

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

Техніко-технологічні пропозиції удосконалення поступових та вибіркових рубок в умовах Львівського надлісництва філії “Карпатський лісовий офіс” ДП “Ліси України” на базі малогабаритних механізованих засобів

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

Керівник: Цимбалюк Ю. І.

Рецензент: Павлюк В. В.
(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

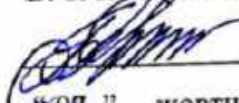
Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

Спеціальність 205 Лісове господарство

Освітньо-професійна програма Лісова інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

В. о. завідувача кафедри АЛІ

 доц. Бакай Б. Я.
 "02" жовтня 2025 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Сулиму Роману Андрійовичу

1. Тема роботи Техніко-технологічні пропозиції удосконалення поступових та вибіркового рубок в умовах Львівського надлісництва філії "Карпатський лісовий офіс" ДП "Ліси України" на базі малогабаритних механізованих засобів.

керівник роботи Цимбалюк Юрій Іванович, 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 – Львівське надлісництво Філії "Карпатський лісовий офіс" ДП "Ліси України"; об'єкт дослідження – технологічний процес лісосічних робіт; предмет дослідження – основні лісосічні роботи поступових та вибіркового рубок у Львівському надлісництві.

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

1. Огляд природно-економічних умов та виробничої діяльності Львівського надлісництва Філії «Карпатський лісовий офіс»

2. Розроблення техніко-технологічних пропозицій удосконалення поступових та вибіркового рубок у Львівському надлісництві

3. Математичний опис кінематики малогабаритної трелювальної системи в лісовому насадженні

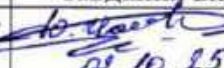
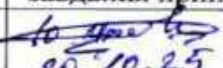
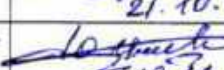
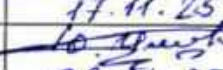
4. Висновки

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

1. Технологічні схеми розробки лісосік.

2. Результати теоретичного дослідження.

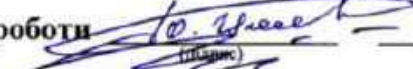
6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Цимбалюк Ю. І., доцент кафедри	 02.10.25	 20.10.25
2	Цимбалюк Ю. І., доцент кафедри	 21.10.25	 17.11.25
3	Цимбалюк Ю. І., доцент кафедри	 18.11.25	 08.12.25

7. Дата видачі завдання _____ 02.10.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Ч. ч.	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд природно-економічних умов та виробничої діяльності Львівського надлісництва Філії «Карпатський лісовий офіс»	02.10.2025-20.10.2025 р.	
2	Розроблення техніко-технологічних пропозицій удосконалення поступових та вибіркових рубок у Львівському надлісництві	21.10.2025-17.11.2025 р.	
3	Математичний опис кінематики малогабаритної трелювальної системи в лісовому насадженні	18.11.2025-08.12.2025 р.	
4	Формування висновків та оформлення кваліфікаційної роботи	09.12.2025-15.12.2025 р.	

Студент  Сулим Р. А.
(підпис)Керівник роботи  Цимбалюк Ю. І.
(підпис)

РЕФЕРАТ

Випускна кваліфікаційна робота магістра: 77 с., 3 ч., 4 табл., 8 рис., 3 дод., 17 літературних джерела.

Тема: Техніко-технологічні пропозиції удосконалення поступових та вибіркових рубок в умовах Львівського надлісництва Філії «Карпатський лісовий офіс» ДП «Ліси України» на базі малогабаритних механізованих засобів.

Ключові слова: сортимент, трелювання, сортиментна технологія, лісосіка, підтрелювання, намет лісу, штучно створені лісові насадження.

Об'єкт дослідження: технологічний процес лісосічних робіт

Предмет дослідження: основні лісосічні роботи поступових та вибіркових рубок у Львівському надлісництві

Мета роботи: – Розроблення техніко-технологічних пропозицій для удосконалення поступових і вибіркових рубок, шляхом впровадження в технологічний процес малогабаритних механізованих засобів.

Методи дослідження – опрацювання спеціальних літературних джерел з метою моніторингу публікацій, що стосуються перспективних технологій виконання поступових і вибіркових рубок;

– натурні спостереження та проведення хронометражу окремих операцій технологічного процесу основних лісосічних робіт на ДП «Рава-Руське лісове господарство»;

– техніко-технологічне обґрунтування проекту вдосконалення поступових і вибіркових рубок із широким використанням малогабаритних механізованих засобів;

– теоретичні висліди кінематики трелювальної системи під час виконання поступових і вибіркових рубок.

Базуючись на результатах звітних матеріалів виробничої діяльності Львівського надлісництва ДП «Ліси України» та детально ознайомившись із природними умовами зони розміщення підприємства, а також використовуючи результати літературного огляду за темою роботи, було проаналізовано основні недоліки в організації процесу лісосічних робіт на підприємстві, які доцільно усунути, беручи за основу передові практики кращих підприємств України і Європи і наукові дослідження передових дослідницьких та навчальних закладів.

Провівши ґрунтовний аналіз лісосічних робіт на підприємстві та прийнявши до уваги практичні і теоретичні напрацювання профільних навчальних закладів та науково-дослідних інституцій, виконано проект з покращенням організації лісосічних робіт, беручи за основу основні принципи сталого розвитку лісового господарства. Головна увага при цьому приділялася раціональній експлуатації та відтворенню лісових насаджень з врахуванням місцевих природних особливостей та районування окремих деревних порід. Подані розрахунки, щодо додаткового ефективного використання деревних залишків, що утворюються на площі лісосіки внаслідок проведення певного виду рубки.

Тривалі дослідження окремих операцій лісосічних робіт, зокрема операції трелювання і підтрелювання лісоматеріалів, стали основою для математичного моделювання певних ситуацій цього процесу, що дозволить глибше вивчити причини негативних наслідків лісозаготівельних робіт на лісове середовище.

ABSTRACT

Master's final qualification work: 77 p., 3 h., 4 tables, 8 figures, 3 appendices, 17 literary sources.

Topic: Technical and technological proposals for improving gradual and selective felling in the conditions of the Lviv Forestry Department of the Carpathian Forest Office Branch of the SFE Forests of Ukraine based on small-sized mechanized means.

Keywords: assortment, skidding, assortment technology, logging, skidding, forest canopy, artificially created forest stands.

Object of research: technological process of logging operations

Subject of research: main logging operations of gradual and selective felling in the Lviv forestry department

Purpose of work: - Development of technical and technological proposals for improving gradual and selective felling by introducing small-sized mechanized means into the technological process.

Research methods – processing of special literary sources in order to monitor publications related to promising technologies for performing gradual and selective felling;

– field observations and timing of individual operations of the technological process of the main logging operations at the State Enterprise “Rava-Ruske Forestry”;

– technical and technological justification of the project for improving gradual and selective felling with the widespread use of small-sized mechanized means;

– theoretical findings on the kinematics of the skidding system during gradual and selective felling.

Based on the results of reporting materials on the production activities of the Lviv Forestry Department of the State Enterprise “Forests of Ukraine” and having become acquainted in detail with the natural conditions of the enterprise’s location area, as well as using the results of a literature review on the topic of the work, the main shortcomings in the organization of the logging operations process at the enterprise were analyzed, which should be eliminated, taking as a basis the best practices of the best enterprises in Ukraine and Europe and scientific research of advanced research and educational institutions.

Having conducted a thorough analysis of logging operations at the enterprise and taking into account the practical and theoretical developments of specialized educational institutions and research institutions, a project was implemented to improve the organization of logging operations, taking as a basis the basic principles of sustainable forestry development. The main attention was paid to the rational exploitation and restoration of forest stands, taking into account local natural features and zoning of individual tree species. Calculations were presented regarding the additional effective use of wood residues formed on the area of the logging site as a result of a certain type of felling.

Long-term studies of individual logging operations, in particular the operations of skidding and under-skidding of timber, became the basis for mathematical modeling of certain situations of this process, which will allow a deeper study of the causes of the negative effects of logging operations on the forest environment.

ЗМІСТ

Вступ.....	10
1. ОГЛЯД ПРИРОДНО-ЕКОНОМІЧНИХ УМОВ ТА ВИРОБНИЧОЇ ДІЛЬНОСТІ ЛЬВІВСЬКОГО НАДЛІСНИЦТВА ФІЛІЇ «КАПАТСЬКИЙ ЛІСОВИЙ ОФІС» ДП «ЛІСИ УКРАЇНИ».....	12
1.1. Загальна інформація про Львівське надлісництво філії «Карпатський лісовий офіс».....	12
1.2. Рельєф території та її гідрологічна характеристика.....	13
1.3. Кліматична картина зони розміщення господарства.....	14
1.4. Характеристика лісів Львівського надлісництва.....	16
1.5. Організація виробничого процесу лісогосподарських заходів пов'язаних із плановими рубками.....	17
1.5.1. Техніка та технологія виконання рубок	18
1.6 Міроприємства для відновлення лісових насаджень.....	20
1.7. Заходи підвищення протипожежної безпеки.....	20
1.8. Основні виробничі дані про роботу Львівського надлісництва Філії «Карпатський лісовий офіс» протягом 2025 року.....	21
1.9. Аналіз ситуації та формування техніко-технологічних пропозицій удосконалення поступових та вибіркових рубок	22
1.10. Огляд літератури та наукових публікацій темою роботи.....	24
1.11. Огляд технологій виконання різних рубок.....	26
2. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОПОЗИЦІЙ УДОСКОНАЛЕННЯ ПОСТУПОВИХ ТА ВИБІРКОВИХ РУБОК У ЛЬВІВСЬКОМУ НАДЛІСНИЦТВІ.....	31
2.1. Перспективні об'єми лісосічних робіт на найближчий період.....	31
2.2. Головні пріоритети організації виробничого процесу лісосічних робіт та шляхи їх реалізації.....	32

2.3. Обґрунтування техніко-технологічних пропозицій удосконалення поступових і вибіркових рубок на основі природних та виробничих умов Львівського надлісництва.....	34
2.3.1 Аналіз прийнятних систем рубок та встановлення обґрунтованих розмірів лісосік.....	34
2.3.2 Технологія рубок та кількість лісосік.....	36
2.3.3 Системи машин для реалізації технологій рубок головного користування та рубок формування і оздоровлення насаджень.....	39
2.3.4 Планування робочого часу та змінних об'ємів заготівлі деревини на кожному виді рубки.....	41
2.3.5 Розрахунки проектної продуктивності машин і технічних засобів в умовах Львівського надлісництва.....	42
2.4. Розрахунок об'єму деревної маси, яку можна отримати шляхом переробки лісосічних залишків.....	57
2.5 Вимоги до охорони праці, навколишнього середовища та безпека в надзвичайних ситуаціях в процесі лісосічних робіт.....	59
2.5.1. Загальні аспекти охорони праці та техніки безпеки на основних лісосічних роботах.....	59
2.5.2. Заходи запобігання лісовим пожежам.....	61
2.5.3 Заходи охорони навколишнього середовища.....	62
2.6. Підсумкові результати проектних міроприємств удосконалення поступових і вибіркових рубок, які виконуються у Львівському надлісництві.....	63
3. МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС КІНЕМАТИКИ МАЛОГАБАРИТНОЇ ТРЕЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ В ЛІСОВОМУ НАСАДЖЕННІ.....	64
3.1 Актуальність та практичне значення дослідження.....	64
3.2 Аналітичний огляд міні техніки та трелювальних засобів до неї.....	65
3.3 Математичний опис ситуації об'їзду дерева на шляху руху.....	67
ВИСНОВКИ	71
Література.....	72

ВСТУП

Актуальність теми. Наслідком зростаючих потреб в деревині на світовому ринку є глобальне скорочення лісів всієї планети. Передусім це стосується багатовікових природних лісів, які є найбільш безцінним природним резервом для людства. Не зважаючи на те, що найбільшим джерелом кисню є екваторіальні ліси, глобальну екосистему землі формують лісові насадження всієї планети, де ліси європейського континенту відіграють не менш важливу роль в глобальній та локальній європейській екосистемах.

Як і на інших континентах, лісові насадження Європи останнім часом зазнають нещадної експлуатації з метою отримання головної сировини – деревини. Багатовікові праліси змінюються штучно відтвореними лісовими насадженнями або так званими плантаційними насадженнями, що формуються із швидкоростучих деревних порід. Така тенденція може призвести до дуже негативних екологічних наслідків, а також серйозною катастрофою для природних лісових ресурсів. Саме тому, необхідно вживати негайних заходів до збереження природних лісів та відтворення лісових насаджень природного породного складу, що відповідають умовам місцезростання.

Сучасна спеціальна лісова техніка та прогресивні технології ведення лісового господарства, які ґрунтуються на результатах наукових досліджень, дозволяють не тільки майже повністю механізувати лісосічні роботи, але і забезпечити їх високу екологічну складову. Так, науковці з лісової галузу, вже давно прийшли до висновку, що для роботи в лісах європейської частини немає необхідності використовувати високопродуктивну потужну лісову техніку, через, порівняно не великі обєми робіт в лісових господарствах. Таку характерну особливість мають і ліси України, які в порівнянні із лісами розвинутих європейських країн ще більше не забезпечують необхідного рівня лісистості території країни.

Крім того, широке впровадження малої механізації в лісових господарствах України є одним із перспективних напрямків механізації лісосічних робіт та підвищення їх екологічності. Замість широкого використання кінного трелювання в більшості лісових господарствах, доцільно впроваджувати сучасні зразки лісової техніки, яка відрізняється високою продуктивністю, екологічністю та порівняно не високою вартістю. Це те, що можуть собі дозволити більшість лісових господарств модернізуючи парк лісових машин або приватних лісозаготівельників.

Разом з тим, слід відмітити, що успішне впровадження нових технічних засобів у виробничий процес, потребує усестороннього аналізу та наукового підґрунтя. Технічні характеристики лісової техніки та її можливості, повинні якнайповніше відповідати природним умовам та побудованій технології виконання робіт на лісосіці. До прикладу, рівнинні умови Львівського надлісництва, сприятливі для застосування широкого спектру самохідних механізованих засобів для виконання лісосічних робіт, першочергово малогабаритних через значний об'єм рубок формування і оздоровлення лісових насаджень, а також через необхідність реалізації технологій головних рубок із паралельним формуванням молодого лісового насадження. Вирішенню таких виробничих проблем в умовах зазначеного господарства, стосується дана кваліфікаційна робота магістра, що і визначає її актуальність.

1. ОГЛЯД ПРИРОДНО-ЕКОНОМІЧНИХ УМОВ ТА ВИРОБНИЧОЇ ДІЛЬНОСТІ ЛЬВІВСЬКОГО НАДЛІСНИЦТВА ФІЛІЇ «КАПАТСЬКИЙ ЛІСОВИЙ ОФІС» ДП «ЛІСИ УКРАЇНИ»

1.1. Загальна інформація про Львівське надлісництво філії «Карпатський лісовий офіс»

Історія формування Львівського надлісництва Філії «Карпатський лісовий офіс», розпочинається з 2025 року, шляхом об'єднання кількох філій лісового господарства Львівської області. Таким чином до складу надлісництва відійшли Філії: «Жовківське лісове господарство», «Бібрське лісове господарство», «Львівське лісове господарство» та Філія «Рава-Руське лісове господарство». Вся територія Львівського надлісництва розташовується у Львівській області в різних адміністративних районах та являється одним із найбільших, що входять до складу Філії «Карпатський лісовий офіс».

На сьогоднішній день, загальна площа території Львівського надлісництва сягає понад 117932 га та розділена між лісництвами, що складають господарську структуру. Територіальний поділ між лісництвами, ґрунтується на існуючому поділу до входження господарств до Львівського надлісництва. Така велика територія включає як різні природно-експлуатаційні умови для ведення лісового господарства, так і різний склад та структуру лісових насаджень. Так, за фізико-географічним районуванням, територія надлісництва належить до західноукраїнського лісостепового округу, а всі ліси господарства характеризуються як рівнинні. Породний склад насаджень різноманітний та сформований під дією природних чинників, сприятливих формуванню того чи іншого породного складу чи типу лісу. Головну роль при цьому відіграють типи ґрунтів та їх гідрологія.

