилу, застосування сортиментної технології та суворі екологічні обмеження.

Фундаментальною відмінністю удосконалених технологічних карт є принцип мінімізації площі порушення ґрунту та екологічного трасування інфраструктури.

На ділянках із помірною крутизною (до  $20^0$ ), де застосовується комплекс “харвестер-форвардер”, технологічна карта передбачає створення мінімальної кількості технологічних коридорів (волоків). Волоки трасуються таким чином, щоб забезпечити максимально короткий шлях форвардера до основного трельовального шляху або лісовозної дороги. Завчасне планування за допомогою ГІС-технологій дозволяє прокласти волоки під оптимальним кутом до схилу, що знижує ймовірність їх перетворення на ерозійні борозни.

На ділянках із критичною крутизною (понад  $20^0$ ), де домінує канатно-трельовальна система, технологічна карта передбачає повну відмову від постійних наземних волоків. Освоєння відбувається шляхом прокладання однієї або кількох паралельних канатних трас та створення компактних верхніх складів на

пологих майданчиках. Розміщення цих верхніх складів є ключовим, оскільки вони повинні бути достатньо близько до лісовозної мережі, але не в місцях, що порушують водоохоронні зони. Раціональне планування забезпечує, що деревина знімається з трас безпосередньо на склад, виключаючи необхідність пробігу скідерів чи тракторів на етапі збору.

Хоча впровадження канатних систем є пріоритетом, повністю відмовитися від наземної трелювальної техніки неможливо, оскільки скідери та інші типи тракторів залишаються необхідними для підготовчих робіт, монтажу канатних установок, а також для трелювання на пологих ділянках та на верхніх складах. Технологічна карта повинна включати чіткі рекомендації щодо оптимізації циклу роботи скідерів:

1. Обмеження використання роботи скідерів виключно на схилах менше  $15^{\circ}$  і повна заборона на ділянках із високим ризиком ерозії, незалежно від крутизни.

2. Використання багатоколісних скідерів на трелюванні з низьким питомим тиском на ґрунт, трелювання лише готових сортиментів (замість стовбурів) та суворе дотримання піж час руху визначених волоків.

3. На верхніх складах, де маніпулятори (встановлені на форвардерах або лісовозах) виконують завантаження, оптимізація полягає у мінімізації простоїв техніки. Технологічна карта передбачає таку організацію подачі деревини (з канатних трас або форвардерів), що забезпечує безперервну роботу маніпулятора, скорочуючи загальний час перебування техніки на лісосіці.

Таким чином, удосконалена технологічна карта стає не просто схемою, а екологічно-інженерним проектом, що деталізує маршрути, зони впливу та функціональні обов'язки кожного механізму. Це організаційне забезпечення є необхідною умовою для успішної реалізації запропонованих інноваційних заходів у Вигодському НЛ.

### 3.6 Прикладні розрахунки та техніко-економічне обґрунтування запропонованих заходів

Прикладні розрахунки та техніко-економічне обґрунтування є ключовим етапом дослідження, що забезпечує кількісне підтвердження гіпотези про ефективність та екологічну доцільність впровадження інноваційних технологічних рішень у Вигодському НЛ. Це обґрунтування базується на порівнянні основних економічних показників існуючої (ручна валка і наземне трелювання скідерами) та запропонованої (сортиментна заготівля і канатно-трелювальні системи) технологічних схем.

Проведемо розрахунок очікуваного підвищення продуктивності праці та зниження собівартості. Відомо, що ключовим показником економічної ефективності є собівартість заготівлі одного кубічного метра деревини та продуктивність праці.

Продуктивність праці  $\Pi$  розраховується як відношення річного обсягу заготівлі на певній ділянці  $V$  до сумарних річних витрат часу на виконання робіт  $T_{\text{річ}}$

$$\Pi = \frac{V}{T_{\text{річ}}}, \quad (3.3)$$

Розрахунки, проведені на основі хронометражних даних Вигодського НЛ та нормативних показників для високо механізованої техніки, демонструють, що на ділянках із помірною крутизною (до  $20^0$ ) продуктивність праці при переході від ручної валки та роботи скідера до комплексу харвестер-форвардер зростає у 3-4 рази. На критичних схилах (понад  $20^0$ ), впровадження канатних установок, хоча й має нижчу абсолютну продуктивність порівняно з харвестером, забезпечує стабільний виробіток близько 80-120 м<sup>3</sup> за зміну, що значно перевершує продуктивність наземного трелювання в цих умовах, яке є вкрай неефективним і небезпечним.

