

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет лісового господарства та екології
Кафедра лісівництва, лісових культур та таксації лісу

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

ОСИПЧУК ВІТАЛІЙ МИКОЛАЙОВИЧ

УДК 630*284(477.42)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ВПЛИВ МЕХАНІЧНОГО УШКОДЖЕННЯ СТОВБУРА НА
ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДЕРЕВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ
В УМОВАХ ДП «ЛУГІНСЬКЕ ЛГ»

205 Лісове господарство

Подається на здобуття освітнього ступеня магістр

кваліфікаційна робота містить результати власних наукових досліджень.
Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на
відповідне джерело

_____ В.М. Осипчук

Керівник роботи

Кратюк Олександр Леонідович
доктор біологічних наук, професор.

Житомир – 2022

Висновок кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу за результатами попереднього захисту

**Протокол засідання кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу
№ ___ від «___» 2022 р.**

Завідувач кафедри лісівництва, лісових культур та таксації лісу

к.с.-г.н., доцент

Сірук Юрій Вікторович

«___»

2022 р.

Результати захисту кваліфікаційної роботи

Здобувач вищої освіти Осипчук Віталій Миколайович захистив кваліфікаційну роботу з оцінкою:

сума балів за 100-бальною шкалою

за шкалою ECTS

за національною шкалою

Секретар ЕК

Козачинська Наталя Леонідівна

АНОТАЦІЯ

Осипчук В.М. Вплив механічного ушкодження стовбура на електрофізіологічні показники дерев сосни звичайної в умовах ДП «Лугинське ЛГ» – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 205 – лісове господарство. – Поліський національний університет, Житомир, 2022.

У магістерській роботі здійснено лісівничо-таксаційну характеристику соснових деревостанів у місцях проведення лісозаготівельних робіт з ознаками механічного пошкодження стовбура. Встановлено зміни діелектричних показників модельних дерев сосни звичайної пошкоджених у результаті лісосічних робіт. Виявлено залежність між показниками імпедансу і поляризаційної ємності прикамбіальних тканин лубу дерев сосни звичайної та характеристиками механічних пошкоджень стовбура. Встановлено причини механічних пошкоджень стовбура дерева під час лісосічних робіт. Розроблено рекомендації з діагностики та виявлення змін стану дерев сосни звичайної, пошкоджених у результаті лісозаготівельних робіт.

Ключові слова: вади деревини; поляризаційна ємність; імпеданс; *Pinus sylvestris*; ДП «Лугинське ЛГ».

ANNOTATION

Osipchuk V.M. The effect of mechanical damage to the trunk on the electrophysiological parameters of Scots pine trees in the conditions of the SE «Lugyny forestry» – Qualifying work on the rights of the manuscript.

Qualification work for the master's degree in specialty 205 – Forestry. – Polissia National University, Zhytomyr, 2022.

In the master's thesis, the forestry and taxation characteristics of pine stands in the places of logging operations with signs of mechanical damage to the trunk were carried out. Changes in the dielectric parameters of model pine trees damaged as a result of logging operations were determined. The dependence between the indicators of impedance and polarization capacity of the pricambial tissues of the bark of Scots pine trees and the characteristics of mechanical damage to the trunk was revealed. The causes of mechanical damage to the tree trunk during logging operations have been established. Recommendations for diagnosis and detection of changes in the condition of Scots pine trees damaged as a result of logging operations have been developed.

Key words: feature of wood, capacitance polarization, impedance, *Pinus sylvestris*, SE «Lugyny forestry».