Місцем розміщення головного адміністративного офісу Львівського надлісництва є м. Винники, Львівського району, Львівської області. Деякі

відділи господарства знаходяться за старою адресою Філії «Львівське лісове господарство» у м. Львів по вулиці Яворницького 22.

1.2. Рельєф території та її гідрологічна характеристика

Незважаючи на певні локальні підвищення чи пониження рельєфу, загалом рельєф території Львівського Надлісництва можна характеризувати як рівнинний. В окремих лісництвах є перехідні ділянки між рівнинним та горбистим або навіть з ознаками гірської місцевості, як до прикладу, територія природного заказника Розточчя де схили сягають 15° ... 25° . Найвищі відмітки місцевості можна спостерігати на водорозділі, де висота окремих ділянок над рівнем моря становить 370...380. В цьому місці формуються притоки таких великих річок як Західного Бугу, Сяну та Дністра. Більша частина території розміщується в басейні річки Дністер, що і повпливало на формування складу ґрунту та гідрологію ґрунтів в цілому. Серед основних типів ґрунтів, які є найбільш розповсюдженими, можна виділити лесовидні ґрунти, леси, а також ґрунти, що характеризуються як пороховидні середні і напівважкі суглинки. До таких ґрунтів можна віднести сірі та темно сірі лісові ґрунти на яких добре зростають твердолистяні лісові насадження.

Характерними місцями концентрації суглинистих ґрунтів є заболочені долини рік та заплави рік або інші пониження заболоченої місцевості. Загалом, територію новоствореного Надлісництва, можна характеризувати, як добре насичену як малими так і середніми річками, які в основному мають відношення до Дністровського басейну. Це головним чином впливає також на рівень вологості ґрунтів на території господарства. В переважній більшості ґрунтові води залягають на глибині 2-х...3-х метрів, хоча на окремих ділянках виходять на поверхню формуючи заболочені ділянки. В деяких лісництвах господарства такі ділянки займають більше 13% площі і в останні роки спостерігається тенденція до їх збільшення. На заболочених ділянках спостерігається формування торф'яного шару потужністю до 2-х метрів.

На понижених ділянках місцевості формуються дернові та дерново-болотні ґрунти. Загалом територія Львівського Надлісництва характеризується

свіжими та вологими ґрунтами. До основних типів ґрунту слід віднести світло-сірі лісові легко суглинисті ґрунти, підзолисті і дерново-підзолисті ґрунти, рідше піщані чи супіщані. Такі типи ґрунтів є місцем зростання найбільш невибагливих лісових порід дерев, якими є береза та сосна звичайна. Із підвищенням родючості ґрунтів, соснові лісові насадження змінюються змішаними сосново-дубовими та сосново-дубово-буковими чи буковими.

На території новоствореного господарства є наявні як природні водні об'єкти у вигляді озер так і велика кількість і загальна площа штучних водних об'єктів у вигляді ставків. Заболочені ділянки, що перетворилися на болота, характеризуються як низові болота.

1.3. Кліматична картина зони розміщення господарства

Загальна характеристика кліматичних показників району розміщення території підприємства відповідає температурним показникам помірно-континентального клімату з довгою але досить теплою зимою, порівняно коротким і прохолодним літом, значною кількістю опадів та частими туманами.

Серед негативних кліматичних чинників, що найбільше впливають на розвиток та вегетацію деревної рослинності, слід виділити сильні вітри швидкістю понад 15м/с, що часто спричиняють вітровали, зокрема в чистих соснових насадженнях, які зростають на сирих та вологих ґрунтах. Загальна характеристика кліматичних показників району розміщення території підприємства відповідає температурним показникам помірно-континентального клімату з довгою але досить теплою зимою, порівняно коротким і прохолодним літом, значною кількістю опадів та частими туманами.

Таблиця 1.1 – Річні кліматичні показники району розташування Львівського надлісництва

Назва показника	Одиниця виміру	Значення	Дата
1	2	3	4
1. Температура повітря:			
– середньорічна	град.	+7,4	–
– абсолютна максимальна	град.	+35,5	–
– абсолютна мінімальна	град.	–32,2	–

2. Кількість опадів за рік	мм	569	–
3. Загальна тривалість вегетаційного періоду	дні	209	–
4. Дата останніх весняних заморозків	–	–	26.05.
5. Дата перших осінніх заморозків	–	–	29.09.
6. Середня дата замерзання річок	–	–	15.12.
7. Середня дата початку повеней на річках	–	–	25.03.
8. Сніговий покрив:	–	–	–
– потужність	см	20	–
– час появи	–	–	16.12.
– час сходу снігу в лісі	–	–	26.03.
9. Глибина промерзання ґрунту	см	25	–
10. Напрямок переважаючих вітрів:	–	–	–
– зимових	румб	ПнЗ	–
– весняних	румб	ПдС	–
– літніх	румб	ПдС	–
– осінніх	румб	Зх	–
11. Середня швидкість переважаючих вітрів:	–	–	–
– зимових	м/с	4,6	–
– весняних	м/с	3,6	–
– літніх	м/с	3,0	–
– осінніх	м/с	5,0	–
12. Середня річна відносна вологість повітря	%	61	–
13. Середня кількість посушливих днів в році	дні	11-33	–
14. Річна кількість днів із зливовими дощами	дні	5-10	–

Різкі не характерні для певної пори року температурні коливання, що негативно впливають на молоді рослини, зокрема це пізні весняні заморозки та ранні осінні. В зимову пору року за умови значних снігопадів та різких коливань температур, виникають сніголами, особливо в хвойних лісових насадженнях. Льодостав на річках розпочинається в другій декаді грудня або на

початку січня. Середня криги коливається від 10 до 90 см. Скресують річки наприкінці лютого – початку березня.

Загальні температурні показники є сприятливими для зростання найбільш поширених на цій території деревних порід, таких як сосна звичайна, ялина, ялиця, модрина, дуб, бук, ясен та ін.

1.4. Характеристика лісів Львівського Надлісництва

Загальна покрита лісом площа господарства сягає 117932га і характеризується, як компактним розміщенням лісових насаджень так і певним розосередженням по площі в окремих лісництвах. Також ліси характеризуються дуже нерівномірним розподілом за класами віку в силу певних чинників, що накладає відбиток на розподіл по породах за відповідними групами віку. За віковою структурою, ліси господарства є нерівномірні, значну площу складають пристигаючі насадження, стиглі та перестиглі ліси.

Породний склад лісових насаджень в основному відповідає природним умовам зростання, хоча є породи дерев, які не відповідають місцевим природним умовам, а відповідно не є промисловими породами. Такі насадження розміщуються на площі 276,3га або займають 1,9% площі земель вкритих лісовою рослинністю і представляють потенційний фонд для проведення рубок реконструкції та рубок догляду з метою зміни порід. В складі лісових насаджень підприємства є породи дерев, які не мають промислового значення і займають площу приблизно 1,5% від загальної площі земель вкритих лісовою рослинністю. Ці насадження представлені такими деревними породами як сосна Банка, сосна Веймутова, ялина європейська, дуб червоний, клен польовий, акація біла, липа дрібнолиста, тополя біла, верба біла, бархат амурський та ін..

Згідно таксаційних даних, лісові насадження господарства переважно є штучного походження, в першу чергу це стосується хвойних порід дерев і відносяться до першого лісотаксаційного поясу. В породній структурі переважають хвойні ліси, їх частка становить більше 80%, серед яких

найбільше соснових. Серед листяних насаджень переважають деревостани, де головною породою є дуб північний, бук лісовий та ясен. Середній запас покритої лісом площі – 328 м³/га.

У лісовому фонді господарства є також території, що відносяться до заповідних. До таких об'єктів відноситься заказник місцевого значення «Романівський», площею 482га і «Свірзький», який займає площу 451га. Всі ліси господарства відносяться до рівнинних, а за категоріями захисту поділяються на лісопаркові та експлуатаційні.

1.5. Організація виробничого процесу лісогосподарських заходів пов'язаних із плановими рубками

З розвитком нових форм ведення лісового господарства, зокрема змін в організації планових рубок, зменшилася виробнича активність безпосередньо самого господарства. Тепер більшість планових рубок в лісах господарства виконуються шляхом залучення до цього процесу приватних спеціалізованих структур у вигляді лісозаготівельних бригад. За останніми даними, рубки головного користування на 100% виконуються приватними структурами, як і більшість рубок догляду за лісом, розпочинаючи з рубок прорідження чи навіть рубок очищення. Натомість, висаджування лісових культур, догляд за ними та рубки догляду в молодих лісових насадженнях, такі як освітлення виконуються виробничими потужностями самого господарства, а точніше її структурними одиницями – лісництвами.

Така ситуація пов'язана з тим, що приватні компанії в основному орієнтовані на роботу в лісових насадженнях із відповідним середнім об'ємом стовбура дерева, приблизно, не менше 0,25м³ і вище. Під середні та значні об'єми стовбура, приватні компанії формують і склад лісової техніки, більшість якої представлена колісними тракторами середнього класу тяги, переобладнаних під потреби виконання рубок. В якості спеціального обладнання для зазначених тракторів, використовується типове навісне, закуплене на вугоринному ринку чи обладнання виготовлене у ремонтних

майстернях чи більш спеціалізованих виробництвах під конкретне замовлення. Таким чином, не завжди варто говорити про відповідність як техніки так і устаткування умовам виконання рубок, що відображається на порівнянно низькому їх рівні екологічності, не зважаючи на заходи, що вживаються.

1.5.1. Техніка та технологія виконання рубок

Першочергово слід відмітити, що в приватних лісозаготівельних бригадах не завжди є фахівці лісового господарства, що можуть ретельно контролювати роботу на лісосіці у відповідності із технологічною картою на її розробку, яку складають фахівці лісового господарства із врахуванням конкретних лісоексплуатаційних умов на лісосіці. Це призводить до того, що роботи виконуються лише з головною метою, отримання деревини в об'ємі заявленому у відповідних облікових документах не дуже переймаючись питаннями екологічності процесу. З іншої сторони, часто технічні можливості лісових машин, залучених до процесу не задовольняють умовам роботи на лісосіці, хоча деякі бригади оснащені досить непоганою технікою в хорошому технічному стані, хоч у придбанню із других рук, переважно іноземних фірм.

Відповідно до зазначеної ситуації, структура робіт під час виконання рубок, містить такий перелік операцій, який дозволяє отримувати деревну продукцію у передбаченому вигляді. Найкраще бригади оснащені ручними моторними інструментами, а саме бензиномоторними пилами сучасних виробників, тому початкові операції технологічного процесу, що розпочинаються із зрізання дерев та наступні суміжні є добре механізованими. Перелік же операцій рубок головного користування включає крім зрізання дерев, зрізання гілок, розкряжування та трелювання деревини.

Зрізання дерев, переважно виконується одним робітником через нескладні рівнинні умови, рідше залучається помічник. Після зрізання, відразу виконується зрізання гілок, тому дві перші операції процесу виконуються завжди комплексно. На відміну від цього, розкряжування стовбурів виконується в залежності від умов. Головним чином, намагаються трелювати

деревину стовбурами та розкрязовувати їх в місці тимчасового складування круглої деревини. Однак за певних умов, приходиться цю операцію виконувати в місці повалу дерева, особливо коли використовується система поступової рубки з рівномірним зрідженням насадження.

Трелювання деревини виконується виключно колісними тракторами з спеціальним обладнанням або саморобним найпростішим. Якщо дозволяють умови, то основним способом трелювання є трелювання стовбурами. В інших випадках трелювання виконується сортиментами. Коли є в наявності форвардери чи колісні трактори працюють із спеціальними причепами з маніпулятором типу «WEIMER», то часто практикується пряме вивезення деревини без залучення автомобільного транспорту. В складних ґрунтових умовах, особливо із надмірним зволоженням, приходиться виконувати підвезення деревини до автомобільної дороги, знову ж таки, використовуючи форвардери чи подібну техніку.

Деяко складнішим в технологічному плані є процес виконання рубок формування і оздоровлення лісів, через необхідність їх виконання в насадженні де відстань між деревами є порівняно невелика. В таких умовах тяжіють до способу трелювання деревини у сортиментах. Тобто, бензиномоторною пилкою в комплексі виконуються три початкові операції, які складаються із зрізання дерева, його обробки від гілок та ділення стовбура на сортименти.

Трелювання деревини часто виконується в кілька етапів в залежності від умов, особливо на ділянках де відстань між деревами не дозволяє використовувати на трелюванні колісні трактори. В таких умовах, широко використовується на етапі трелювання сортиментів в насадженні кінне трелювання. Деревину при цьому переміщують на невеликі відстані, що не перевищують 50м, використовуючи обладнання, що забезпечує трелювання лише волоком, що має свої негативні наслідки.

Під час виконання санітарних рубок, які складають досить вагому частину в річному об'ємі заготовленої деревини, використовуються переважно системи

суцільних рубок, зокрема на ділянках уражених кореневою губкою. На цих рубках використовується типова техніка, як для рубок головного користування

1.6 Міроприємства для відновлення лісових насаджень

Заліснення лісових площ пройдених суцільними рубками головного користування або суцільними санітарними рубками, відбувається шляхом висаджування лісових культур. Для вирощування якісного садивного матеріалу, використовуються відкриті лісові розсадники, а збір лісового насіння носить системний характер на площах із плюсовими насінєвими деревами.

Залежно від конкретних локальних умов, в першу чергу від родючості ґрунту та його тренованості, висаджують сіянці хвойних або твердолистяних деревних порід. Серед твердолистяних деревних порід перевага віддається дубу черешчатому, який становить майже 56,6% і буку лісовому (європейському), доля якого на заліснених площах становить понад 40%. Саме ці деревні породи і є переважаючими серед головних лісоутворюючих порід дерев. Сіянці хвойних деревних порід преставлекні переважно, сосною звичайною та ялиною.

Висаджування сіянців під час заліснення площ, відбувається після попередньої підготовки ґрунту, переважно часткової, смугової із застосуванням навісних ґрунтообробних знарядь, таких як культиватори та плуги. Безпосереднє садіння культур є процес частково механізований із застосуванням садильних машин типу МЛУ-1, але переважно вручну із застосуванням «меча Колесова». Висаджування культур вручну, однозначно забезпечує їх кращу приживлюваність на площі. До цього процесу часто залучаються учні старших класів найближчих доколійських сіл.

1.7. Заходи підвищення протипожежної безпеки

Організація заходів з попередження та боротьби з лісовими пожежами на підприємстві відпрацьована на високому рівні. Попереджувальні заходи направлені на зменшення ймовірності виникнення лісових пожеж і полягають в першу чергу в постійному інформуванні населення про небезпеку виникнення лісових пожеж. Регулярне поновлення протипожежних мінералізованих смуг в

лісових насадженнях також суттєво зменшує ймовірне виникнення лісових пожеж.

Постійне патрулювання лісових насаджень, в першу чергу хвойних, особливо в літньо-осінній період, також дає свої позитивні результати, особливо в місцях масового літнього відпочинку місцевого населення. Для цього в лісгоспі є штат із 15 осіб інспекторів з охорони лісів та шість патрульних груп, а в лісництвах розроблені оперативні плани гасіння лісових пожеж. Крім того, із жителів навколишніх населених пунктів сформовано 30 добровільних пожежних дружин, в складі яких нараховується більше 300 людей

Відповідно до існуючої шкали розподілу лісових насаджень за класами пожежної небезпеки, переважна більшість лісових насаджень підприємства відносяться до III класу пожежної безпеки. Найвищий коас пожежної небезпеки зберігається в тих лісництвах, а саме в Свіржському та Старосільському, де переважають хвойні лісові насадження.

Для безпосередньої боротьби з лісовими пожежами на підприємстві організована дозорно-сторожова служба та три опорні протипожежні пункти забезпечені відповідними технічними засобами гасіння лісових пожеж та пожежним інвентарем. Більш простими засобами гасіння забезпеченні всі лісництва підприємства.

1.8. Основні виробничі дані про роботу Львівського надлісництва Філії «Карпатський лісовий офіс» протягом 2025 року

Узагальнені показники виробничої діяльності господарства протягом певного періоду, необхідні для проведення необхідних проектних розрахунків пов'язаних із вдосконаленням технологічного процесу лісосічних робіт.