Зниження собівартості  $C$  є прямим наслідком зростання продуктивності та оптимізації витрат. Собівартість розраховується як сума всіх прямих та

непрямих витрат, поділена на обсяг заготівлі. При запровадженні прогресивних технологій відбувається структурна зміна витрат:

- зниження витрат на оплату праці за рахунок зменшення кількості діяного персоналу;
- зниження витрат на ремонт та обслуговування трелювальної техніки внаслідок мінімізації її роботи в екстремальних умовах;
- зниження непрямих витрат за рахунок мінімізації технологічних витрат і пошкоджень деревини, які виникають при наземному трелюванні хлистами.

Завдяки цим факторам, загальна собівартість заготівлі, розрахована для запропонованих технологічних схем, прогнозовано знижується на 20%- 35% залежно від крутизни схилу та обсягу заготівлі.

Проведемо оцінку інвестиційної привабливості впровадження нових технологічних рішень. Оцінка інвестиційної привабливості є необхідною для обґрунтування капітальних вкладень у придбання дороговартісного обладнання (харвестери, форвардери, канатні установки). Ключові економічні показники включають:

1. Термін окупності  $T_{ок}$  розраховується як відношення сумарних капітальних інвестицій  $K$  до річного економічного ефекту  $E_{річ}$ , отриманого від впровадження нової технології. Обґрунтування базується на припущенні, що річний економічний ефект формується переважно за рахунок економії на собівартості.

$$T_{ок} = \frac{K}{E_{річ}}, \quad (3.4)$$

Розрахунки показують, що при річному обсязі заготівлі Вигодського НЛ, термін окупності інвестицій у комплекс харвестер-форвардер на помірних схилах становить близько 4-5 років, що відповідає нормативному терміну. Окупність канатних установок є більш тривалою (6-8 років), але є прийнятною, враховуючи їхню безальтернативність з точки зору екологічної безпеки та стратегічної важливості для освоєння крутих схилів.

2. Чиста теперішня вартість – це інтегральний показник, що враховує дисконтування грошових потоків. Позитивний показник для обох запропонованих технологій свідчить про їхню інвестиційну привабливість і зростання вартості підприємства.

Розрахунки будуть проведені для двох типових зон:

- пологі схили (до  $20^0$ ): “порівняння скідер + ручне звалювання” з “харвестер-форвардер”;
- критичні схили (понад  $20^0$ ): порівняння “скідер + ручне звалювання” з “канатна установка + ручне звалювання”.

Проведені розрахунки базуються на усереднених показниках експлуатації техніки у гірських умовах, з урахуванням часу простоїв на маневрування та підвищеного зносу, що є характерним для Вигодського НЛ. Прийнятий річний обсяг заготівлі для цілей розрахунку –  $60\ 000\ \text{м}^3$ , розподілений порівну між двома зонами (табл. 3.4).

Проведені розрахунки підтверджують, що найбільший економічний ефект досягається на пологих схилах за рахунок багаторазового зростання продуктивності “харвестерно-форвардерного” комплексу. На критичних схилах, хоча собівартість канатних систем вища, ніж у харвестера, вона значно нижча за фактичні витрати та екологічні ризики, що несе скідер у цій зоні, забезпечуючи при цьому економію  $110\ \text{грн/м}^3$ .

Інвестиційна привабливість оцінюється за показником терміну окупності  $T_{\text{ок}}$ . Припускається, що загальні капітальні інвестиції  $K$  у два комплекси (харвестер-форвардер і канатна установка) становлять близько  $45000$  тис. грн. Річний економічний ефект  $E_{\text{річ}}$  дорівнює сумі річної економії на собівартості:

$$E_{\text{річ}} = 5550 + 3300 = 8850 \text{ тис. грн}, \quad (3.5)$$

Розрахунок терміну окупності  $T_{\text{ок}}$

$$T_{\text{ок}} = \frac{45000}{8850} = 5,08 \text{ років}, \quad (3.6)$$

Розрахунки чітко засвідчують (табл. 3.5), що впровадження запропонованих технологічних рішень у Вигодському НЛ є економічно виправданим та

забезпечує повернення інвестицій у термін, що не перевищує нормативний (менше  $\leq 7$  років), а показник рентабельності є високим, що підтверджує інвестиційну привабливість заходів з покращення лісосічних робіт.