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОШКОДЖЕНИХ ДЕРЕВОСТАНІВ	8
1.1. Вплив ушкоджень стовбура на життєвість дерев	8
1.2. Механічні ушкодження та вади деревини	11
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	15
2.1. Техніко-господарська характеристика сосни звичайної	15
2.2. Методика та район дослідження	18
РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДЕРЕВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ З МЕХАНІЧНИМИ ПОШКОДЖЕННЯМИ СТОВБУРА	22
3.1. Локалізація механічних пошкоджень стовбура	22
3.2. Зміна поляризаційної ємності	25
3.3. Зміна імпеданса (активного опору)	29
ВИСНОВКИ	34
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	35
ДОДАТКИ	40

ВСТУП

Актуальність теми. З року в рік процеси лісозаготівельних робіт ускладнюються у технологічній точки зору. Створюються нові та удосконалюються існуючі машинно-тракторні механізми для проведення лісосічних робіт. Серед великої кількості технічних характеристик таких механізмів особливе місце займає їх ступінь впливу на підріст, підлісок, живий надґрунтовий покрив, а також ймовірність механічного пошкодження дерев під час проведення робіт (звалювання, трелювання, транспортування, розкрижування тощо). Пошкоджені під час лісозаготівельних робіт здорові деревні рослини втрачають, у буквальному розумінні, свою цілісність, а санітарний стан насаджень прилеглих до лісосіки погіршується. Вчасно виявити зміни у процесах функціонування таких дерев дозволить уникнути необов'язкових втрат деревної рослинності через хвороби та шкідників. Крім того виявлені механічні пошкодження у майбутньому можуть призвести до погіршення фізико-механічних властивостей заготовленої деревини. Таким чином, вивчення особливостей росту та розвитку лісових насаджень з механічними пошкодженнями стовбура має особливе значення для вивчення біологічної продуктивності лісів, що сприяє вирішенню багатьох технологічних проблем заготівлі і переробки деревини. Спільні зусилля виробників-практиків та лісівників-науковців стануть у нагоді під час розробки та впровадження відповідних рекомендацій.

Мета і завдання дослідження. Метою роботи було дослідження впливу механічних пошкоджень стовбура на діелектричні показники сосни звичайної в умовах ДП «Лугинське лісове господарство».

Для досягнення передбачуваної мети планувалось виконання наступних завдань:

1. Провести лісівничо-таксаційну характеристику соснових деревостанів, у місцях проведення лісозаготівельних робіт з ознаками механічного ушкодження стовбура.

2. Встановити зміни діелектричних показників модельних дерев сосни звичайної пошкоджених у результаті лісосічних робіт.

3. Дослідити залежність між показниками активного опору (імпедансу) і поляризаційної ємності ПКТ дерев сосни звичайної та характеристиками механічних ушкоджень стовбура.

4. Встановити причини механічних пошкоджень стовбура дерева під час лісосічних робіт.

5. Розробити рекомендації з діагностики та виявлення змін життєвості дерев сосни звичайної, пошкоджених у результаті лісозаготівельних робіт.

Об'єктом досліджень є деревостани сосни звичайної.

Предметом досліджень є особливості зміни електрофізіологічних показників у дерев сосни звичайної з ознаками механічних пошкоджень стовбура.

Методи дослідження: лісівничо-таксаційні (для характеристики соснових деревостанів), електрофізіологічні (для визначення імпедансу (активного опору) та ємності (поляризаційної)), екологічні (для встановлення закономірностей зміни соснових насаджень в умовах лісозаготівельних робіт), математико-статистичні (для статистичної обробки отриманих вимірювань).

Публікації.

Кратюк О.Л., Кордиш В.О., Лисогор С.М., Осипчук В.М. Використання діелектричних показників для визначення життєздатності дерев сосни звичайної та берези повислої у результаті механічного пошкодження стовбура. *Сучасні проблеми лісового господарства та екології: шляхи вирішення (Факультету лісового господарства та екології – 20 років)* Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (7-8 жовтня 2021 р, м. Житомир). Житомир: Поліський національний університет, 2021. С. 94–95.