Таблиця 1.2 – Основні дані про організацію виробничого процесу лісосічних робіт у Львівському надлісництві за 2025 рік

Назва показника	Одиниця виміру	Значення
1	2	3

1. Загальний річний об'єм заготівлі деревини	м ³	150000,0
2. Рубки головного користування	м ³	88536,0
3. Рубки формування і оздоровлення лісів	м ³	61472,0
продовження таблиці 1.2		
1	2	3
5. Середній запас деревини на 1га:	м ³ /га	
- рубки головного користування	-//-	248,5
- рубки формування і оздоровлення лісів	-//-	36,8
6. Середній об'єм стовбура:	м ³	
- рубки головного користування	-//-	0,98
- рубки формування і оздоровлення лісів	-//-	0,35
7. Середній склад лісових насаджень		
- рубки головного користування	-	6С2Бк2Д
- рубки формування і оздоровлення лісів		4С4Бк2Д
8. Спосіб вивезення деревної сировини	-	сортименти.
9. Механізація лісозаготівельних робіт		
- рубки головного користування	%	58,0
...- рубки формування і оздоровлення лісів		32,0
10. Організація проведення рубок	-	малі комплекси бригади на базі МТЗ-82

1.9. Аналіз ситуації та формування техніко-технологічних пропозицій удосконалення поступових та вибіркового рубок

Діючі системи машин на основних лісосічних роботах у Львівському надлісництві, що використовуються приватними заготівельними бригадами не дозволяють можливості широкого маневру для зміни та впровадження більш сприятливих технологій для умов господарства. Крім того, суттєвий негативний відбиток в організацію робіт вносить майже повна відсутність в приватних лісозаготівельників фахових інженерних кадрів лісового господарства, які можуть оперативно реагувати на зміну виробничих умов.

Із зазначених вище даних про виробничий процес, можна відмітити як сильні так і слабкі його сторони. Так, наявність достатньої кількості сучасних бензиномоторних пилок, забезпечило можливість повної механізації операцій зрізання та обробки дерев. Сокири використовуються лише в якості допоміжного інструменту. Разом з тим не реалізовується тенденція формування парку інструментів однієї марки, що би суттєво покращило логістичні зв'язки з

їх технічним обслуговуванням та поточними ремонтами. Не доцільно також використовувати інструменти сумнівних виробників або тих, що мають негативну репутацію.

Слід відмітити, що для умов Львівського надлісництва, де проголодається плановий перехід під час виконання рубок головного користування, виключно на реалізацію поступової та вибіркової системи рубки, застосування бензиномоторних пилок для зрізання дерев і їх обробки аж до отримання сортиментів є прерогативним вибором.

Суттєвим недоліком є організація та механізація трелювання деревини. Використання не типової колісної техніки на всіх рубках, не дозволяє повною мірою чи навіть частково, реалізувати більш сучасні екологічно безпечні технології освоєння лісосік. Відсутність якісного технологічного устаткування до трелювальної техніки, призводить до необхідності застосування значного відсотку ручної праці, що негативно відображається на загальній продуктивності даної операції. Ці негативні сторони трелювальних робіт, потребують оновлення технічної бази та технології виконання.

Загальна концепція виконання лісосічних робіт в даному господарстві та рівнинні умови, сприяють широкому використанню наземних самохідних трелювальних засобів, першочергово колісних форвардерів легкої та середньої серії, які дозволяють переміщувати дерневіну в повністю завантаженому стані на вантажній платформі, а обладнання такої машини дозволяє механізувати не тільки безпосередні операції трелювання, але і багато допоміжних операцій для виконання яких на даний час використовуються інші механізми чи машини.

Запровадження в господарстві широкої реалізації поступової і вибіркової систем рубок головного користування та відмова від суцільної системи рубки, передбачає перехід до трелювання деревини під наметом лісу, де використання типової техніки обмежене. Такі умови трелювання є типовими і під час проведення рубок формування та оздоровлення лісів. Щоб забезпечити екологічні і лісівничі вимоги трелювального процесу в таких умовах, слід впроваджувати нові типи механізованих трелювальних засобів, що мають

менші габаритні розміри та відрізняються високою маневровістю, хоча і володіючи меншим корисним навантаженням. Звичайно, що такі трелювальні засоби в основному використовуватимуться, як доповнюючі до основних, таких як форвардер, хоча на рубках формування і оздоровлення можуть виступати в якості ведучого трелювального засобу.

Умови виконання, як головних так і рубок формування передбачають застосування в господарстві кінного трелювання. Однак, такий вид трелювання не може забезпечити всі об'єми виробництва, що викликає необхідність включення ще і механізованих малогабаритних засобів. Такими можуть бути міні трелювальні засоби повідкового типу на колісному чи гусеничному ході. Вони також матимуть місце у виробничому процесі як рубок головного користування так і рубок формування і оздоровлення насаджень.

1.10. Огляд літератури та наукових публікацій темою роботи

Ознайомлення з науковими публікаціями науковців, дозволяє прийняти шляхи подолання існуючих проблем на виробництві чи то, технічного чи технологічного характеру, а також виявити глибину дослідження проблеми.

Проблема екологічності процесу лісосічних робіт є однією з найбільш актуальних проблем, які піднімаються в наукових роботах. Цій проблематиці присвячено багато робіт як вітчизняних так і зарубіжних науковців. Зокрема слід виділити напрацювання науковців Національного лісотехнічного університету України, де працювали такі відомі особистості як професор Шкіря Т. М., академік Генсірук М. О., професори Плаксін М.О., Гузь М. М., доценти Литвинчук М. Л., Гомонай В. В. та ін. Досі плідно працюють в цьому напрямку доценти Кий В. В., Каратник І. Р., Громяк Ю. О. та ін. Головні проблеми, які піднімаються в їх наукових публікаціях стосуються шляхів зменшення негативних наслідків на лісове середовище в процесі проведення лісосічних робіт. Зокрема акцентується увага пошкодженню ґрунтів та лісової рослинності.

Подібні проблеми піднімаються в наукових роботах науковців близького та далекого зарубіжжя. Серед цих робіт, можна виділити ті, які стосуються нашого дослідження. Так, дослідженнями пошкодження дерев під час проведення рубок догляду займався автор роботи [14]. Тут показано залежності між кількістю дерев, що отримали механічні пошкодження і кількістю зрізаних на площі дерев. Також зроблено важливі висновки стосовно необхідної потужності трелювальних засобів під час проведення рубок догляду. Як зазначає автор, зазвичай на рубках догляду використовуються трелювальні механізми, потужність яких в кілька разів перевищує необхідну для трелювання деревини тому, від такої техніки завдається багато шкоди лісовому середовищу.

Часто з метою прогнозування кількості пошкоджених ростучих дерев на площі під час проведення рубок догляду, пропонується використовувати комп'ютерне моделювання [15]. Змінюючи різні входні чинники, можна моделювати різні ситуації і прогнозувати очікувані результати. Головними чинниками, які приймаються тут до уваги є кількість дерев на площі, інтенсивність зріджування, напрям звалювання дерев та ін. На виході можна отримати прогнозовану кількість дерев з механічними пошкодженнями та навіть важкість отриманих пошкоджень.

Переважаючи об'єми деревини під час проведення лісозаготівлі трелюють за допомогою наземних трелювальних засобів, а саме за допомогою трелювальних тракторів. В результаті застосування таких машин, значна шкода завдається лісовим ґрунтам, що і стало темою наукових робіт багатьох науковців [16]. В роботах за цією тематикою виконані дослідження впливу на опорну поверхню різних типів рушіїв трелювальних машин. Досліджуються наслідки застосування такої техніки в різних режимах роботи та з різними способами трелювання деревини

Під час проведення рубок догляду із застосуванням малогабаритних багатоопераційних машин, приходиться вирішувати проблему «доступності» відмічених в рубку дерев, а саме забезпечення можливості під'їзду до них [18]. Одним із шляхів розв'язку цієї проблеми автор пропонує обґрунтування

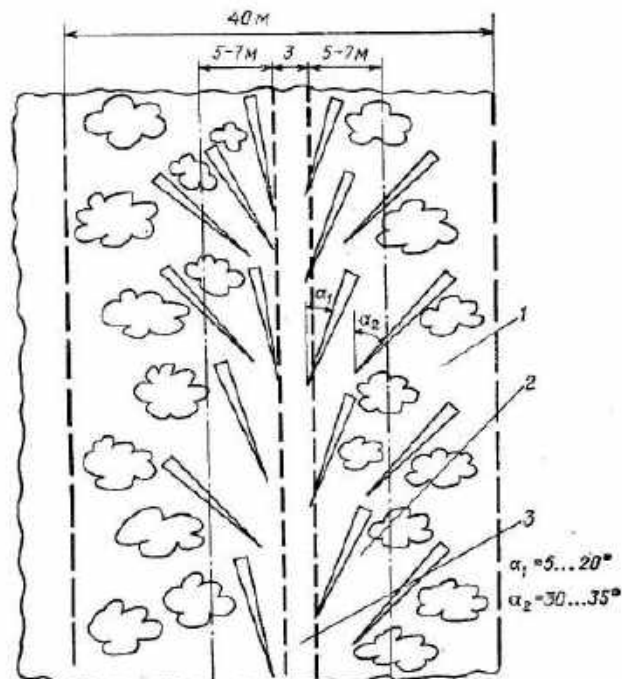
габаритних параметрів машини відповідно до характеристики лісового насадження.

1.11. Огляд технологій виконання різних рубок

Найбільш складними в технологічному плані, є проведення рубок догляду, через те, що предмет праці має невеликі розміри і масу, крім того, зрізування малих деревець виконується серед насадження, при цьому слід забезпечити уникнення пошкодження молодих ростучих дерев, які швидко травмуються.

Щоб уникнути таких негативних наслідків, пропонується перед залісненням площ, відразу влаштовувати необхідні технологічні коридори [3], якими переміщуватиметься техніка під час проведення певного виду доглядових рубок. Це дасть можливість забезпечити комплексну механізацію робіт протягом всього часу вирощування лісового насадження.

В лісових насадженнях як штучного так і природного походження, де попередня технологічна підготовка майбутньої площі молодого лісового насадження не була проведена під час проведення, зокрема рубок формування і оздоровлення лісів, застосовуються різні технології.



1 – крайні стрічки пасіки; 2 – стрічки, що прилягають до технологічного коридора; 3 – технологічний коридор.

Рисунок 1.1 – Розробка лісосіки за середньо пасічною технологією

Застосування середньо пасічної технології розробки лісосіки (рис.1.1) [3], передбачає розбивання пасіки на п'ять стрічок по обидві сторони від технологічного коридора.

Спочатку звалюють дерева на технологічному коридорі, ширина якого має бути мінімальною, не більше 3м, вершинами або відземками в напрямку трелювання, а потім зрізують і трелюють дерева на стрічках по чергово з однієї та іншої сторони.

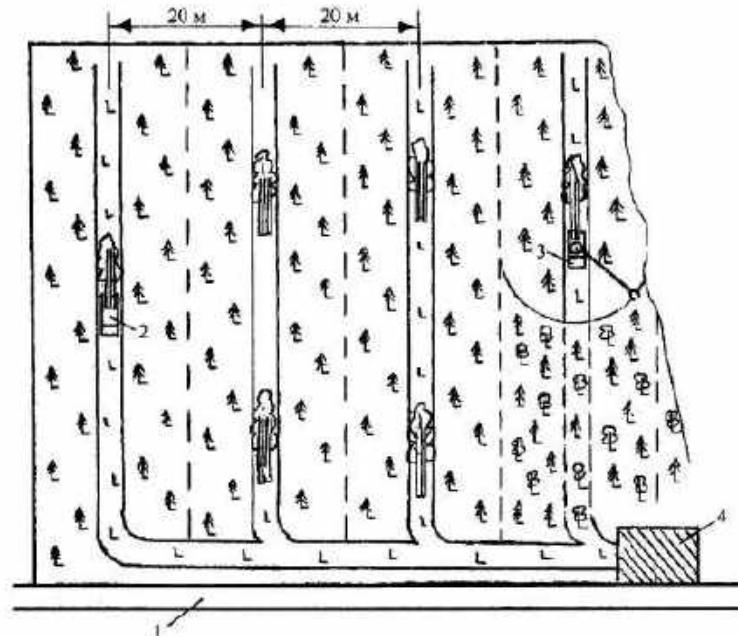
Щоб зменшити кількість пошкоджених ростучих дерев під час трелювання потрібно щоб кут примикання технологічних коридорів до магістрального волока та шляхів, становив не більше 30° 45° .

З метою зменшення необхідності будівництва великої кількості пасічних і магістральних волоків, пропонується широко пасічна технологія освоєння лісосік, зокрема для проведення рубок формування і оздоровлення лісових насаджень. Зростання ширини пасіки створює проблеми доступності виділених в рубку дерев для великогабаритної техніки. Тому, відбувається ускладнення процесу трелювання через необхідність транспортування лісоматеріалів від місця звалювання дерев до трелювального волока, яким рухається великогабаритна трелювальна техніка. Для цього процесу пропонується застосовувати тракторні лебідки або малогабаритні трелювальні засоби, що можуть переміщуватися в лісовому насадженні. Для можливості підтягування лісоматеріалів за допомогою лебідки, прокладають додаткові технологічні коридори перпендикулярно до трелювального волока або під кутом 30° 45° . Однак середня відстань підтягування лісоматеріалів не має перевищувати 80м.

Технологія розробки лісосік вузькими пасіками із застосуванням маніпуляторної трелювальної техніки або звалювально-трелювальної, передбачає поділ лісосіки на пасіки, ширина яких не перевищує подвійного вильоту маніпулятора машини (рис.1.2) [3].

По середині пасіки прокладається пасічний трелювальний волок, яким спочатку рухається звалювально-пакувальна машина, освоєючи пасіку з

однієї і другої сторони і складаючи пакети лісоматеріалів на трелювальний волок. За машиною, після освоєння площі лісосіки переміщується трелювальний трактор із пачковим захопом і трелюватиме пачки лісоматеріалів до верхнього складу.



1 – лісовозний вус; 2 – трелювальний трактор; 3 – звалювально-пакетувальна машина; 4 – навантажувальна площадка.

Рисунок 1.2 – Вузькопасічна технологія освоєння лісосіки

Стосовно схем освоєння лісосік головного користування за поступовою, вибірковою та комбінованою системами, а також під час проведення рубок формування і оздоровлення лісових насаджень, то тут застосовуються способи освоєння вузькими пасіками, пасіками середньої ширини та широкопасічним способом [15], [2], [16].

Технологія проведення рубки вузькими пасіками, передбачає поділ площі лісового насадження відведеного в рубку на пасіки шириною не більше 30м. Дане значення може змінюватися в ту чи іншу сторону, залежно від середньої висоти деревостану. По середині пасіки прокладається трелювальний волок або технологічний коридор для руху лісозаготівельної техніки. Така технологія рекомендується у випадку застосування маніпуляторної техніки, а саме для системи машин (харвестер+форвардер) або (бензиномоторна

пила+форвардер). Отже, ширина пів пасіки має бути такою щоб остання знаходилася в зоні дії маніпулятора харвестера і форвардера.

Цей спосіб забезпечує найбільш сприятливі умови застосування харвестерів з вильотом стріли 10м і більше. Переміщуючись по краях пасіки технологічними коридорами, забезпечується можливість обробки всіх дерев на пасіці, завдяки достатній досяжності маніпулятора. Недоліком є будівництво великої кількості технологічних коридорів. Враховуючи, що середня відстань дії маніпулятора не перевищує 10м, то ширина пасіки в середньому становить 20-25м. Збільшувати площу обслуговування можна за рахунок маневрування машини.

У випадку застосування системи (харвестер+форвардер), дерева зрізаються і обробляються робочими органами харвестера, а отримані після цього сортименти вкладають позаду машини на волок або обабіч нього. Після цього в роботу вступає форвардер, що виконує трелювання. В даному випадку, процес є повністю механізованим.

Якщо застосовується система машин (бензиномоторна пила+форвардер), то звалювання дерев на пів пасіках і їх первинна обробка виконується бензиномоторними пилами. Збір сортиментів з площі пасіки і подальше їх трелювання виконується за допомогою форвардера устаткування якого дозволяє повністю механізувати цей процес. В цьому випадку, не буде повної механізації процесу робіт на лісосіці.