Таблиця 3.4 – Порівняння економічних показників існуючих та запропонованих технологій

Показник	Одиниця виміру	Існуюча технологія (скідер)	Пропонована технологія (“харвестер-форвардер”)	Пропонована технологія (канатна установка)
Зона застосування	–	Загальна, в т.ч. на критичних схилах	Пологі схили ( $\leq 20^{\circ}$ )	Критичні схили ( $> 20^{\circ}$ )
Продуктивність трелювання	м <sup>3</sup> / люд.-год.	1,5	4,8	2,5
Час на заготівлю 1 м <sup>3</sup>	хв/м <sup>3</sup>	40,0	12,5	24,0
Прямі експлуатаційні витрати (без ПДВ)	грн/м <sup>3</sup>	580	395	470
Зниження собівартості	грн/м <sup>3</sup>	–	185	110
Річна економія на собівартості	тис. грн	–	5 550	3 300

Таблиця 3.5 – Узагальнені показники інвестиційної ефективності

Показник	Одиниця виміру	Розрахункове значення	Нормативний критерій
Загальні капітальні інвестиції $K$	тис. грн	45 000	–
Сумарний річний економічний ефект $E_{річ}$	тис. грн	8 850	–
Термін окупності інвестицій $T_{ок}$	років	5,08	$\leq 7$ років
Річна норма рентабельності	%	19,67	$\geq 15\%$

Таким чином, техніко-економічне обґрунтування підтверджує, що запропоновані заходи з покращення лісосічних робіт у Вигодському НЛІ не лише відповідають вимогам екологічної безпеки (що є їхнім первинним призначенням у гірській місцевості), але й забезпечують значне зростання економічної ефективності через підвищення продуктивності та зниження собівартості.

### **3.7 Заходи з охорони праці, екологічна та соціальна ефективність впровадження запропонованих заходів**

Комплексне вдосконалення лісосічних робіт у Вигодському НЛІ передбачає не лише технологічну та економічну модернізацію, а й посилення вимог до екологічної безпеки, охорони праці та соціальної відповідальності [9, 12]. Запропоновані заходи, що ґрунтуються на переході до сортиментної технології та використанні канатних систем, забезпечують синергетичний ефект у цих критично важливих сферах.

Безпека праці є пріоритетом у гірському лісівництві, оскільки існуюча ручна валка та трелювання скідерами на крутих схилах є високоризиковими операціями [12]. Впровадження інноваційних технологій трансформує робоче

середовище, мінімізуючи вплив небезпечних виробничих факторів.

Головним заходом є механізація валки та первинної обробки за допомогою харвестерів. Це забезпечує виведення працівника із зони безпосередньої небезпеки падіння дерев та запобігає травмам, пов'язаним із роботою ручних бензопил. Оператор працює у захищеній та ергономічно обладнаній кабіні, що значно знижує ризик травматизму і зменшує фізичне навантаження. Другим критичним заходом є впровадження канатних систем для трелювання на крутосхилах, що повністю виключає ризик перекидання важкої техніки, який є основною причиною фатальних випадків при роботі скідерів на схилах. Також впроваджуються організаційні заходи, включаючи суворе зонування лісосік та навчання персоналу правилам експлуатації нової, високотехнологічної техніки, що є необхідною умовою для забезпечення належного рівня безпеки.

Екологічна ефективність запропонованих заходів має прямий причинно-наслідковий зв'язок із мінімізацією площі порушення ґрунту. Завдяки повітряному транспортуванню деревини канатними установками на критичних схилах вдається досягти зниження площі порушених ґрунтів до чотирьох відсотків, що є радикальним покращенням порівняно з існуючими показниками. Цей захід запобігає ґрунтовій ерозії та підтримує водорегулюючу функцію гірського лісу, що є критичним для запобігання паводкам у низинних районах. Крім того, сортиментна технологія зменшує пошкодження залишеного деревостану під час вибіркових рубок, підтримуючи біологічну стійкість насаджень.