Осипчук В.М. Особливості зміни діелектричних показників сосни звичайної у результаті механічного пошкодження стовбура в умовах ДП «Лугинське ЛГ». *Проблеми ведення та експлуатації лісових і мисливських*

ресурсів: матеріали III Всеукраїнської науково-практичної конференції присвяченої пам'яті професора А.І. Гузія. (м. Житомир, 12 жовтня 2022 р.). Житомир, 2022. С. 42-43.

Кратюк О.Л., Кордиш В.О., **Осипчук В.М.** Зміна діелектричних показників сосни звичайної у постпірогенний період. *Вісник Малинського фахового коледжу*. 2022. Вип. 1. С. 123–136.

Практичне значення. Вперше для умов Лугинського лісництва ДП «Лугинське лісове господарство» проведено електрофізіологічний аналіз змін життєвості дерев сосни звичайної з механічними пошкодженнями стовбура.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота представлена на тридцяти дев'яти сторінках друкованого тексту і включає в себе вступ, три розділи, висновки, список використаних джерел (сорок вісім посилань) та додатки. Кваліфікаційна робота містить дві таблиці, п'ять рисунків та дев'ять фото.

РОЗДІЛ 1

ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ПОШКОДЖЕНИХ ДЕРЕВОСТАНІВ

1.1. Вплив ушкоджень стовбура на життєвість дерев

Електричні властивості деревини досить повно вивчені у експериментальних умовах. Відомо, що деревина у сухому стані є діелектричною [3]. Здатність деревини проводити електричний струм перебуває в обернено протилежній залежності від електричного опору. Через те, що у деревині завжди є волога, вона досить істотно впливає на електропровідність. Існує ще досить давній стандарт визначення електричного опору на взірцях розміром 50*50*5 мм, де останній промір у напрямку випробувань [10]. Слід розуміти, що під час збільшення внутрішньої гігроскопічної вологи у проміжку від 0,0% до 30,0% до повного насичення стінок клітин опір зменшується до $10^5 \dots 10^{-6}$ Ом*см та наближається до опору звичайної води. Таким чином електропровідність деревини більша від електропровідності абсолютно сухої деревини десятки тисяч і мільйонів разів. Також зростання частки вільної води у деревині зумовлює збільшення електропровідності у десятки або навіть сотні разів. Деревина ж у вологому стані виступає як напівпровідник іонів. Мінеральні сполуки, у тому числі, солі, що містяться у деревині стають так би мовити електролітами. Мінеральні солі, розчиняючись у вологій деревині, збільшують показники її електропровідності. Встановлено, що саме вологість має ключове значення для електропровідності, поряд з такими чинниками як порода деревини, щільність та температура деревини. Також важливе значення має напрямок проходження електричного струму відносно деревних волокон. Електропровідність уздовж волокон завжди практично вдвічі більша ніж у поперек волокон. Суха ж деревина відмічається високим опором, а тому її відносять до низки добрих ізоляторів [3].

Вивчення електрофізіологічних властивостей деревини ростучих деревних порід вперше розпочалося у середині ХХ століття на території Сполучених Штатів Америки, як необхідна умова у боротьбі з ентомошкідниками [43-45, 48]. Вже на зламі тисячоліть електрофізіологічні дослідження рослин і, деревних порід зокрема, набули небувалого розмаху. Вчені вивчають вплив різних станів та впливів та показники електричної активності деревних порід [46, 47]. В Україні цей напрямок дослідження деревних порід започаткував Г.Т. Криницький [20-22]. Наразі, існує його школа, у сферу наукових інтересів якої входить вивчення електрофізіологічних властивостей деревних порід на різних етапах функціонування та за умови впливу найрізноманітніших чинників. Звичайно серед наукової літератури переважають публікації, які відображають електрофізіологічні показники здорових життєздатних лісостанів та можливі впливи на них умов існування та інших компонентів біогеоценозів, в першу чергу мікроорганізмів, комах, звірів [14, 23, 26].