Технологія освоєння лісосіки пасіками середньої ширини передбачає розмежування площі на пасіки шириною 35...50м. Збільшена ширина пасіки вимагає виконувати додатково розмежування пів пасік на стрічки шириною 10...15м. Розробка пасік має розпочинатися з освоєння стрічок, що знаходяться біля трелювального волока, а після зрідження деревостану на найближчих стрічках, переходять до освоєння наступних більш віддалених стрічок. Залежно від прийнятої системи машин, може відбуватися паралельне звалювання дерев з обох сторін на найближчих стрічках (у випадку застосування харвестера) або почергово.

Застосування харвестерів при цьому способі освоєння лісосіки вимагає додаткового маневрування між деревами на пасіці, що перекрити всю ширину пасіки. Для рубок головного користування із застосуванням харвестерів на лісосіках цей спосіб також придатний. Сучасні харвестери відрізняються високими маневровими характеристиками, що дає можливість переміщуватися в зрідженому лісовому насадженні.

З метою повної машинізації процесу основних робіт, доцільно на операції трелювання застосовувати форвардер.

Спосіб розробки лісосіки широкими пасіками, де ширина останніх зростає до 60...100м вважається найбільш досконалим. Максимально зберігається лісове середовище, а продуктивність лісових насаджень не зменшується внаслідок будівництва великої кількості технологічних коридорів і трелювальних волоків. Реалізація зазначеної технології передбачає виконання трелювання деревини в кілька етапів, а саме: спочатку лісоматеріали слід перемістити до головних трелювальних шляхів (трелювальних волоків), а після цього до навантажувальної площадки або верхнього складу. Зважаючи на різні умови, трелювальні засоби також мають бути різними. Для трелювання деревини в насадженні можуть бути застосовані міні скідери або коні з відповідним трелювальним устаткуванням, а для трелювання деревини по трелювальних волоках можна застосовувати більш потужну трелювальну техніку.

2. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНІКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОПОЗИЦІЙ УДОСКОНАЛЕННЯ ПОСТУПОВИХ ТА ВИБІРКОВИХ РУБОК У ЛЬВІВСЬКОМУ НАДЛІСНИЦТВІ

2.1. Перспективні об'єми лісосічних робіт на найближчий період

Безстрокова робота лісогосподарського підприємства передбачає стале користування лісовими ресурсами шляхом виконання господарських заходів для заготівлі деревини та відтворення лісових насаджень. Основними лісогосподарськими міроприємствами є проведення рубок, які мають за мету досягнення більш якісних показників лісового насадження з паралельним отриманням деревини. Об'єми таких рубок, які вимірюються об'ємами заготовленої деревини доцільно передбачати на перспективу найближчих десяти років, що дозволить планувати оновлення основних фондів, пов'язаних із основними лісосічними роботами.

Характеристика лісових насаджень підприємства, зокрема їх вікова характеристика, слугує хорошою основою прогнозування майбутніх об'ємів лісосічних робіт. Відповідно до останніх звітних матеріалів по Львівському надлісництві за 2024 рік, об'єми заготівлі деревини, отриманої внаслідок проведення головних рубок, склали 88 536м³. Такі об'єми виробництва, потребують задіювати досить значних виробничих потужностей, першочергово спеціальної лісової техніки. Крім зазначених рубок за минулий звітний період, було отримано 61 472м³ деревини в результаті виконання рубок формування і оздоровлення лісових насаджень, що загалом складає понад 150тис.м³ деревини за рік. Це не означає, що така цифра буде стабільною на тривалий період. В міру зростання віку лісових насаджень та вирубування стиглих і перестиглих насаджень, поступово змінюватимуться і об'єми заготівлі з привязкою до певного виду рубки.

На даний час, ліси надлісництва характеризуються значною часткою середньовікових та пристигаючих лісових насаджень, що певною мірою вплине на зростання об'ємів деревини від рубок головного користування. Однак зростання заготівлі деревини, може бути спровоковане санітарними рубками,

об'єми яких навіть на найближчий період передбачити досить важко. В певні роки, об'єми санітарних рубок могли складати левову частку рубок формування та оздоровлення лісів, через всихання насаджень на значних площах. Це потрібно враховувати під час встановлення проектних об'ємів заготівлі з метою регулювання необхідних виробничих потужностей, що закладатимуться в проект розроблення та організації лісосічних робіт.

На основі зазначеного, приходимо до висновку, що проекти основних лісосічних робіт слід закладати приблизно існуючі на даний час в надлісництві об'єми заготівлі, як по головних рубках, так і по рубках головного користування, тобто 89,0 тис.м³ та 62 тис.м³ відповідно. При цьому враховуючи таксаційні дані лісів, можна прийняти в розрахунок, що запас деревини на 1 га площі рубок головного користування, складає не менше 268,0 м³/га, а на рубках формування, цей показник не перевищує 36 м³/га. Іншим необхідним таксаційним показником є середній об'єм стовбура, який на перших рубках (головне користування) доцільно встановити 0,86 м³, а на рубках формування можна прийняти до розрахунку 0,34 м³. І зрештою породний склад лісів Львівського надлісництва не рівномірним і стабільним, однак найбільш характерними є насадження із формулою 6С2Бк2Д де проводяться рубки головного користування та із формулою 5С3Бк2Д на площах виконання рубок формування та оздоровлення лісових насаджень.

2.2. Головні пріоритети організації виробничого процесу лісосічних робіт та шляхи їх реалізації

Розроблення проекту лісосічних робіт повинне базуватися на визначених заздалегідь пріоритетах, які складатимуть основу проекту та матимуть наслідки в процесі реалізації на виробництві. Першим і головним в цьому є організація лісосічних робіт на засадах сталого лісокористування, що забезпечить безперервне, безстрокове користування лісовими ресурсами з отриманням деревної сировини та відновленням насаджень. При цьому слід зважати на те, що лісистість нашої країни не відповідає обґрунтованому

показнику тому, слід прагнути до поступового, але невпинного розширення площі лісових насаджень.

Лісосічні роботи пов'язані з безпосереднім вторгненням техніки в лісове середовище з усіма витікаючими наслідками при цьому. Відомо, що наслідки лісозаготівельного процесу виконаного без врахування вимог екології та лісівництва, проявляються на довгі роки, а в певних умовах призводять до непоправних результатів. Для виконання робіт в такому вразливому природному середовищі як ліс, екологічність технологічного процесу має займати пріоритетне місце. Це досягається вдало побудованою технологією робіт, використання наукових напрацювань та застосування відповідної техніки, що найповніше відповідає екологічним вимогам.

Неможливо організувати якісний виробничий процес без врахування останніх наукових напрацювань та практичних рекомендацій на їх основі. Науковий підхід до планування та практичної реалізації лісосічних робіт, дає поштовх до впровадження, удосконалення та розвитку сучасних технологій. Результати наукових напрацювань повинні слугувати основою для розробки проекту основних робіт на рубках, що виконуються в надлісництві.

Розвиток нових технологій має ґрунтуватися на енергозбереженні, якого у виробничому процесі лісосічних робіт можна досягнути шляхом оптимізації потужності лісових машин у відповідності до об'ємів робіт та величини технологічних навантажень на виконавчі органи. Перевикористання потужності, завжди призводить до зростання енергоємності виробництва. Для реалізації на практиці зазначеного положення, слід прагнути до впровадження у виробничий процес менш потужної техніки чи навіть широке використання легкої малогабаритної, якщо дозволяють умови. Такими умовами є до прикладу, рубки догляду з незначним середнім об'ємом стовбура.

Зменшення енергоємності виробництва не має відобразитися на рівні механізації робіт. Усунення людини від фізичного виконання певних операцій та широке впровадження механізмів і машин, забезпечить зростання як продуктивності так і безпеки робіт. В майбутньому, машинізація робіт в лісі

буде замінена роботизацією виробничих процесів з віддаленим керуванням оператором виконавчими машинами.

Все зростаючі потреби в деревині вимагають пошуку нових шляхів її збільшення без зростання об'ємів заготівлі, шляхом вирубування насаджень. Одним із напрямків часткового вирішення зазначеної проблеми є інтенсивне ведення лісового господарства, яке відображається в зростанні якості лісових насаджень та комплексна переробка і використання деревної сировини. Перробляння некондиційної деревини, залишків крон дерев та навіть кореневих систем дерев, дозволить отримати додаткові, суттєві об'єми деревної сировини.

Саме планування та організація робіт на лісосіці, впливають не тільки на безпеку виконання операцій, але і підвищують продуктивність відповідних технічних засобів і техніки. Одним із пріоритетних є потокова організація виробництва, коли в роботу вступають машини в певній послідовності в міру завершення попередньої технологічної операції.

2.3. Обґрунтування техніко-технологічних пропозицій удосконалення поступових і вибіркового рубок на основі природних та виробничих умов Львівського надлісництва

2.3.1 Аналіз прийнятних систем рубок та встановлення обґрунтованих розмірів лісосік

Існуючі системи рубок покликані забезпечувати баланс між технологією їх виконання та способами відновлення лісових насаджень. Не зважаючи на те, що лісові господарства переходять до освоєння лісосік головного користування виключно на основі поступових та вибіркового рубок, від суцільної системи рубки повністю відмовитися практично неможливо. Це впливає хоча б з того, що кожна система рубки рекомендована для певних природних та лісоексплуатаційних умов.

Вирішальним показником для застосування тої чи іншої системи є родючість ґрунту, що в свою чергу впливає на спосіб відновлення лісового насадження. Так, на площах із бідними піщаними ґрунтами немає змісту

застосовувати поступову систему рубки тому, що єдиним способом відновлення лісу на площі є штучне її заліснення, шляхом висаджування саджанців головної породи, якою в таких умовах є сосна звичайна. Ця порода є світлолюбною не любить затінку тому, саджанці доцільно висаджувати на попередньо підготовлену площу, провівши попередньо суцільну рубку головного користування. Без цієї системи рубки неможливо обійтися під час рубок переформатування та реконструкції лісових насаджень, а також під час проведення санітарних рубок в насадженнях пошкоджених на значній площі.

Решта систем рубок головного користування пропонуються для насаджень, що зростають на більш-менш родючих ґрунтах де можливе часткове відновлення насадження природним шляхом, а штучні методи відновлення застосовуються лише для доповнення прогалів в природному відновленні. Головними системами рубки в цьому випадку є поступова, вибіркова і комбінована, кожна з яких має свої переваги в певних умовах та насадженнях.

В одновікових, чистих лісових насадженнях очевидну перевагу в плані екологічності та реалізації заходів сприяння відновлення лісу матиме поступова система рубки, яка в залежності від системи лісосічних машин може бути рівномірно поступовою або смугово поступовою. Для машинної заготівлі деревини бажаною є смугово-поступова система рубки, коли дерева на площі вирубуються смугами, шириною не більше середньої висоти дерев в кілька заходів, а в проміжках між ними виконуються роботи з відновлення та формування молодого лісового насадження. При такій системі, повне вирубування дерев розтягується на роки.

У випадку застосування для зрізання дерев бензиномоторних пилок, краще реалізовувати рівномірно поступову систему за якої, виконується рівномірне проріджування насадження також в кілька прийомів, аж до повного зрізання всіх стиглих і перестиглих дерев на площі. Прийоми рубки повторюються в середньому через 3...4 роки і в цей період, проводяться роботи пов'язані із вирощуванням під наметом молодого насадження бажаного породного складу. Використовуються комбінований спосіб відновлення лісу,

коли неякісне природне відновлення доповнюється висаджуванням саджанців головних порід дерев для забезпечення бажаної повноти.

У змішаних лісових насадженнях або чистих різновікових насадженнях, рекомендована вибіркова система рубки. Суть цієї системи полягає у вирубуванні певної групи стиглих чи перестиглих дерев із залишенням на площі насадження, яке не досягнуло віку стиглості. На вирубках виконують роботи для відновлення насадження бажаної лісової породи чи породного складу, хоча бажано прагнути до формування одновікового насадження.

Зазвичай, в більшості лісоексплуатаційних умов, застосування тої чи іншої системи рубки в чистому вигляді є недоцільним в силу різних чинників. В таких умовах звертаються до комбінованої рубки, яка ґрунтується на перевагах як поступової так і вибіркової систем рубок. Рекомендована для площ, де є чисті одновікові та чисті різновікові дерева або чисті і змішані ліси.

Площа лісосіки для кожної системи рубки встановлюється відповідно до породного складу насадження та умов рельєфу. Така інформація подана у відповідних нормативних документах де в рівнинних лісах для поступової чи вибіркової системи рубки, є обмеження загальної площі лісосіки не більше 5га.

Розміри лісосік рубок формування та оздоровлення лісів, чітких обмежень не мають тому, їх варто встановлювати такими щоб сприяли ефективності роботи прийнятої системи машин. Тут доцільно застосовувати спосіб рубки широкими пасіками, де ширина пасіки перевищує 60м.

2.3.2 Технологія рубок та кількість лісосік

Досить значна загальна площа території Львівського надлісництва містить різні умови, що впливають на технологію виконання рубок. Визначальними для побудови технологічного процесу рубки є рельєф та рівень вологості ґрунтів, а із характеристики на садження – середній об'єм стовбура, який є предметом праці на лісосіці. При цьому, за основу приймаємо поступову та вибірково системи рубки головного користування.

Всі насадження господарства відносяться до рівнинних, однак є значні площі де умови виконання рубок можна назвати складними. В першу чергу, до таких площ відносяться ділянки із неглибоким заляганням ґрунтових вод, що провокує надмірну вологість ґрунту. На таких лісосіках, у випадку застосування самохідної техніки, слід проводити роботи для прокладання та укріплення трелювальних волоків, використовуючи для цього доступні матеріали, як наприклад, гілки та деревні рештки.

Лісосіки доцільно освоювати пасіками середньої ширини із зрізанням дерев на пасіках бензопилами. В цих умовах, слід деревину підтягувати до трелювальної машини, до прикладу, лебідкою. Таким чином, слід орієнтуватися на машини, які мають чокерне обладнання та володіють достатньою потужністю для трелювання деревини в стовбурах. Розкрязування стовбурів слід виконувати на площадці або на трелювальному волоку.

Для роботи на площах із сухими ґрунтами, трелювання деревини можна виконувати у вигляді сортиментів, використовуючи машини із технологічним обладнанням, яке включає вантажну платформу і маніпулятор. В цьому випадку також доцільно орієнтуватися на пасіки середньої ширини на яких буде виконуватися зрізання дерев, гілок і кряжування на сортименти за допомогою бензиномоторної пилки. Трелювальна машина в таких умовах може заглиблюватися на певну відстань в насадження, маневруючи між деревами.

В сухих ґрунтових умовах, можна застосовувати також технологію рубки, яка ґрунтується на технології широких пасік, ширина яких становить не менше 60м. За такої технології, процес трелювання слід розподіляти на кілька етапів. На першому етапі деревину трелюють із насадження до трелювальних шляхів. При цьому варто використовувати малогабаритні механізовані засоби, які можуть переміщуватися в завантаженому стані між деревами. В якості основного трелювального механізму слід використовувати машини, які повністю механізують процес і трелюють деревину в завантаженому стані.

Технологія освоєння лісосік рубок формування і оздоровлення, має ґрунтуватися на методі широких пасік. Трелювання деревини на таких рубках

варто виконувати виключно у сортиментах, а для їх трелювання використовувати лише малогабаритну техніку різних типів і портужності. В окремих випадках, слід використовувати спеціалізовані трелювальні машини для трелювання деревини в завантаженому стані.

Щоб розрахувати кількість лісосік, які необхідно розробити протягом року під час планового виконання рубок головного користування, використаємо прийнятту середню площу лісосіки і запас деревини на 1га, щоб встановити загальний запас на лісосіці:

$$Q_c^{РГК} = F_c^{РГК} M_c^{РГК} = 5,0 \times 268,0 = 1340,0 \text{ м}^3$$

На рубках формування та оздоровлення, де середня площа лісосіки прийнята 7га, а середній запас деревини на 1га не перевищує 36м³, загальний запас деревини на лісосіці складе:

$$Q_p^{РФ} = F_p^{РФ} M_p^{РФ} = 7,0 \times 36,0 = 252,0 \text{ м}^3$$

Використовуючи дані про річну заготівлю, можна розрахувати кількість лісосік, які слід розробити:

$$n = \frac{Q_p}{Q_l}, \text{ лісосік,}$$

де Q_p – об'єм деревини внаслідок реалізації планової річної заготівлі, відповідно до виду рубки, м³.