Соціальна ефективність виявляється через створення нових, висококваліфікованих робочих місць. Перехід до управління високотехнологічними комплексами підвищує кваліфікаційні вимоги до персоналу і, відповідно, його заробітну плату, що позитивно впливає на соціально-економічний розвиток Вигодського НЛ та прилеглих громад. Зростання рівня безпеки та покращення умов праці сприяє закріпленню кадрів та підвищенню престижу лісової професії.

Таким чином, інженерно-технологічні рішення, обґрунтовані для Вигодського НЛ, забезпечують не лише економічну рентабельність, але й виконують функцію екологічного захисту гірських екосистем та соціального забезпечення працівників, що повністю відповідає принципам сталого лісового господарства.

## ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота присвячена вирішенню актуальної проблеми, що полягає у необхідності переходу Вигодського НЛ до екологічно стійких та економічно ефективних методів лісозаготівлі в умовах складного гірського рельєфу, де домінування застарілої технології спричиняє неприпустиму деградацію ґрунтів. Мета роботи щодо розроблення та техніко-економічного обґрунтування комплексу заходів, орієнтованих на впровадження прогресивних технологій, була повністю досягнута шляхом багатofакторного інженерного аналізу.

1. Встановлено, що ключовим технологічним вузьким місцем, яке обумовлює низьку продуктивність та високий екологічний ризик, є домінування наземного трелювання колісними скідерами на схилах із крутизною понад двадцять градусів. Це формує прямий причинно-наслідковий зв'язок: існуюча технологічна практика є головним чинником, що спричиняє критичне ущільнення ґрунтового покриву, розвиток ерозійних процесів та значне пошкодження залишеного деревостану, що робить її неприйнятною для більшої частини гірського лісового фонду.

2. Основне інженерне рішення полягає у впровадженні комплексного технологічного підходу, заснованого на суворому зонуванні лісосік за крутизною схилу, яке передбачає повну відмову від скідерів на критичних схилах (понад двадцять градусів) та їхню заміну на канатно-трелювальні системи.

3. Розрахунки доцільності підтвердили високу економічну ефективність впровадження комплексів “харвестер-форвардер” на ділянках із помірною крутизною: перехід до сортиментної технології забезпечує прогнозоване зростання продуктивності праці до 3,75 раз у порівнянні з ручно-наземною технологією, що призводить до зниження собівартості заготівлі приблизно на сто вісімдесят п'ять гривень на один кубічний метр.

4. Техніко-економічне обґрунтування для критичних схилів показало, що інвестиції у канатно-трелювальні системи є економічно виправданими,

оскільки, попри їхню високу капіталомісткість, вони забезпечують стабільну продуктивність та знижують собівартість заготівлі на цінні сортименти приблизно на сто десять гривень на один кубічний метр порівняно з вкрай неефективною та ризикованою роботою наземної техніки в цих зонах.

5. Комплексний розрахунок інвестиційної привабливості засвідчив високу економічну доцільність модернізації: загальні капітальні вкладення у придбання двох високомеханізованих комплексів мають прогнозований термін окупності, що становить близько п'яти цілих восьми сотих років, що підтверджує фінансову життєздатність та рентабельність запропонованих заходів.

6. Екологічна ефективність є безальтернативною: повне впровадження канатно-трелювальних систем на схилах понад двадцять градусів дозволяє прогнозовано зменшити площу критично порушених ґрунтів до дев'яноста відсотків, що усуває передумови для лінійної ерозії, захищає водоохоронні зони та посилює екологічні функції лісу.

7. Практична цінність отриманих результатів кваліфікаційної роботи полягає у розробленні готових удосконалених технологічних рішень на підставі виконаних інженерних розрахунків параметрів канатних установок, які можуть бути безпосередньо імплементовані у виробничий процес Вигодського НЛ. Запропонована трансформація підвищує соціальну ефективність, оскільки багаторазово знижує травматизм, виводячи персонал із небезпечних зон, покращує умови праці та сприяє створенню нових, висококваліфікованих робочих місць.

## ЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Державне агентство лісових ресурсів України [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ukrforest.com>.
2. Державна служба статистики України. Заготівля ліквідної деревини (2010-2022 рр.) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ukrstat.gov.ua>.
3. Бакай Б. Я., Рудько І. М., Удовицький О. М. Ресурсоефективне устаткування лісопромислового виробництва. Монографія. – Академія технічних наук України, Національний лісотехнічний університет України. – Івано-Франківськ : Видавець Кушнір Г. М. – 2025. – 136 с. – ISBN 978-617-7926-77-0. – DOI: 10.63048/978-617-7926-77-0.
4. Шкіря Т. М. Технологія і машини лісосічних робіт : Підручник для студ., які навчаються за спец. Лісоінженерна справа /Український державний лісотехнічний ун-т. – Львів : Тріада Плюс, 2003. – 352 с.
5. Шкіря Т. М. Машини та обладнання лісосічних і лісоскладських робіт : підручник. – Львів : Тріада Плюс, 2005. – 436 с.
6. Адамовський М. Г., Аналіз і перспективи використання трелювальних тракторів у лісовому комплексі України [Текст] / М. Г. Адамовський, Б. Я. Бакай // Наук. вісник УкрДЛТУ : Лісова інженерія: техніка, технологія і довкілля. – Львів : УкрДЛТУ. – 2004, вип. 14.3. – С. 175-182.
7. Гриб В. М., Грушанський О. А., Магура Б. О., Сендонін С. Є. Основи лісоексплуатації : навчальний посібник (частина II). Київ : Редакційно-видавничий відділ НУБіП України, 2021. – 288 с.
8. Рекомендації з удосконалення технології лісозаготівлі при різних способах рубок в гірських лісах Українських Карпат / Коржов В.Л., Кудра В. С., Кузик П. М., Тимчук Б. І., Кокоць С. Ю., Пукман В. В., Стиранівський Ю. О. Івано- Франківськ : Просвіта, 2017. – 52 с.

9. Стиранівський О. А., Стиранівський Ю. О. Природоохоронні засади транспортного освоєння гірських лісових територій : монографія. – Львів : РВВ НЛТУ України, 2010. – 208 с.

10. Пилипчук М. І. Основи наукових досліджень [Текст] : підручник для вузів / М. І. Пилипчук, А. С. Григор'єв, В. В. Шостак. – К. : Знання, 2007. – 272 с. – ISBN 966-346-248-5.