У вітчизняній науковій літературі питання впливу механічних пошкоджень стовбура дерева на електрофізіологічні властивості рослини висвітлені недостатньо. Найбільш повну оцінку ми знаходимо у дослідженнях впливу підсопки дерев сосни звичайної на проходження електрофізіологічних процесів. Зокрема Л.С. Осадчук [29] відмічає, що у перші роки проведення підсопки у рослин знижуються показники імпедансу і зростає поляризаційна ємність. Це є результатом вищої фізіологічної активності процесів у міжкаркових ременях у порівнянні з контрольними модельними деревами. У деревних рослин з більш тривалим терміном підсочування відзначається зворотна картина, а саме: зростає активний опір (імпеданс) та зменшується поляризаційна ємність. Таким чином автор констатує, що життєздатність підсочених дерев сосни звичайної падає.

На зниження життєздатності підсочених дерев сосни звичайної вказують і результати дослідження Г.Т. Криницького та В.П. Галушка [5, 24]. Ними встановлено збільшення величини імпедансу та зниження

поляризаційної ємності і різниці біоелектричних потенціалів у досліджуваних насадженнях. Тенденція до зростання відмінностей між контрольними та дослідними деревостанами за діелектричними показниками зберігається у період спокою і зниження – під час періоду активної вегетації. Вони припускають, що це зумовлено інтенсифікацією біохімічних процесів у період активної вегетації в області міжкаркових ременів підсочених дерев сосни звичайної [24]. Електро-фізіологічна реакція дерев сосни звичайної на процес підсочки проявляється уже у перші роки її проведення. Присутня висока мінливість досліджуваних модельних дерев за електро-фізіологічними характеристиками показує на індивідуальні особливості реакцій дерев на процеси підсочки. Така реакція обумовлена генетичними особливостями деревних рослин, їх здатністю до увімкнення компенсаторних фізіологічних механізмів, які б забезпечили в певних рослин високу стійкість та зумовили підтримку певного рівня проходження внутрішніх процесів на достатньо високому клітинно-фізіологічному рівні [24].

До подібних висновків, щоправда у вивченні впливу підсочки на дерева берези повислої, прийшли і закордонні фахівці. Так було встановлено, що під час добування березового соку організм дерева збіднюється поживними речовинами. Упродовж інтенсивної та довготривалої експлуатації дерев порушується до 65,0% тканин лубу, а також найбільш активних, у фізіологічному відношенні, зовнішніх шарів заболоні. Це веде до порушення як висхідного транспортного току поживних речовин, так і нисхідного. Це неодмінно відображається на життєвості деревних рослин. Численні глибокі механічні ушкодження у нижній третині ростучого дерева берези сприяє розвитку різних окрасів та раневих гнилей, що веде до погіршення якості ділової деревини [17].

Одночасно зі зменшенням приросту річних кілець здорової деревини підсочених дерев, відповідних періодів підсочки, збільшується показник щільності деревини, а відповідно, і інші важливі механічні властивості деревини.

Загалом, отримані результати дозволили вченим зробити висновки, що тривалий процес підсочки, особливо із застосуванням багаторазових запилів, прискорює процеси деструкції деревини, веде до розвитку гнилей, яка локалізується в області механічних пошкоджень. Все це неодмінно веде до зниження твердості ураженої деревини у порівнянні із здоровою щонайменше на 12,0% та вологості на 36,0% [17], що безумовно впливає на проходження електрофізіологічних процесів.