Під час виконання рубок головного користування, загальна кількість лісосік становитиме:

$$n_{РГК} = \frac{89000,0}{1340,0} \approx 67,0 \text{ лісосік}$$

Загальне число лісосік рубок формування, які слід освоїти за рік:

$$n_{РФО} = \frac{62000,0}{252,0} \approx 246,0 \text{ лісосік}$$

2.3.3 Системи машин для реалізації технологій рубок головного користування та рубок формування і оздоровлення насаджень

Машини задіяні в технологічному процесі мають забезпечувати отримання кінцевої продукції та враховувати виробничі і природні умови. Під час виконання рубок головного користування, є досить складні умови на значній площі, які потребують використання більш потужної спеціалізованої техніки. Це є ділянки з надмірною зволоженістю ґрунтів. В таких умовах для трелювання деревини, слід використати колісний трелювальний трактор типу ЛКТ-82, що має лебідку і може виконувати витягування деревини з пасіки до трелювального волока. Сама машина при цьому може перебувати на трелювальному волоку не заїжджаючи на пасіку.

Для виконання операцій, які передують трелюванню, а саме зрізання дерев, зрізання гілок і кряжування стовбурів на сортименти в даних умовах слід використати бензиномоторну пилку «STIHL MS – 362». При цьому нас лісосіці в комплексі слід виконувати операції зрізування дерев і зрізування гілок, а розкряжування стовбурів варто виконувати після їх трелювання на площадку. Таким чином, трелювання деревини в зазначених умовах буде виконуватися стовбурами, чркерним трактором.



Рисунок 2.1 – Форвардер **John Deere 810E** (фото із сайту виробника)

На лісосіках із сухими ґрунтами, трелювати деревину можна головним чином у сортиментах, що забезпечить кращі умови для трелювальних механізмів. Основною трелювальною одиницею на таких площах, слід вибрати форвардер середньої чи легкої серії, до прикладу **John Deere 810E** (рисунок 2.1). В якості допоміжних трелювальних засобів, які працюватимуть в лісовому насадженні, переміщуючи деревину до трелювального волока, можна використати міні мастер JONSERED 129 PRO (рисунок 2.2) та міні скідер IRON HORS PRO з колісною чи гусеничною ходовою частиною.



Рисунок 2.2 – колісний мінімастер JONSERED 129 PRO (фото із сайту виробника)

Під час проведення рубок формування та оздоровлення насаджень, головною трелювальною машиною слід вибрати форвардер легкої серії **John Deere 810E**, а допоміжними трелювальними засобами, які трелюватимуть деревину з насадження, приймемо міні мастер JONSERED 129 PRO та міні скідер на гусеничному ходу IRON HORS PRO за допомогою яких деревину переміщуватимуть з насадження на відстань від 50м до 100м в повністю завантаженому стані або в напів завантаженому стані. Така система трелювальної техніки застосовуватиметься в основному на рубках прорідження та прохідних рубках.

Для проведення рубок догляду в молодих лісових насадженнях, де об'єм стовбура в межах $0,3\text{м}^3$, деревину можна трелювати лише за допомогою малогабаритних механізованих засобів. При такому варіанті, головною трелювальною машиною буде міні мастер JONSERED 129 PRO, який працюватиме на трелювальних шляхах переміщуючи деревину в порвністю завантаженому стані. В насадженні головним чином працюватиме міні скідер IRON HORS PRO з метою концентрації деревини біля трелювального шляху.

Деревину під час проведення рубок формування і оздоровлення передбачається трелювати виключно у сортиментах, виконання операцій зрізання дерев і обробки їх до отримання сортиментів, планується виконувати бензиномоторною пилкою «STIHL MS – 362».

2.3.4 Планування робочого часу та змінних об'ємів заготівлі деревини на кожному виді рубки

Змінний об'єм заготівлі деревини встановлюється з метою виконання річного плану заготівлі. Таким чином даний показник напряму залежить від річної кількості робочих днів, яка може змінюватися за певних умов, однак для розрахунку використовується формула, суть якої зводиться до вилучення із загальної тривалості року в днях, загальну кількість неробочих днів. При цьому, загальна кількість неробочих днів включає офіційні вихідні, святкові вихідні дні та ту кількість днів, що вважаються несприятливими для виконання робіт на лісосіках. Таким чином, вираз загальної кількості робочих днів буде:

$$N = A - B - C - H, \text{днів}$$

Щоб визначити кількість вихідних днів, попередньо приймемо, що тиждень міститиме п'ять робочих днів із двома вихідними днями, а загальну кількість вимушених неробочих днів приймемо чотири.

$$N = 365 - 104 - 7 - 4 = 250 \text{днів}$$

Також приймемо, що роботи на лісосіках всіх рубок, виконуватимуться виключно в одну робочу зміну, це означає, що добовий об'єм заготівлі деревини відповідатиме змінному.

$$Q_{Д} = \frac{Q_{Р}}{N \times Z}, \text{ м}^3 / \text{добу},$$

де $Q_{Р}$ – річний об'єм заготівлі деревини, що відповідає виду рубки, м^3 ;

Z – встановлена змінність робочого дня, зм.

Таким чином, якщо скористатися даними звітних матеріалів по Львівському над лісництву за останній рік, то заготівля деревини за зміну під час виконання рубок головного користування має складати не менше як:

$$Q_{Д} = \frac{Q_{Р}^{РГК}}{N} = \frac{89000,0}{250,0} = 356,0 \text{ м}^3 / \text{добу}$$

Таким же способом, розрахуємо мінімальний об'єм деревини, яка має заготовлятися за зміну на площах рубок формування і оздоровлення лісових насаджень:

$$Q_{Д} = \frac{Q_{Р}^{РФОЛ}}{N} = \frac{62000,0}{250,0} = 248,0 \text{ м}^3 / \text{добу}$$

Ці розрахункові значення змінної заготівлі деревини будуть використані під час формування лісозаготівельних бригад.

2.3.5 Розрахунки проективної продуктивності машин і технічних засобів в умовах Львівського надлісництва

На початкових операціях технологічного процесу лісосічних робіт, першою з яких є зрізання дерев на площі, використано бензиномоторну пилку «STIHL MS 362», розрахункова продуктивність якої подається формулою:

$$П = \frac{T \times C_t \times q_{cm}}{t} \text{ Equation.3 , м}^3$$

де T – тривалість робочої зміни, виражена у відповідних часових одиницях вимірювання, с;

C_t – коефіцієнт використання інструменту, протягом зміни на виконання корисної роботи, процесу зрізання дерев;

t – повний технологічний час зрізування дерева, отриманий розрахунковим шляхом, с;

Q_{cm} – встановлений середній об'єм дерева на відведених в рубку головного користування чи іншу рубку площах, m^3 .

$$t = t_1 + t_2 + t_3 + t_4$$

де t_1 – час, що затрачається на переходи звалювальника із інструментом з прив'язкою до одного дерева, с;

t_2 – час виконання технологічної операції з підрізання стовбура в місці його зрізання, с.

$$t_2 = \frac{2F_{II}}{P_{II}C_{II}}, c,$$

де F_{II} – розрахована площа пропилу деревини під час формування підрізу стовбура відповідної форми, cm^2 ;

P_{II} – значення технічного показника продуктивності чистого пиляння механізованого інструменту, бензопили «STIHL MS 362», m^2/c ;

C_{II} – коефіцієнт повноти використання продуктивності чистого пиляння апарату бензопили в процесі виконання підрізання стовбура та наступного його зрізання, $C_{II} = 0,55$

$$F_{II} \gg \frac{1}{3} \frac{\rho d_K^2}{4}, m^2, d_K = C_K \times d_0, m,$$

де d_K – діаметр стовбура у вибраному місці виконання основного пропилу, м;

C_K – встановлений таксаційний коефіцієнт, що показує зміну діаметру стовбура від відземка до його вершини на довжині 1м;

d_0 – характерний діаметр стовбура ростучого дерева на висоті 1,3м від рівня ґрунтової поверхні, м.

Щоб отримати розрахункові значення приведених вище виразів, скористаємося даними таксаційного опису насаджень на площі, яка відведена в рубку головного користування. До прикладу, щоб отримати розрахункове значення діаметру в місці виконання головного різу, використаємо дані про середній об'єм та висоту дерев на площі:

$$\text{Equation.3} \quad d_0 = 1,25 \sqrt{\frac{q_{cm}}{L_{cm}}} = 1,25 \sqrt{\frac{0,86}{17,0}} = 0,28 \text{ Equation.3 м}$$

$$d_k = C_k \times d_0 = 1,2 \times 0,28 = 0,34 \text{ м,}$$

відповідно до цього, вся площа пропилу на виконання підрізання дерева та час виконання підрізання становитимуть:

$$F_{II} \approx \frac{1}{3} \rho d_k^2 = \frac{1 \times 3,14 \times 0,34^2}{3 \times 4} = 0,03 \text{ м}^2,$$

$$t_2 = \frac{2F_{II}}{II C_{II}} = \frac{2 \times 0,03}{0,017 \times 0,55} = 7,0 \text{ с}$$

t_3 – технологічна зупинка на огляд стовбура та перехід від виконання підрізу до виконання основного різу для зрізання дерева, с;

t_4 – тривалість поперечного пиляння стовбура під час виконання основного пропилу в процесі зрізання дерева, с.

$$t_4 = \frac{\rho d_k^2 - F_{II} - F_H}{II C_{II}} = \frac{3,14 \times 0,34^2 - 0,03 - 0,005}{4 \times 0,012 \times 0,55} = 9 \text{ с}$$

де F_H – технологічна площа цілісної деревини, що залишається на зрізіння з умови техніки безпеки, м².

Загальна розрахункова тривалість процесу зрізання дерева на рубках головного користування, складатиметься із суми розрахункових значень кожної із основних технологічних операцій, що в підсумку становитиме:

$$t = 60,0 + 7,0 + 10,0 + 9,0 = 86,0 \text{ с}$$

Отриманий кінцевий результат свідчить, про роботу інструменту в більш ідеальних умовах в порівнянні з реальними на лісосіці.

Враховуючи це, для розрахунку продуктивності, скористаємося нормативним значенням 120с і тоді розрахункова продуктивність складе:

$$\Pi = \frac{T \times C_t \times q_{cm}}{t} = \frac{28800 \times 0,25 \times 0,86}{120,0} = 51,6 \text{ м}^3 / \text{зм Equation.3}$$

Під час розрахунку продуктивності безиноторної пилки «STIHL MS - 362» на звалюванні дерев під час проведення рубок формування і оздоровлення насаджень, використаємо ті ж самі вирази та залежності, але при цьому врахуємо характеристику дерев та особливості умов рубки.

$$d_0 = 1,25 \sqrt{\frac{q_{cm}}{L_{cm}}} = 1,25 \sqrt{\frac{0,34}{15,0}} = 0,22 \text{ Equation.3 м}$$

$$d_k = C_k d_0 = 1,2 \times 0,22 = 0,28 \text{ м}$$

$$F_{\Pi} \gg \frac{1}{3} \frac{\rho d_k^2}{4} = \frac{18,14 \times 0,28^2}{3 \times 4} = 0,02 \text{ м}^2,$$

$$t_2 = \frac{2F_{\Pi}}{\Pi_{\Pi} \times C_{\Pi}} = \frac{2 \times 0,02}{0,012 \times 0,55} = 7,0 \text{ с}$$

$$t_4 = \frac{\frac{\rho d_k^2}{4} - F_{\Pi} - F_H}{\Pi_{\Pi} C_{\Pi}} = \frac{\frac{3,14 \times 0,28^2}{4} - 0,02 - 0,005}{0,012 \times 0,55} = 6,0 \text{ с}$$

$$t = 60,0 + 7,0 + 10,0 + 6,0 = 83,0 \text{ с}$$

Спираючись на технологічні особливості рубок формування і оздоровлення насаджень, де середній діаметр стовбура на висоті 1,3м є суттєво меншим, як на рубках головного користування, однак відстані переміщення по площі є значно більшими, як і складність звалювання дерев, тому загальну тривалість зрізання дерева також збільшимо до нормативного значення:

$$\Pi = \frac{T \times C_t \times q_{cm}}{t} = \frac{28800 \times 0,25 \times 0,34}{120,0} = 20,4 \text{ м}^3 / \text{зм Equation.3}$$

В комплексі технологічних операцій, які виконуються бензопилою «STIHL MS – 362» з метою попередньої обробки зрізаного дерева, першою є операція зрізання гілок, яка виконуватиметься лише на лісосіці не залежно від

виду рубки. Розрахункову продуктивність інструменту на цій операції визначатимемо на основі виведеної залежності:

$$\Pi = \frac{T \times C_1 \times \lambda I_{II} \times q_{cm}}{f}, \text{ м}^3/\text{зм}$$

де f – вся площа зрізу при основі гілок, що формується в результаті очищення від гілок одного дерева, м².

Для отримання розрахункового значення продуктивності бензопили «STIHL MS – 362» на операції зрізання гілок із повалених дерев на рубках головного користування, використаємо відповідні дані лісового насадження нас відведених в рубку площах та технічні показники інструменту:

$$\Pi = \frac{T \times C_1 \times \lambda I_{II} \times q_{cm}}{f} = \frac{28800 \times 0,1 \times 0,01 \times 0,86}{0,16} = 154,8 \text{ Equation.3 м}^3/\text{зм}$$

Розрахункове значення інструменту «STIHL MS – 362» на аналогічній операції в умовах проведення рубок формування і оздоровлення лісів із врахуванням даних про лісоексплуатаційні умови та насадження, буде:

$$\Pi = \frac{T \times C_1 \times \lambda I_{II} \times q_{cm}}{f} = \frac{28800 \times 0,15 \times 0,01 \times 0,34}{0,16} = 91,8 \text{ м}^3/\text{зм}$$

Розкрязування стовбурів на сортименти під час виконання рубок головного користування, виконуватиметься головним чином на площадці чи на проміжному складі або в місці тимчасового складування деревини, також дензиномоторною пилкою «STIHL MS – 362». Для отримання розрахункової продуктивності інструменту відповідно до умов експлуатації, скористаємося виразом продуктивності:

$$\Pi_{зм} = \frac{T \times C_1 \times q_{cm}}{T_u} \text{ Equation.3,}$$

де T_u Equation.3 – вся тривалість циклу розкрязування стовбура, враховуючи його об'ємно-геометричні характеристики, а також параметри сортиментів, що отримуються в результаті крязування.

$$T_{\text{ц}} = \frac{0,8 \times n \times \rho \times d_{\text{ср}}^2}{4\Pi_{\text{ч.р}}},$$

де n – розрахункове число технологічних пропилів на стовбурі, враховуючи і допоміжні пропили;

$d_{\text{ср}}$ – середньо арифметичне значення висоти пропилів під час розкряжування стовбура та виконання допоміжних пропилів, м.