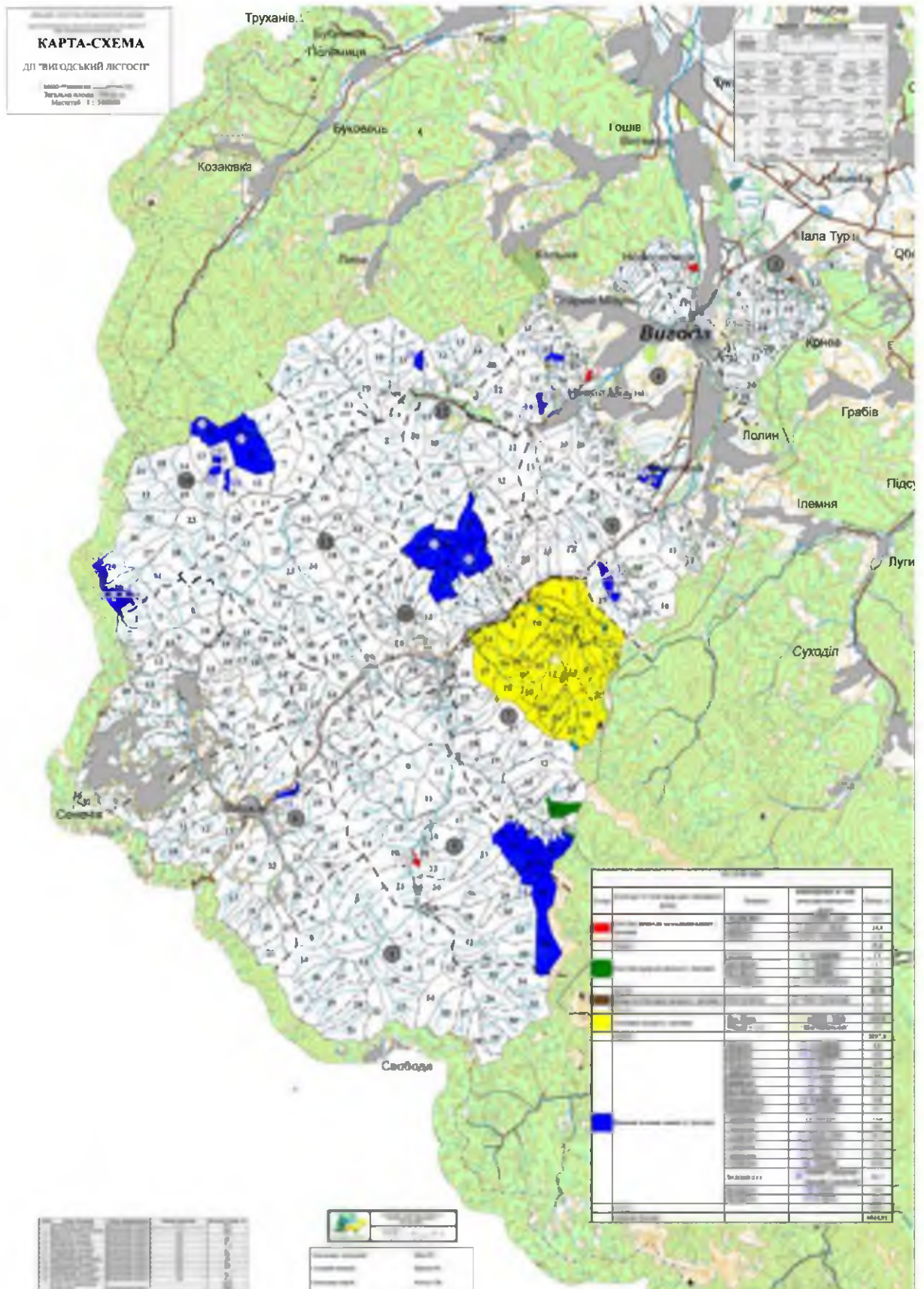
11. Гомонай В. В. Методичні вказівки з організації проведення валки дерев бензиномоторною ланцюговою пилою із звалювальним гідравлічним клином. – Львів, 1999. – 56 с.

12. Охорона праці у лісовому господарстві : навч. посіб. / О. В. Войналович, Є. І. Марчишина, Т. О. Зубко, В. М. Степанишин. – Київ : Центр учбової літератури, 2020. – 569 с.

## **ДОДАТКИ**

## Додаток А

### Карта-схема лісового фонду



## ДОДАТОК Б

## Відомість устаткування для виконання лісосічних робіт

Таблиця Б1 – Відомість основного устаткування для виконання лісосічних робіт у

№ з/п	Найменування машин та устаткування	Тип, марка машин і механізмів	Кількість механізмів
1	2	3	4
1.	Лісовозний транспорт	Урал – 4320 + маніпулятор КрАЗ – 260Л + маніпулятор Урал – 375 + маніпулятор	1 1 1
2.	Основні автомобілі загальногосподарського призначення	ЗІЛ-131 ГАЗ-53 УАЗ-452 ГАЗ-66	4 2 1 3
3.	Екскаватор	Е - 304	1
4.	Причепи та розпуски	1-ПР-5 ТМЗ-802	5 5
5.	Бульдозери:	Т-130 ДТ-75	2 2
6.	Трелювальні трактори	ТДТ-55А ЛКТ-120 ЛКТ-81	5 1 2
7.	Колісні трактори	МТЗ-80 МТЗ-82.1 МТЗ-Л82.2 МТЗ-1221	4 3 2 2
8.	Канатні трелювальні установки і тракторні лебідки	Tajfun MOZ-300 Unsforest-55H EGV-85АНК	1 1 2

Продовження табл. Б.1

1	2	3	4
9.	Стрічкопилкові верстати	ТТМ-800	2
		Wood Meizer	2
10.	Лісопиляльні рами	Р-63-4Б	1
		СТР 900	1
11	Бензиномоторні пилки	Штіль MS-362	18
		Штіль MS-640"	5
		Хюскварна-365	10