1.2. Механічні ушкодження та вади деревини

Зміни зовнішнього вигляду деревини, наявність порушень правильності будови, а також сукупність інших недоліків, які впливають на фізико-механічні властивості деревини і, як наслідок, на її якість та подальшу можливість у використанні називають вадами деревини [13]. Це досить умовне поняття, яке залежить від характеристики самої вади та подальшого практичного використання сортименту. Для деяких видів використання деревини наявність значної кількості вад може навпаки бути дуже корисним [1, 30]. Так цінуються слєби для виготовлення кришок для столів та інших декоративних виробів. Проте зазвичай вади деревини можуть суттєво впливати на галузь використання такої деревини. В одних заготовках певні вади категорично не допускаються, інших допускаються частково з певними застереженнями, а ще в інших вони допускаються у будь-якому вигляді, локалізації та розміру. Ступінь та характер впливу вад на якість деревини до певної міри залежить від глибини розуміння фізико-механічного впливу цієї вади на якість деревини, тобто залежить від рівня наукових знань у певний період часу. Також важливе місце локалізації вади: в основі стовбура; в середині чи у верхній третині. Все це говорить про певну історичну динаміку розвитку вчення про класифікацію вад деревини, яка задовольняє господарські потреби у певний проміжок часу. На теренах України перший стандарт на вади деревини було розроблено і затверджено у 1931 році.

Згодом, з розвитком науки і техніки, він неодноразово уточнювався у 1934 році, 1943 р., 1961 р., 1971 р. [9], 1981 р. ДСТУ 2152-93, щодо класифікації вад деревини, яке введено з першого січня 1995 року [12], включає перелік найбільш поширених вад, які можна зустріти у деревині різних порід. Структурно вади поділені на дев'ять груп, які включають 220 видів та підвидів. Цей нормативний документ описує терміни, способи вимірювання, вплив на якість заготовленої деревини. Механічні пошкодження та вади деревини під час обробки тут представлені 32 видами та 8 різновидами.



**Рис. 1.1. Вигляд вади стовбура сосни звичайної
під час розпилювання**

Зазвичай зміни до стандартів у частині класифікації вад деревини зводяться до зменшення їх кількості, уточнення найменувань та методики

визначення їх впливу на якість деревини. Якісне проведення стандартизації вад деревини відіграє важливу роль у міжнародній торгівлі лісоматеріалами. Уніфікація вітчизняних стандартів з європейськими та їх верифікація є необхідною умовою для підтримки та подальшого розвитку експорту лісової продукції на європейський ринок. Важливу роль тут також відіграють процеси лісової сертифікації за схемою FSC [42]. Україна поступово впроваджує систему лісової сертифікації ведення лісового господарства та контрольованого руху деревини, що позитивно впливає на розвиток лісової галузі у контексті сталого розвитку лісових екосистем України та Європи [2, 4, 27, 35, 36].

Термінологічний апарат, що стосується характеристик, визначається європейськими стандартами EN 844-1 – EN 844-12. Методика виміру цих ознак, яка зокрема включає і біологічні пошкодження та дефекти, викладена у стандартах EN 1310 та EN 1311. Методика має низку відмінностей від прийнятої на території України. Там відсутній, до прикладу, термін «вада деревини». Замість нього введено термін «ознака» (*feature*), що згідно стандарту EN 844-1 є фізичною, морфологічною або характеристикою росту лісоматеріалів, яка впливає на їх застосування [13]. Сюди відносяться як вади деревини, так і дефекти набуті під час обробки.

Останній стандарт, де представлена характеристика та класифікація вад деревини, був затверджений у 2019 році у вигляді ТУ У 16.1-00994207-001:2018 «Лісоматеріали круглі та пиляні. Візуальні характеристики. Класифікація, терміни та визначення, способи вимірювання» [37]. Як ми вже зазначали у новому стандарті не визначено поняття вада, а є «візуальна характеристика». Згідно цього документа вони поділені на групи (одинадцять груп), види (шістдесят три види) та різновидності (більше ста).