Розрахунок тривалості технологічного циклу розкряжування стовбура, виконуємо на основі даних таксаційної характеристики насадження, що для рубок головного користування становитиме:

$$T_{\text{ц}} = \frac{0,8 \times 6 \times 3,14 \times 0,26^2}{4 \times 0,01} = 22\text{с},$$

На основі даних про насадження на площі рубок формування та оздоровлення лісів і характеристики кінцевої продукції, тривалість технологічного циклу кряжування становитиме:

$$T_{\text{ц}} = \frac{0,8 \times 6 \times 3,14 \times 0,22^2}{4 \times 0,01} = 16,0\text{с}.$$

Отримані розрахункові значення, головним чином, відображають лише час на безпосереднє пиляння деревини і не виражають достатньо повно час технологічних переміщень та інші витрати, тому збільшимо тривалість технологічного циклу і тоді продуктивність розрахункова на рубках головного користування, матиме близьке до реального значення:

$$\Pi_{\text{зм}} = \frac{28800 \times 0,25 \times 0,86}{90,0} = 68,8\text{м}^3 / \text{зм Equation.3}$$

Так же само поступаємо, щоб отримати розрахункову продуктивність інструменту «STIHL MS – 362» на операції розкряжування в процесі проведення рубок формування і оздоровлення. При цьому враховуємо, що операція виконуватиметься виключно на лісосічці в місці напрямленого падіння дерева :

$$P_{zm} = \frac{28800 \times 0,25 \times 0,34}{80,0} = 30,6 \text{ Equation.3 } m^3/zm.$$

Прогресивні шляхи організації технологічного процесу лісосічних робіт, передбачають уникнення перенасичення виробничої ділянки технологічною технікою і людьми. З цією метою, широко використовують комплексне використання інструменту чи машини на кількох операціях. В першу чергу це стосується інструментів, таких як бензиномоторна пила. Так, на рубках головного користування де основним способом трелювання деревини є стовбури, бензопилою в комплексі доцільно виконувати зрізання дерев і очищення їх від гілок. Для розрахунку, скористаємося відповідними розрахунковими продуктивностями:

$$P_K = \frac{P_{ЗВ} \times I_{ЗР}}{P_{ЗВ} + P_{ЗР}}, m^3 / zm$$

$$P_K = \frac{51,6 \times 54,8}{51,6 + 154,8} = 38,7 m^3 / zm$$

У випадку трелювання в сортиментах, комплексна продуктивність інструменту на рубках головного користування буде:

$$P_K = \frac{P_{ЗВ} \times I_{ЗР} \times I_{КР}}{P_{ЗВ} \times I_{ЗР} + P_{ЗВ} \times I_{КР} + P_{КР} \times I_{ЗР}}, m^3 / zm$$

$$P_K = \frac{51,6 \times 54,8 \times 68,8}{51,6 \times 54,8 + 51,6 \times 68,8 + 154,8 \times 68,8} = 24,8 m^3 / zm$$

У фокусі виконання рубок формування та оздоровлення лісів, зрізання дерев з операціями зрізання гілок і розкрязування стовбурів, виконуються виключно на лісосіці, тоді комплексна продуктивність матиме таке значення:

$$P_K = \frac{20,4 \times 1,8 \times 30,6}{20,4 \times 1,8 + 20,4 \times 30,6 + 91,8 \times 30,6} = 10,8 m^3 / zm$$

Для механізації трелювання деревини під час проведення рубок головного користування, використовуватиметься спеціалізована колісна трелювальна машина LKT-130ITL. Дана машина може трелювати деревину у

стовбурах, працюючи як скідер або перевозячи деревину на платформі під час роботи в режимі форвардера.

Коли машина працює як скідер, її продуктивність за зміну, розраховується з умови роботи у чокерному варіанті:

$$\Pi_{3M} = \frac{(288000 - t_{nz}) \cdot c_t \cdot V_n}{\sum_{i=1}^4 t_i},$$

де t_{nz} – тривалість робіт з технічного огляду машини та її підготовки до робочого стану, що входять в загальну тривалість зміни, с;

c_t – коефіцієнт використання машинного часу, що виражає насиченість робочої зміни корисною роботою;

V_n – корисний об'єм вантажу у вигляді деревини, який відповідає технічним можливостям машини в режимі скідера, м³;

t_1, t_2 – час на трелювання деревини та рух машини без вантажу в процесі одного циклу з врахуванням середньої відстані, с;

t_3 – тривалість формування пакету деревини та його завантаження і закріплення використовуючи лебідку, під час роботи в режимі скідера, с;

t_4 – час розвантаження пакету деревини та виконання маневрування і розвороту машини, с.

$$t_1 = \frac{l_{cp}}{v_x}; \quad t_2 = \frac{l_{cp}}{v_g},$$

де v_g, v_x – робочі швидкості руху трелювальної машини в режимі скідера чи форвардера під час роботи на лісосіці, з вантажем чи без вантажу відповідно, м/с;

l_{cp} – середня відстань трелювання деревини не залежно від режиму роботи трелювальної машини, м;

Під час встановлення середньої відстані трелювання деревини, слід брати до уваги не тільки шлях, який проходить машина лісосікою але і шлях, що долає машина для доставки деревини на площадку, яка за складних умов може розміщуватися на відстані до 1км від лісосіки, тому:

$$t_1 = \frac{270,0+350,0}{2,0} = 310,0 \text{ с}; \quad t_2 = \frac{270,0+350,0}{2,7} = 230,0 \text{ с.}$$

Під час розрахунку об'єму деревини для завантаження машини, візьмемо до уваги технічні дані її трелювального обладнання, зокрема лебідки та врахуємо породний склад щоб встановити реальну щільність деревини:

$$V_n = \frac{Q_n}{\gamma},$$

де Q_n – робоче тягове зусилля на барабані лебідки трелювальної машини, згідно технічних даних, т;

γ – прийнята щільність деревини із врахуванням породи дерев на лісосіці рубок головного користування, т/м³;

$$V_n = \frac{10,0}{0,75} \approx 13,5 \text{ м}^3$$

З метою встановлення кількості стовбурів в об'ємі пачки деревини, яка трелюється під час роботи машини, використаємо значення середнього об'єму стовбура розрахунковий об'єм пачки:

$$n = \frac{V_n}{q_{cm}},$$

$$n = \frac{13,5}{0,86} \approx 16,0 \text{ стовбурів}$$

$$t_3 = n \times t_\delta,$$

де t_δ – питомий час формування пачки деревини, під час роботи трелювальної машини в режимі скідера використовуючи для роботи чокерне обладнання, с/ст.

$$t_3 = 16,0 \times 20,0 = 1920,0 \text{ с}$$

Розрахунковий час, необхідний для розвантаження машини під час роботи в режимі скідера, прийmemo на основі рекомендаційно-нормативних даних в розмірі 250,0с на рейс.

На основі виконаних розрахунків окремих операцій, можна встановити розрахункову продуктивність машини LKT-130ITL на головних рубках, яка використовується в режимі скідера:

$$P_{зм} = \frac{(28800 - 2400) \times 0,75 \times 3,5}{350,0 + 250,0 + 2000,0 + 250,0} = 93,8 \text{ м}^3/\text{зм}$$

Для роботи в режимі форвардера, машина LKT-130ITL комплектується причепом з робочою вантажопідемністю 10т або 14т. В такому режимі, деревину треляють зазвичай в сортиментах, а враховуючи не прості умови роботи, прийmemo в розрахунок причеп з вантажопідемністю в 10т.

$$P_{род} = \frac{(T - t_{н.з.}) \times \xi_t \times Q_n}{T_{ц}}$$

де Q_n – робоче навантаження на причеп в об'єм деревини, яка відтворює масу вантажу та становить із попередніх розрахунків 13,5, м³;

$T_{ц}$ – тривалість робочого циклу машини LKT-130ITL, яка використовується в режимі форвардера на рубках головного користування, с.

$$T_{ц} = t_1 \frac{Q}{q_c} + t_2 + t_3 + t_4 \frac{Q}{q_c} + t_5 + t_6,$$

де t_1 – сумарний технологічний час завантаження лісоматеріалу на причеп машини, використовуючи її маніпулятор, с;

q_c – розрахунковий об'єм лісоматеріалу у вигляді сортименту, м³;

t_2 – розрахунковий час на переміщення машини LKT-130ITL з деревиною, якк працює в режимі форвардера, с;

t_3 – час виконання маневрування машиною та розвороти під час розвантаження деревини, с;

t_4 – питомий розрахунковий технологічний час розвантаження вантажної платформи машини, використовуючи її маніпулятор, с/сорт.;

t_5 – тривалість руху машини LKT-130ITL в розвантаженому стані з допустимою робочою швидкістю, с;

t_6 – загальний технологічний час на збирання сортиментів на площі лісосіки в об'ємі рейсового навантаження, с.

$$t_2 = \frac{l_{cp}}{u_v}; \quad t_5 = \frac{l_{cp}}{u_x}.$$

де l_{cp} – розрахункова середня відстань роботи машини LKT-130ITL на лісосіці, враховуючи вивезення деревини до автомобільної дороги, м;

u_x, u_v – рекомендовані робочі швидкості машини LKT-130ITL холостого та вантажного напрямків руху в умовах лісосіки, м/с.

$$t_2 = \frac{500}{2,0} = 250c; \quad t_5 = \frac{500}{4,0} = 125c$$

$$T_{ц} = 15 \times \frac{13,5}{0,25} + 250 + 120 + 15 \times \frac{13,5}{0,25} + 125,0 + 950 = 3065,0c$$

$$P_{зм} = \frac{(28800 - 2400) \times 0,75 \times 3,5}{3065,0} = 87,2 \text{ м}^3/\text{зм}$$

Зважаючи на те, що машина LKT-130ITL працюватиме в різних режимах на рубках головного користування, навіть впродовж однієї робочої зміни, доцільно розрахувати її комплексну продуктивність:

$$P_{KT} = \frac{2(P_{CK} \times P_{\Phi})}{P_{CK} + P_{\Phi}},$$

$$P_{KT} = \frac{2(93,8 \times 87,2)}{93,8 + 87,2} = 90,4 \text{ м}^3 / \text{зм}$$

Іншим трелювальним механізмом на поступових та вибіркових рубках головного користування буде форвардер легкої серії **John Deere 810E**, який використовуватиметься на лісосіках із сухими ґрунтами для трелювання

деревини з можливістю руху під наметом лісу в процесі підбирання і завантаження сортиментів на платформу. Розрахунок продуктивності цієї машини, виконаємо за вище приведеною методикою враховуючи, що корисний об'єм деревини на причепі форвардера становитиме в середньому 10 м^3 .

$$P_{\text{сод}} = \frac{(T - t_{\text{н.з.}}) \cdot \mathcal{K}_t \cdot Q_n}{T_{\text{ц}}},$$

$$T_{\text{ц}} = t_1 \frac{Q}{q_c} + t_2 + t_3 + t_4 \frac{Q}{q_c} + t_5 + t_6,$$

$$Q_n = \frac{7,0}{0,65} \approx 11,0 \text{ м}^3$$

$$t_2 = \frac{l_{\text{ср.}}}{u_{\text{в}}}; \quad t_5 = \frac{l_{\text{ср.}}}{u_{\text{х}}}.$$

$$t_2 = \frac{750}{2,3} \approx 327\text{с}; \quad t_5 = \frac{750}{3,5} \approx 215\text{с}$$

$$T_{\text{ц}} = 12 \times \frac{11,0}{0,15} + 327 + 120 + 12 \times \frac{11,0}{0,15} + 215 + 900 = 3322,0\text{с}$$

$$P_{\text{зм}} = \frac{(28800 - 2400) \cdot 0,75 \cdot 1,0}{3322,0} = 65,6 \text{ м}^3/\text{зм}$$

Під час виконання рубок формування та оздоровлення лісів, використовуватиметься виключно малогабаритна лісова техніка, зокрема, ведучою трелювальною одиницею на цих рубках буде міні мастер, який працюватиме як міні форвардер з максимальним корисним навантаженням деревини на платформі в об'ємі $4,0\text{ м}^3$. Відповідно, продуктивність міні мастера розрахуємо за методикою розрахунку продуктивності форвардера:

$$P_{\text{зм}} = \frac{(T - t_{\text{н.з.}}) \cdot \mathcal{K}_t \cdot Q_n}{T_{\text{ц}}},$$

$$T_{\text{ц}} = t_1 \frac{Q}{q_c} + t_2 + t_3 + t_4 \frac{Q}{q_c} + t_5 + t_6,$$

$$t_2 = \frac{l_{\text{ср.}}}{u_{\text{в}}}; \quad t_5 = \frac{l_{\text{ср.}}}{u_{\text{х}}}.$$

$$t_2 = \frac{340}{1,7} = 200c; \quad t_5 = \frac{340}{2,0} = 170c$$

$$T_{\text{ч}} = 7 \times \frac{4,0}{0,1} + 200 + 155 + 7 \times \frac{4,0}{0,1} + 170,0 + 300 \approx 1385,0c$$

$$P_{\text{зм}} = \frac{(28800 - 2400) \times 0,75 \times 4,0}{1385,0} = 57,2 \text{ м}^3/\text{зм}$$

Під час трелювання деревини в кілька етапів, що можливо в складних умовах рубок головного користування, а також на лісосіках рубок формування і оздоровлення лісів, використовуватиметься міні скідер IRON HORSE PRO для трелювання деревини в напів завантаженому стані. Враховуючи технологію його застосування, розрахункова продуктивність виражатиметься формулою:

$$P_{\text{зм}} = \frac{(T - t_{\text{зм}}) \times Q}{\dot{a} t} \times \text{Equation.3} \text{ м}^3,$$

$$\dot{a} t = t_1 + t_2 + t_3 \text{ Equation.3, c,}$$

де Q – корисне навантаження у вигляді деревини певного об'єму, м^3 ;

t_1 – загальна тривалість часу переміщення міні скідера лісосікою в процесі виконання одного робочого циклу трелювання деревини, с;

t_2 – час завантаження деревини в об'ємі рейсового навантаження, с;

t_3 – час на розвантаження деревини та супутнє маневрування, с.

$$t_1 = \frac{2l_{\text{сер}}}{V_{\text{сп}}}, \text{ c,}$$

$l_{\text{сер}}$ – середня розрахована відстань переміщення скідера під час трелювання деревини на основі технології освоєння лісосіки, м;

$V_{\text{сп}}$ – середня робоча швидкість переміщення міні скідера в процесі виконання робочого циклу трелювання, м/с;

$$t_1 = \frac{2 \times 50,0}{0,9} \approx 111,1 \text{ c}$$

$$t_2 = t_0 \times n,$$

де t_0 – нормативний час завантаження лісоматеріалу, с;

n – кількість лісоматеріалів, яка відповідає корисному навантаженню на міні скідер, шт..

$$n = \frac{Q_n}{q_s},$$

$$n = \frac{2,0}{0,25} = 8 \text{ од.}$$

$$t_2 = 90 \times 8 = 720 \text{ с.}$$

Враховуючи те, що даний трелювальний засіб керується за допомогою виносної штанги робітником, що йде пішки поряд, то коефіцієнт використання робочого часу зміни буде нижчим, що і слід відобразити у формулі розрахункової продуктивності:

$$H_{ав} = \frac{(28800 - 2400) \times 0,55}{200 + 750 + 150} \times 0,5 = 19,8 \text{ Equation.3 } \text{ м}^3/\text{зм}$$

Отримані розрахунковим шляхом продуктивності машин, слугують підставою розрахунку кількості техніки та працівників для формування бригад задіяних на основних лісосічних роботах в процесі рубок, які виконуються у Львівському надлісництві (табл. 2.1).

Таблиця 2.1 – Відомість розрахункової кількості техніки та загальної чисельності робітників на основних роботах у Львівському надлісництві

Назва операцій	Марки машин і обладнання	Змін. завдання, м ³	Змін. продуктивність, м ³	К-сть робітників на 1 мех. чол	Розрахункова к-сть		Прийнята к - сть	
					машин	робітників	машин	робітників
1	2	3	4	5	6	7	8	9
ПОСТУПОВІ РУБКИ ГОЛОВНОГО КОРИСТУВАННЯ								
Звалювання дерев і зрізання гілок	STIHL MS 362	178,0	38,7	1,0	4,6	4,6	5,0	5,0
Трелювання стовбурів	LKT – 130ITL	178,0	88,9	4,0	2,0	8,0	2,0	8,0
Кряжування стовбурів	STIHL MS 362	178,0	68,8	1,0	2,6	2,6	3,0	3,0
Звалювання дерев, зрізання гілок і кряжування	STIHL MS 362	178,0	24,8	1,0	7,2	7,2	7,0	7,0
Трелювання сортиментів	John Deere 810E	178,0	65,6	1,0	2,7	2,7	3,0	3,0
Разом:	-	-	-	-	-	-	20,0	26,0
РУБКИ ФОРМУВАННЯ І ОЗДОРОВЛЕННЯ ЛІСІВ								
Звалювання дерев, зрізання гілок і кряжування	STIHL MS 362	248,0	10,8	1,0	22,9	22,9	23,0	23,0
Підтрелювання сортиментів	IRON HORS PRO	124,0	19,8	1,0	6,3	6,3	7,0	7,0
Трелювання сортиментів	JONSER ED 129 PRO	248,0	57,2	1,0	4,3	4,3	4,0	4,0
Разом:	-	-	-	-	-	-	34,0	34,0
Всього:	-	-	-	-	-	-	54,0	60,0

Грунтуючись на отриманих результатах проектування основних лісосічних робіт, можна стверджувати, що для виконання планового річного об'єму по рубках головного користування у Львівському надлісництві, необхідно створити п'ять комплексних лісозаготівельних бригад на базі двох ведучих трелювальних машин LKT – 130ITL та John Deere 810E.