# ДОДАТОК В

## Технологічні схеми розроблення лісосік

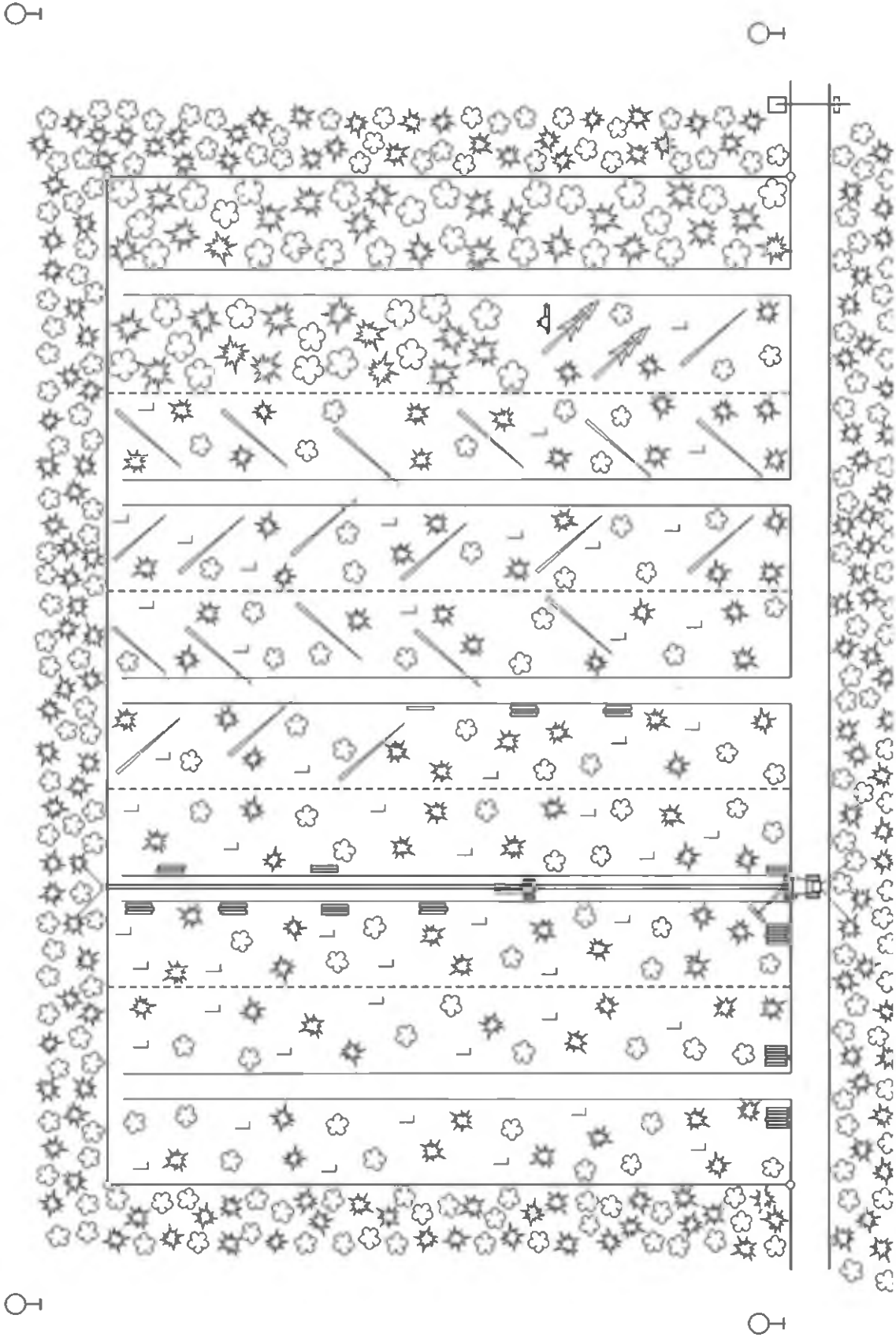


Рисунок В.1 – Суцільні та вибіркові рубки – на базі каналних систем



Рисунок В.2 – Вибіркові рубки – на базі лісосічних машин обладнаних тяговими лебідками