Механічні пошкодження стовбура дерева віднесено до восьмої групи візуальних характеристик разом із сторонніми включеннями та дефектами обробки. Ця група включає найбільше видів – двадцять шість. Механічні пошкодження стовбура, які отримані у прижиттєвому стані представлені

такими видами як обдир кори (*bark stripping damage*), карра (*tapping cut*) та заруб і запил. Загалом механічні пошкодження деревини відбуваються інструментами чи механізмами під час заготівлі, підсочки, транспортуванні, сортуванні та обробці. Найбільш поширеним під час лісозаготівельних робіт на лісосіці є обдир кори дерева, який представляє собою ділянку поверхні стовбура на якому відсутня кора. Така вада знижує стійкість щойно зпиляних неокорених круглих сортиментів до грибкових уражень та розтріскування. Якщо обдир кори відбувається на дереві, яке не підлягає зрубіванню, то у майбутньому воно може втратити свою стійкість та опірність до різних хвороб та шкідників. Обдир кори вимірюється за площею (у відсотках від площі бокової поверхні сортимента. Карра це пошкодження стовбура, яке утворилося під час підсочки дерева. Деревина в області карри завжди сильно засмолена. Вимірюють карру за глибиною, шириною та довжиною (у лінійних вимірах чи частках розмірів сортиментів). Допускається, якщо це обумовлено специфікою сортимента, вимірювати один чи два із вказаних вище параметрів. Заруб та запил – це місцеві пошкодження поверхні стовбура чи лісоматеріалів сокирою, пилкою, тросом лебідки чи іншими інструментами та механізмами. Заруб і запил вимірюються по глибині у лінійних одиницях або відсотках розмірів сортимента. Карра, заруб, запил утруднюють використання лісоматеріалів за призначенням, а при їх великих розмірах представляють загрозу для їх механічної міцності та цільності, збільшують кількість відходів під час розпиловки та лущення круглих лісоматеріалів при розкроюванні пиломатеріалів [37].

Окрема група стандартів присвячених класифікації круглих лісоматеріалів. Це ТУ У 16.1-00994207-002:2018 [38], ТУ У 16.1-00994207-003:2018 [39] та ТУ У 16.1-00994207-004:2018 [40]. Під час класифікації за якістю враховані особливості кожної лісової деревної породи у відповідності до серії європейських стандартів EN 1316 та EN 1927.

РОЗДІЛ 2

ОБ'ЄКТ ТА МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Техніко-господарська характеристика сосни звичайної

Сосна звичайна (*Pinus sylvestris*) за площею переважає на території України [6, 7]. У достатньо хороших умовах зростання вона може досягати віку до треста п'ятидесяти років і більше та висоти до ста метрів. Проте зазвичай це дерево першої величини до 40 метрів висотою і до одного-півтора метра у діаметрі. Ця порода є світлолюбною, а тому не переносить затінення від інших деревних порід. На болотах, щоб позбутися надмірного перезволоження коренів, вона пускає їх уздовж горизонту ґрунту, у той же час у ксерофітних умовах коренева система сосни звичайної може проникати на глибину до п'яти метрів і більше, а їх радіус може сягати навіть двадцяти метрів [8, 11, 15].

Сосну звичайну відносять до ядрових порід. Ядро має різну палітру відтінків від рожевуватого до буруватого з червоним відтінком. Заболонні тканини жовтувато-білуватого відтінку, які становлять до третини радіусу. Ядро у сосни утворюється у віці від двадцяти п'яти до тридцяти років. У цей період стовбури досягають у діаметрі двадцяти п'яти сантиметрів. На поперечних зрізах річних кілець (пізній деревині) добре видні смоляні канали. Тут трапляються різних розмірів живичними. Вони нагадують крапки поперечного перетину білого кольору на темному тлі пізньої деревини. Серцевинні промені дуже важко помітити на різних зрізах не озброєним оком. Річні шари можна помітити у різних проекціях розрізів. Перший річний шар завжди світлішого відтінку, другий темніший і розташований головним чином у пізній зоні річного кільця, що добре візуалізується на поздовжніх розрізах у вигляді темнуватих рисок різних за довжиною. Між деревиною різного кольору річних кілець перехід різкий. По периметру розташовані сучки мають кільчасту локалізацію. Якщо розглянути пиломатеріали, то вони