Для виконання річного об'єму рубок формування та оздоровлення лісів, слід організувати чотири комплексні лісозаготівельні бригади на базі колісних міні мастерів і міні скідерів, тобто залучаючи виключно малогабаритні засоби.

2.4. Розрахунок об'єму деревної маси, яку можна отримати шляхом переробки лісосічних залишків

Одним із принципів організації лісозаготівельного процесу у Львівському надлісництві, було закладено забезпечення повної і комплексної переробки деревини в процесі рубок. Такий підхід є корисним як з лісівничо-екологічної точки зору, так і з економічної точки зору, забезпечуючи господарствол додатковими об'ємами деревини, а відповідно надходженнями в бюджет. Тут слід відмітити, що не всі деревні залишки на лісосіках економічно вигідно реалізовувати, першочергово через складні умови, зокрема надмірно зволожені ґрунти, на окремих ділянках, що ускладнює їх збір. Таким чином, із загального річного об'єму заготівлі, який складає 151,0тис.м³, гіпотетично приймемо в розрахунок, об'єм 145,0тис.м³ деревини з якого можна збирати та переробляти повністю всю деревну сировину.

Найбільш поширеними відходами лісосічних робіт є гілки, об'єм яких із врахуванням породного складу лісів 6С2Бк2Д, можна розрахувати:

$$V_{г/в} = Q_p (a_{хв} D_{хв} + a_{л} D_{л}),$$

де $a_{хв}, a_{л}$ – доля гілок, що припадає від загального об'єму деревної маси хвойної чи листяної породи дерева;

$D_{хв}, D_{л}$ – відповідний коефіцієнт участі хвойних чи листяних порід у породному складі лісового насадження.

$$V_{г/в} = 145000 \times (0,14 \times 0,6 + 0,16 \times 0,4) = 21460,0 \text{ м}^3.$$

Деревними відходами на лісосіці вважаються також тонкі вершинки зрізаних дерев, діаметр який при їх основі не перевищує 8-ми сантиметрів. Для розрахунку теоретичного об'єму даних відходів, використаємо вираз:

$$V_{в/о} = Q_p (a_{хв1} D_{хв} + a_{л1} D_{л}) \times (1 + b),$$

де $a_{хв1}, a_{л1}$ – коефіцієнти, які проказують яку частину деревної маси хвойної чи листяної породи дерев, складають вершинки: $a_{хв1} = 0,109$, $a_{л1} = 0,161$;

b – теоретичні втрати даного виду лісосічних відходів в процесі їх заготівлі на лісосіках $b=0,24$.

$$V_{\text{в/в}} = 145000,0 \times (0,109 \times 0,6 + 0,161 \times 0,4) \times (1 - 0,24) = 14304,0 \text{ м}^3$$

Під час проведення рубки, крім відмічених в рубку дерев, зрізаються не перспективні дрібні дерева як головних так і другорядних порід дерев, які також складають суттєвий об'єм деревної сировини, яку можна переробляти:

$$V_T = Q_p \times g_T,$$

де g_T – частка тонких та не перспективних дерев на площі лісосіки

$$V_m = 145000,0 \times 0,05 = 7250,0 \text{ м}^3;$$

Таким чином, загальний об'єм доступної для переробки та подальшої реалізації деревної сировини в процесі виконання річних планових рубок у господарстві складатиме:

$$V = V_{\Gamma/B} + V_{B/O} + V_T,$$

$$V = 21460,0 + 14304,0 + 7250,0 = 43014,0 \text{ м}^3$$

Основним напрямком переробки такої сировини є її здрібнення та перевезення за допомогою спеціальних автомобілів чи в контейнерах споживачам. Для отримання здрібненої деревної сировини, використовується устаткування у вигляді руббальних машин, зокрема, причепних, як машина RM 800.5. Розрахункову продуктивність такого устаткування можна виразити:

$$P_{p,m} = T \times Z \times l_{\text{тр}} \times F_{\text{сп}} \times k_m \times k_p,$$

де n – частота обертання диску чи барабану з ножами, об/хв.;

Z – кількість ножів розміщених на обертовому диску чи барабанові конкретної марки машини;

$l_{\text{тр}}$ – стандартна довжина технологічної тріски, м;

$F_{\text{сп}}$ – сумарна площа зрізу деревних відходів, поданих до приймального патрону машини, м²;

k_m – коефіцієнт, ефективності використання машинного часу протягом робочої зміни;

k_p – коефіцієнт використання часу зміни або часу експлуатації машини в робочому режимі.

$$P_{p-m} = 480 \times 0,65 \times 0,018 \times 0,035 \times 0,35 \times 0,35 = 107,3 \text{ м}^3 / \text{зм.}$$

Очевидно, що на основі розрахункової продуктивності устаткування, можна встановити, яка його кількість необхідна для переробки відходів в процесі виконання рубок:

$$n_{pm} = \frac{Q_p^{\text{відх}}}{z \times P_{p-m}}$$

$$n_{pm} = \frac{43014,0}{250 \times 0,3} = 1,6$$

З отриманих значень видно, що для вирішення питання подрібнення деревних відходів для господарства необхідні дві причепні машини марки RM 800.5, що працюють від валу відбору потужності тягача.

2.5 Вимоги до охорони праці, навколишнього середовища та безпека в надзвичайних ситуаціях в процесі лісосічних робіт

2.5.1. Загальні аспекти охорони праці та техніки безпеки на основних лісосічних роботах

Загалом, причинами виникнення ситуацій, що можуть призвести до нещасних випадків в процесі виконання лісосічних робіт є як об'єктивні так і суб'єктивні чинники. До основних об'єктивних чинників першочергово слід віднести такі головні як експлуатаційні умови, серед яких визначальну роль відіграє рельєф та погодно-кліматичні чинники. Зазначені чинники мають вплив як на лісові машини, що використовуються в процесі, так і на роботу робітників, що використовують ручні механізовані інструменти.

В запропонованому варіанті організації лісосічних робіт у Львівському надлісництві є операції, які виконуються як машинами, так і операції де використовуються механізовані інструменти. Рівнинні умови лісоексплуатації дозволяють широко використовувати будь-яку техніку, якщо дозволяє несуча здатність ґрунтів. Зокрема в якості трелювальної техніки використовуються трактори для чокерного трелювання та форвардери.

Загальними вимогами безпечної експлуатації цих машин є їх використання лише за призначенням. Навантаження на технологічне обладнання машин не має перевищувати технічно допустимого. Обмежувальними погодними чинниками для цих машин є дощ, сильний туман, що обмежує видимість менше 50м, ожеледиця, сильні снігопади та ін. Якщо дія зазначених чинників перевищує допустимі значення, роботи слід припиняти.

Зазначені природні чинники, впливають негативно на безпеку виконання операцій ручними механізованими інструментами. За таких погодних умов, до прикладу, категорично заборонене зрізання дерев. Крім того, звалювання дерев заборонене під час сильних поривів вітру, коли його швидкість перевищує 11м/с. З умов техніки безпеки, лісосічні роботи слід виконувати, зокрема звалювання дерев, лише в світлу пору доби.

До основної групи суб'єктивних чинників створення небезпечних ситуацій є недотримання вимог техніки безпеки та охорони праці учасниками процесу та неналежний контроль зі сторони відповідальних осіб. Найбільшої прискіпливої уваги заслуговують такі технологічно небезпечні операції як звалювання дерев та трелювання деревини.

Крім об'єктивних чинників під час звалювання дерев є обов'язкове дотримання технології виконання цієї операції для кожного конкретного випадку. Обов'язкове застосування допроміжних засобів та дотримання охорони праці в плані чіткого відмежування робочої зони та унеможливлення там перебування сторонніх осіб. Робітники на цій операції, повинні проходити спеціальне навчання з отриманням посвідки, мати досвід роботи та відповідати за медичними вимогами.

Під час трелювання деревини, уваги заслуговує робота машин, які працюють в чокерному варіанті. В цьому випадку, необхідне застосування ручної праці як о тдля відтягування збираючого канату чи чокерування стовбурів. Найбільш небезпечною операцією при цьому є підтягування стовбурів до машини та формування пачки. В процесі її виконання забороняється перебувати ближче 20м до рухомого канату. Необхідно слідкувати за смугою трелювання лісоматеріалів для уникнення їх зачеплення за перешкоди. Якщо виникла подібна ситуація, слід подати сигнал оператору машини, припинити процес та послабити канат для відчеплення від перешкоди.

Заборонено покерувати лісоматеріали, які примерзли до ґрунту без їх попереднього зрушення. Канатне обладнання трелювальної машини, має проходити регулярні огляди та виконуватися його вчасна заміна.

2.5.2. Заходи запобігання лісовим пожежам

Уникнення випадкового займання з наслідком виникнення лісової пожежі є ще однією з найбільш важливих умов виконання лісосічних робіт. Таких негативних наслідків можна уникнути шляхом виконання певних міроприємств та дотримання протипожежних вимог. Першочергово це стосується техніки для роботи якої використовуються легкозаймисті речовини та змащувальні матеріали, які в певній кількості приходиться зберігати на лісосіці. Саме дотримання вимог поводження та зберігання таких матеріалів, зменшує ймовірність виникнення лісової пожежі.

Місце зберігання паливно мастильних матеріалів має бути винесене за межі лісового насадження, якщо це можливо або влаштоване в найбільш безпечних умовах. Поверхню площадки зберігання займистих речовин слід мінералізувати та прибррати навколо неї захарашення у вигляді гілок, лісосічних відходів та ін. Ємкості із займистими речовинами, повинні захищатися від прямих сонячних променів, особливо в літню пору року.

Аналогічних заходів слід вживати під час влаштування площадок для стоянки лісової техніки. Крім зазначених заходів, на лісосіці мають бути

присутні як пожежний інвентар так і засоби гасіння лісової пожежі, якими в першу чергу є вода та вогнегасники із відповідними наповнювачами.

Місця розведення багаття також повинні обноситися мінералізованою смугою, шириною не менше 1м, як і місця для складання відходів розхідних матеріалів для технічного обслуговування лісових машин та побутових відходів. Такі матеріали не можна нагромаджувати у великих об'ємах тому, слід виконувати регулярну їх утилізацію або вивезення з лісосіки.

2.5.3 Заходи охорони навколишнього середовища

Будь який технологічний процес виготовлення певної продукції, провокує негативний тиск нас навколишнє середовище. Лісосічні роботи виконуються безпосередньо в лісовому середовищі, яке є досить сприйнятне та вразливе тому, обмеження негативного впливу на нього є головною умовою виконання робіт та застосування техніки.

Першочергово, планові рубки мають чітко узгоджуватися з біологічними циклами як рослинного так і тваринного світу. Це означає, що такі роботи не можна виконувати в період вегетації рослин та в період розмноження як постійних лісових мешканців так і сезонних, якими є пернаті.

Застосування техніки на лісових роботах має супроводжуватися заходами зниження її негативного впливу. Так, повинно широко використовуватися пальне на рослинній основі як для машин, так і для моторних інструментів. Паралельно, слід використовувати додаткові фільтрувальні елементи чи інші пристрої для зниження концентрації шкідливих речовин у вихлопах відпрацьованих газів. Аналогічно слід використовувати технічні засоби для зменшення шуму роботи двигунів машин.

Щоб зменшити руйнування лісових ґрунтів, слід віддавати перевагу колісній техніці, яка має колеса великого діаметру і шинами широкого профілю і з низьким тиском повітря в них. Ділянки волоків з поганою прохідністю, слід додатково укріплювати для уникнення буксування машин та додаткового руйнування ґрунту.

2.6. Підсумкові результати проектних міроприємств удосконалення поступових і вибіркового рубок, які виконуються у Львівському надлісництві

Таблиця 2.2 – Зведені проєктні техніко-економічні показники виконання рубок у виробничих умовах Львівського надлісництва

№ п/п	Назва показника	Одиниці виміру	Величина показника
1	2	3	4
1.	Річний об'єм вивезення деревини: - рубки головного користування - рубки формування і оздоровлення лісів	м ³ -//- -//-	151000,0 89000,0 62000,0
2.	Запас лісу на 1 га: - рубки головного користування - рубки формування і оздоровлення лісів	м ³ /га -//- -//-	268,0 36,0
3.	Середній об'єм стовбура: - рубки головного користування - рубки формування і оздоровлення лісів	м ³ -//- -//-	0,86 0,34
4.	Змінний об'єм заготівлі деревини: - поступові рубки головного користування - рубки формування і оздоровлення лісів	м ³ /зм -//- -//-	356,0 248,0
5.	Кількість робітників на основних роботах: - поступові рубки головного користування - рубки формування і оздоровлення лісів	чоловік -//- -//-	26,0 34,0
6.	Комплексний виробіток на одного робітника в зміну: - поступові рубки головного користування - рубки формування і оздоровлення лісів	м ³ /робітн. -//- -//-	13,7 7,3
7.	Кількість комплексних бригад: - поступові рубки головного користування - рубки формування і оздоровлення лісів	од. -//- -//-	5,0 4,0
8.	Кількість лісосік - поступові рубки головного користування - рубки формування і оздоровлення лісів	од. -//- -//-	67,0 246,0
9.	Склад насадження: - поступові рубки головного користування - рубки формування і оздоровлення лісів	– –	6С2Бк2Д 4С4Бк2Д
10.	Степінь механізації робіт: - поступові рубки головного користування - рубки формування і оздоровлення лісів	% -//- -//-	78,0 66,0
11.	Енергоозбросність одного робітника: - рубки головного користування - рубки формування і оздоровлення лісів	кВт/робітн. -//- -//-	9,7 5,4

3. МАТЕМАТИЧНИЙ ОПИС КІНЕМАТИКИ МАЛОГАБАРИТНОЇ ТРЕЛЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ В ЛІСОВОМУ НАСАДЖЕННІ

3.1 Актуальність та практичне значення дослідження

Відмова від суцільних систем рубок та широке запровадження в лісових господарствах поступової і вибіркової системи рубок, стало причиною пошуку та розроблення більш досконалих технологій для їх реалізації. Загалом суть зазначених систем рубок головного користування зводиться до вирубування стиглого лісового насадження шляхом поступового зрідження, аж до повного зрізання стиглих дерев на площі. Очевидно, щоб уникнути необхідності будівництва щільної мережі трелювальних шляхів, слід шукати такі трелювальні засоби та способи трелювання, які дозволятимуть трелювати деревину між деревами, які є на площі.

Виходячи із зазначеного, можна констатувати, що для реалізації технології освоєння виділеного в рубку насадження, яка називається широкими пасіками, необхідні механізовані трелювальні засоби з невеликими габаритними розмірами. Провідні виробники спеціалізованої трелювальної техніки пропонують подібну техніку, яка представлена міні скідерами та міні містерами. Основною вимогою, яка ставиться – це можливість руху трелювальної системи в завантаженому стані між деревами.

Очевидно, що використання міні техніки особливо доцільне на першому прийомі рівномірно поступової рубки де відстань між деревами є найменшою. Завдяки поступового зрідження насадження в процесі рубки, відстань між деревами також зростатиме, що сприятиме застосуванню вже до прикладу, форвардерів легкої серії.

Стосовно рубок формування та оздоровлення лісів, то технології їх реалізації базуються виключно на застосуванні малогабаритної техніки чи кінного трелювання. При цьому, загальні розміри трелювальної системи мають бути обґрунтовані, особливо її довжина, для використання в насадженні із певною гістотою дерев. Саме тому, дослідження кінематики трелювальної системи є важливим аспектом її успішного застосування .

Загалом дослідження ґрунтується на розгляді найбільш складних ситуацій, які можуть відбуватися під час трелювання деревини. Однією з таких ситуацій є об'їзд дерева, яке трапляється на шляху руху трелювальної системи.

На основі такого дослідження, можна формувати рекомендації для підвищення маневровості міні трелювальної системи та встановлювати рекомендовані обмеження її габаритів для певних умов.

3.2 Аналітичний огляд міні техніки та трелювальних засобів до неї

Найменшими трелювальними механізмами, які практично копіюють кінне трелювання є міні скідери із важільним керуванням (рис.3.1), які можуть працювати в насадженнях із досить близьким розміщенням дерев на площі.