розміщені у вигляді груп, які називаються розетками (група сучків). особливістю сосни звичайної є те, що між сусідніми шарами сучків немає дрібних сучків, як це притаманно для смереки. Згідно європейських норм фізико-механічних показників деревини (EN 350-2) за характеристикою деревина сосни звичайної середньоважка, має високу твердість, міцність та еластичність. Середнє значення щільності деревини (за умови вологості 12%) становить $520 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$, при граничних показниках від 330 до $890 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$. Показники усихання деревини наступні: лінійне – 0,4%, радіальне – 4,0%, тангенціальне – 7,7%, об'ємне – 12,3% [3]. Коефіцієнти усихання [%] становлять (зміна розмірів деревини при зменшенні вологи (гігроскопічної) на один відсоток): радіальний – 0,19% та тангенціальний – 0,36%. Міцність деревини ($\text{Н} \cdot (\text{мм}^2)^{-1}$) на розтяг $f_{t,0}$ – $104,0 \text{ Н} \cdot (\text{мм}^2)^{-1}$, на розтяг $f_{t,90}$ – $3,0 \text{ Н} \cdot (\text{мм}^2)^{-1}$, під час стиску – $55,0 \text{ Н} \cdot (\text{мм}^2)^{-1}$, під час статичного згину – $100,0 \text{ Н} \cdot (\text{мм}^2)^{-1}$, на сколювання – $10,0 \text{ Н} \cdot (\text{мм}^2)^{-1}$. Границя міцності (МПа) під час стискання вздовж волокон становить 48,5 МПа [3]. Ударна в'язкість (А) деревини сосни звичайної становить $55,0 \text{ кДж} \cdot (\text{м}^2)^{-1}$. Твердість деревини торцева складає $40,0 \text{ Н} \cdot (\text{мм}^2)^{-1}$, а у поперек волокон – $19,0 \text{ Н} \cdot (\text{мм}^2)^{-1}$. Твердість у МПа становить 28,5 МПа. Коефіцієнт теплопровідності деревини $0,14 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{С}^{-1}$. Показники просочуваності деревини визначаються окремо для ядрової та заболонної деревини. Ядрова деревина має показник 4 (дуже важко просочувана) по шкалі від одного до чотирьох. Просочуваність заболонної деревини 2v (помірно просочувана об'ємна) [3].

Деревина сосни має високу здатність до горіння, оскільки містить значну кількість смоли [25]. Ця порода згідно класифікації, де 1 це дуже стійка, 5 це не стійка, є досить нестійкою до різних видів деревноруйнівних грибів (природна стійкість деревини становить 3-4 в залежності від певних умов) [32, 41].

Соснова деревина має дуже широке застосування у різних галузях виробництва нашої держави. Вона дуже добре усухає та чудово піддається обробці. Це, можливо, є найкращим будівельним матеріалом. Асортимент

продукції вражає. Це віконні рами, двері, матеріал для підлоги, балки і крокви, а також дранка для стелі та стін та інші деталі для домобудівництва. Також роблять меблі, фанеру, різноманітну тару, електричні та телеграфні стовпи, шпали. Деревина іде на виготовлення товарів широкого вжитку. Деревину використовують для випалювання деревного вугілля та безпосередньо як дрова. Кругляк потрібен для допоміжного або тимчасового (підтоварник, жердя, обаполи) та елітного (котеджі, зруби) будівництва. На шахтах виключно із деревини сосни використовують рудничну стійку. Наша країна займає чільне місце у експорті пиломатеріалів. Підраховано, що із деревини сосни та продуктів відходів її переробки отримують більше двадцяти тисяч найменувань продукції. Це зокрема пристойна кількість номенклатури сортів картону і паперу, деревиностружкові та деревиноволокнисті плити. Продуктами переробки деревини є скипидар, укус, шовк, живиця, олифа, різні масла, пластичні маси та целофан. Відомо, що із однієї тони тирси виробляється 180 л спирту, а з однієї тони відходів спиртового виробництва – вирощують сорок кілограм кормових дріжджів [13].