Маючи досить значне тягове зусилля, така міні техніка може успішно використовуватися як на рубках головного користування та особливо на рубках формування і оздоровлення насаджень. Використовуючи причепні трелювальні засоби, трелювання деревини може виконуватися і в повністю завантаженому стані, хоча базове трелювальне обладнання розраховане, щоб трелювати в напівзавантаженому стані.



Рисунок 3.1 – Гусеничний міні скідер «IRON HORS»

Технічні можливості міні скідера дозволяють успішно його використовувати в різних умовах рельєфу та на ґрунтах із підвищеною вологістю, що робить його незамінним та універсальним трелювальником.

Широкого застосування набувають трелювальні системи, які складаються із міні тягача та причіпного трелювального засобу (рис.3.2). В такому варіанті компонування в якості тягової одиниці, можуть використовуватися не спеціалізована техніка, до прикладу, квадроцикли.



Рисунок 3.2 – Трелювальна система на базі причіпного засобу

Тут головну роль в забезпеченні механізації процесу відіграє причіпний засіб, який зазвичай обладнують механізмами полегшення завантаження деревини з окремим, незалежним приводом.



Рисунок 3.4 – Мінімастер Alstor 320

Широкого застосування набувають спеціалізовані міні трелювальні машини типу міні мастер (рис.3.3). На відміну від міні скідера така міні трелювальна техніка має досить складне технологічне обладнання, яке дозволяє максимально механізувати процес, першочергово, завантаження деревини на платформу. Невеликі габаритні розміри тут поєднуються із досить значною потужністю, що дозволяє працювати з предметом праці значних розмірів та маси.

3.3 Математичний опис ситуації об'їзду дерева на шляху руху

Для подання наступних математичних викладок, розробимо схему для моделювання проблемної ситуації (рис.3.5).

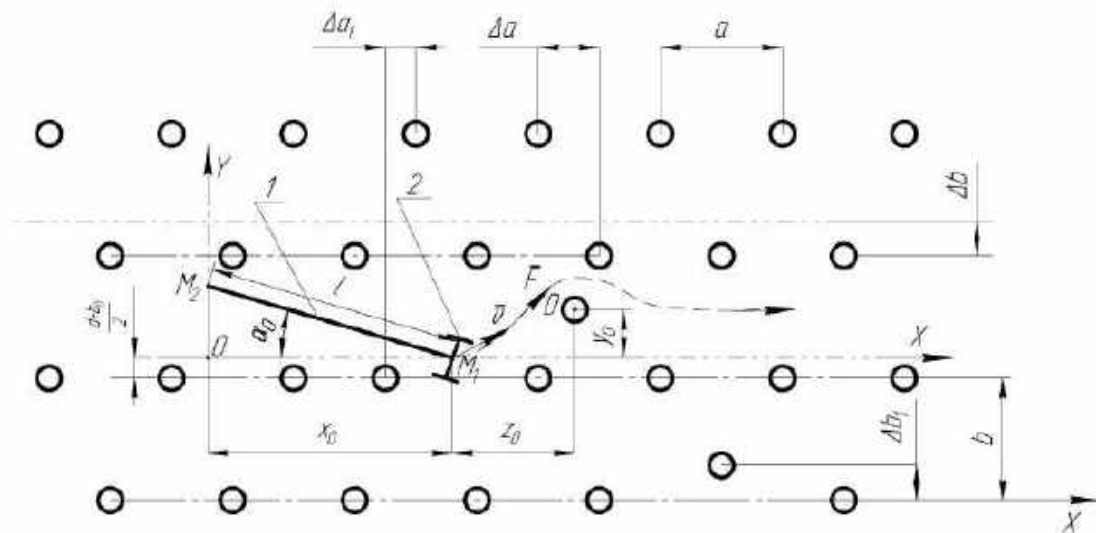


Рисунок 3.5 – Відображення проблемної ситуації об'їзду дерева міні трелювальною системою

Відповідно до поданої на рисунку 3.5 ситуації, міні трелювальна система, що включає лісоматеріал 1 і механізований трелювальний засіб 2 має об'їхати дерево D на шляху руху. Габаритні розміри трелювальної системи визначаються її шириною b_0 та загальною довжиною l . При цьому, початок трелювальної системи позначається буквою M_1 – це є точка кріплення лісоматеріалу на трелювальному засобу, а її кінецью точкою з позначенням M_2 , яка є кінцевою точкою лісоматеріалу.

При цьому вважаємо, що трелюється один лісоматеріал в напівзавантаженому стані. Процес трелювання відбувається в штучно створеному насадженні. Процес обїзду дерева буде успішним, якщо всі точки трелювальної системи пройдуть повз дерева D . В якості системи виміру прийемо типову прямокутну систему координат.

Очевидно, що для обїзду дерева D , трелювальна система має розпочати маневрування задалегідь на певній відстані від дерева. Позначимо відстань від трелювальної системи, що почала маневрування до дерева, яке треба обїхати z_0 . При цьому, припустимо, що початкова точка трелювальної системи M_1 , розпочне маневрування довільною кривою, яка описується рівнянням $y=f(x)$. Таким чином, розпочинаючи маневрування, траєкторія руху точки M_1 змінюється так щоб обминути дерево D , а після завершення маневру, має повернутися на попередню траєкторію руху.

Враховуючи скзанне, таку траєкторію руху т. M_1 , можна математично виразити рівнянням:

$$y = f(x) = A + B \sin kx + C \cos kx \quad (3.1)$$

В цьому рівнянні, постійні коефіцієнти A, B, C необхідно повязати із поданою на рисунку проблемною ситуацією. Тобто, слід подати умову обїзду дерева трелювальною системою із загальною довжиною l . З прив'язкою до прямокутної системи координат зазначена умова виражатиметься як:

$$x = x_0 = l \cos \alpha_0, \quad y = 0, \quad y' = 0.$$

Якщо зважити, що $y = 0, \quad y' = 0$, то $y' = k(B \cos kx - C \sin kx)$ і тоді це дозволить записати таку систему рівнянь:

$$\begin{cases} A + B \sin kx_0 + C \cos kx_0 = 0; \\ k(B \cos kx - C \sin kx) = 0, \end{cases}$$

У цій системі рівнянь, зв'язок між постійними коефіцієнтами A, B, C , виражатиметься наступним чином:

$$\begin{cases} B = -A \sin kx_0 \\ C = -A \cos kx_0 \end{cases} \quad (3.2)$$

На основі поданих систем рівнянь, можна записати, що

$$y = f(x) = A(1 - \cos k(x - x_0)) \quad (3.3)$$

Із поданого графічного представлення ситуації, видно що постійний коефіцієнт рівняння A , повинен враховувати траєкторію руху початкової т. M_1 трелювальної системи, яка не має виходити за межі встановленої ширини смуги трелювання. Своєю чергою, ширина смуги трелювання виражатиметься відповідними координатами, а саме:

$$y_{\max} = y_0 + \left(\frac{d+l_0}{2}\right), \quad \text{і якщо } y_{\max} = 2A, \quad \text{то постійний коефіцієнт виражатиметься як: } A = \frac{y_{\max}}{2} = y_0 + \frac{2d+b_0}{2} \quad (3.4)$$

Якщо позначити ширину смуги трелювання буквою Z , то можна виразити її ширину таким чином:

$$z = y_0 + \frac{2d+b_0}{2} \pm b - (d+b_0),$$

де b – ширина міжряддя лісового насадження, м;

На основі поданої математичної інтерпретації ситуації, можна записати рівняння, яке описує траєкторію руху т. M_1 трелювальної системи під час її маневрування обїзджаючи дерево D :

$$y = f(x) = \frac{y_0 + \frac{1}{2}(2d+b_0)}{2} (1 - \cos k(x - x_0)) = \frac{2y_0 + (2d+b_0)}{4} (1 - \cos k(x - x_0)) \quad (3.5)$$

В записаному рівнянні, з'явився параметр k , який відповідає за частоту маневрування, що пов'язана із зміною траєкторії руху трелювальної системи. Виходячи з цього, можна записати умову, реалізація якої забезпечить вільне проходження крайньої точки трелювальної системи під час обїзду дерева D :

$$\cos k(x - x_0) /_{x=x_0+z_0} = \cos k(x - x_0) /_{x=x_0+z_0+l}.$$

$$\cos kz_0 - \cos k(z_0 + l) = 0 \quad \text{або} \quad 2 \sin \frac{k(2z_0+l)}{2} \sin \frac{kl}{2} = 0$$

Якщо врахувати подані математичні викладки, то рівняння траєкторії руху передньої точки M_1 трелювальної системи, буде записане у вигляді:

$$y = \frac{y_0 + \frac{1}{2}(2d+b_0)}{2} \frac{\omega}{e} \cos \frac{2\rho(x-x_0)}{2z_0+l} \frac{\ddot{\alpha}}{e} \quad (3.6)$$

Також слід врахувати рівність $1 - \cos \alpha = 2 \sin^2 \frac{\alpha}{2}$ і тоді рівняння (3.6), що описує траєкторію руху т. M_1 , буде подане як:

$$y^* = \frac{\omega}{e} y_0 + \frac{(2d+b_0)}{2} \frac{\ddot{\alpha}}{\rho} \sin^2 \frac{\rho(x-x_0)}{2z_0+l} \quad (3.7)$$

Якщо виконати чисельну реалізацію поданих в дослідженні рівнянь траєкторії руху крайніх точок трелювальної системи, то можна отримати їх графічне відображення у відповідності до початкових вихідних даних (рис.3.6).

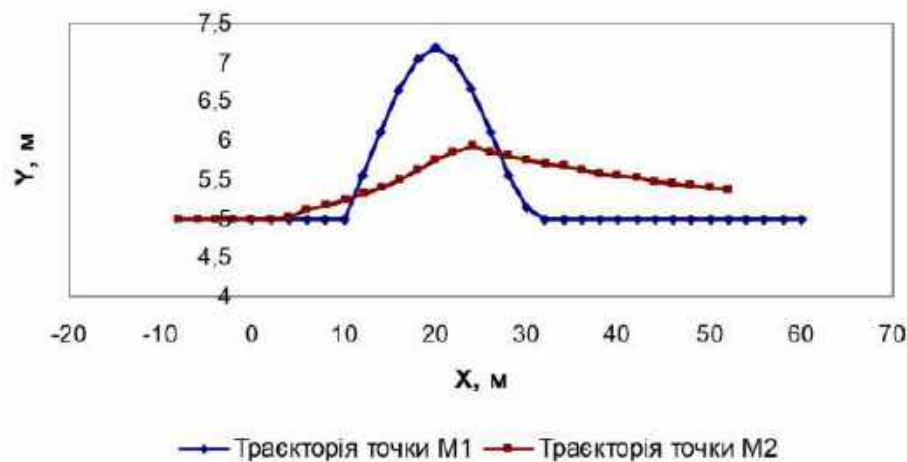


Рисунок 3.6 – Траєкторії початкової та кінцевої точок трелювальної системи при її загальній довжині 8м

Результати виконаного теоретичного дослідження, можна використовувати для обґрунтування ефективності застосування малогабаритної трелювальної системи в лісовому насадженні певної густоти.

ВИСНОВКИ

1. Для успішної реалізації та впровадження систем поступових і вибіркових рубок, необхідне широке використання малогабаритних механізованих трелювальних засобів.

2. Запропоновані в роботі системи лісосічних машин повною мірою відповідають лісоексплуатаційним умовам та виробничим показникам Львівського надлісництва.

3. Для освоєння лісосік широкими пасіками, зокрема під час виконання рубок формування та оздоровлення лісів, доцільно впроваджувати трелювання деревини в кілька етапів з використанням комбінованої системи машин.

4. Запровадження в технологічний процес сучасної малогабаритної техніки у вигляді міні мастерів та міні скідерів, забезпечить високий рівень механізації робіт під час поступових та вибіркових рубок і дозволить механізацію комплексу допоміжних операцій.

5. Результати теоретичного дослідження будуть корисними під час підбору системи машин та обґрунтування технологічних особливостей операції трелювання при проведенні поступових та вибіркових рубок.

ЛІТЕРАТУРА

1. Термена Б. К. Лісознавство з основами лісівництва: навч. посібник / Термена Б.К. – Чернівці: Книги – XXI, 2004. – 160 с.
2. Шкіря Тиберій. Технологія і машини лісосічних робіт: підручник / Т. М. Шкіря. – Львів: Тріада плюс, 2003. – 290 с.
3. Генсірук С. А. Ліси західного регіону України / Генсірук С.А., Нижник М.С., Копій Л.І. – Львів, 1998. – 408 с.
4. Литвинчук М. М. Щодо використання на рубках догляду за лісом коней та мінітракторів / М. М. Литвинчук // Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук. – техн. праць. – Львів, 1999. – Вип. 9.6 – С. 58–60.
5. Шкіря Т. М. Перспективи сортиментної лісозаготівлі в умовах України / Т. М. Шкіря, Ю. І. Цимбалюк // Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук. – техн. праць. – Львів, 2001. – Вип. 11.4 – С. 97–99.
6. Ковальчук Н. П. Аналіз проблем лісозаготівель в Україні / Н. П. Ковальчук // Сільськогосподарські машини: зб. наук. статей. – Луцьк: ЛНТУ, 2013. – Вип. 25 – С. 61–65.
7. Стиранівський Олег. Природоохоронні засади транспортного освоєння гірських лісових територій: монографія / О. А. Стиранівський, Ю. О. Стиранівський. – Львів: НЛТУ України, Галицька видавнича спілка, 2010. – 208 с.
8. Кудра В. С. Вплив первинного транспорту деревини в горах на лісове середовище / В. С. Кудра, І. Д. Гриджук // Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук. – техн. праць. – Львів, 2004. – Вип. 14.3. – С. 285–289.
9. Гром'як Ю. О. Проблеми механізації і машинізації лісозаготівель в умовах ринкової економіки / Ю. О. Гром'як // Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук. – техн. праць. – Львів, 1999. – Вип. 9.6 – С. 43–45.
10. Шкіря Т. М. Щодо кінного трельовання деревної сировини в умовах крутосхилих лісосік / Т.М. Шкіря // Науковий вісник УкрДЛТУ: зб. наук. – техн. праць. – Львів, 1999. – Вип. 9.6 – С. 115–118.

11. Шкіря Т. М. Щодо екологічно невиснажливих засобів трелювання лісоматеріалів в гірській місцевості / Т. М. Шкіря, В. В. Кий, І. В. Сойма, Ю. І. Цимбалюк // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість: міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: УкрДЛТУ, 1999. – Вип. 26. – С. 58–62.
12. Генсірук С. А. Ліс проблема державна і світова / С. А. Генсірук // Лісівнича академія наук України. Наукові праці. – Львів: «Львівська політехніка», 2002. – Вип. 1. – С. 22–25.
13. Кий В. В., Ю. І. Цимбалюк. Перспективні засоби гужового трелювання деревної сировини в гірській та пагорбистій місцевостях / В. В. Кий, Ю. І. Цимбалюк // Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість: міжвід. наук.-техн. зб. – Львів: УкрДЛТУ, 2004. – Вип. 29. – С. 73–77.
14. Marian Suwala . Tree damage and soil disturbances at wood harvesting / Marian Suwala, Krzysztof Jodlowski and Stanislaw Rzadkowski // Proceedings of the International Scientific Conference: forest and wood technology vs. environment, 20 – 22 November. – Brno, Czech Republic, 2000. – P. 357–365.
15. Rudolf ABRAHAM. Coparison of drawbar pull of tractor at three different types of driving wheels / Rudolf ABRAHAM, Radoslav MAJDAN, František VARGA // Mobile energy systems – Hydraulics – Environment – Ergonomics of mobile machines: Peer – reviewed Proceedings. – Zvolen: Technika univerzita vo Zvolene, 2013. – p. 7–17.
16. Tibor Lukač. Technische lösung des maschinensystems für die holzbringung: 20. Forsttechnikertreffen / Tibor Lukač. – Brno, 1994. – 5.-8.4. – 31 s.
17. Пастернак П. С. Хвойні ліси України : Український наук.-досл. ін-т. ліс. госп. ім. Г.М. Висоцького / П. С. Пастернак, П. П. Посохов, І. П. Федеть, І. Б. Шинкаренко. – К.: Урожай, 1976 – 112 с.

ДОДАТКИ