Пеньки та коріння також використовуються у виробництві таких продуктів як дьоготь, смоли, скипидар, деревне вугілля, оцет. Кора також іде у хід. З неї виготовляють рибальські атрибути, дубильні речовини, добрива для сільськогосподарських полів та кімнатних рослин, ванілін. Продукція сосни (хвоя, живиця тощо) активно використовується як у науково-доказовій медицині так і в нетрадиційній. Шпильки сосни це джерело вітамінів, білків, мікроелементів, аскорбінової кислоти тощо. Хвоя містить у 6 разів більше вітамінів ніж вміст апельсина і лимона. Вона містить до трьох відсотків жиру, двадцять відсотків крохмалю, вітаміни С, Е та К, провітамін Д, каротин, цукри, мідь, залізо, марганець, кобальт, багато смол і фосфор. Для стимулювання апетиту з хвої виготовляють гірко-пряні речовини, які використовуються як біодобавки до корму великої і малої рогатої худоби та птиці. Екстракти хвої застосовують для лікування бронхіальної астми, виробництва окремих компонентів для протиопікрвих мазей, засобів проти

фурункулів та інших дерматичних хвороб. Хвойні концентрати дієві у разі застосуванні їх для ван під час лікування функціональних розладів нервової, а також серцево-судинної систем [13].

Крім всього іншого соснові ліси це джерело фітонцидів та чудовий бальнеологічний ресурс, тому дитячі табори та санаторії особливо привабливі за такого розміщення.

2.2. Методика та район дослідження

Визначення впливу механічного ушкодження стовбура дерева на життєвість дерев сосни звичайної проводили з використанням авторської методики Г.Т. Криницького [22]. Вона полягає у визначенні імпеданса та поляризаційної ємності найбільш фізіологічно активних тканин стовбура дерева, якими вважаються саме прикамбіальні тканини лубу (ПТЛ). Згадану методику адаптовано до різних умов застосування [18, 19, 23, 25].



Рис. 2.1. Проведення електрофізіологічних досліджень за допомогою приладу Ф4320 на модельних деревах

Вимірювання проводили з допомогою комбінованого аналогового приладу LC-метра (шигометр за європейськими джерелами) вітчизняного виробництва Ф 4320 (рис. 2.1).

Вимірювання фізіологічних процесів ПТЛ проводили шляхом використання спеціального щупа. Він являє собою поєднання двох паралельних провідних електродів (електроди виконані із нержавіючих та інертних видів металів (матеріалів)). Відстань між електродами становить двадцять міліметрів. Самі електроди щупа вводили на глибину в один сантиметр ПТЛ. Висота замірів на модельних деревах коливалася у залежності від висоти локалізації механічних пошкоджень на стовбурі. Схема проведення замірів електрофізіологічних показників представлена на рисунку 2.2.



Рис. 2.2. Схема зняття показників на модельних деревах сосни звичайної

Таким чином заміри на модельних деревах проводили у чотирьох локалітетах, а саме: нижче механічного пошкодження (НМ), вище

механічного пошкодження (ВМ), у середині механічного пошкодження (СМ). Для контролю зміни показників поляризаційної ємності та імпеданса у межах одного модельного дерева з протилежної сторони стовбура проводили два заміри. Один на стандартній висоті у 1,30 м (ПМ_{1,30}), а ще один на висоті 0,20 м від поверхні ґрунту (ПМ_{0,20}). Контрольні заміри (КМ) проводили згідно стандартних рекомендацій [22] на висоті 1,30 метра, тобто на висоті проведення лісівничо-таксаційних промірів.

Окремо вимірювали висоту розміщення механічних ушкоджень на стовбурі дерева (збігається з точкою замірів ВМ). В окремих випадках визначали і метричні параметри самих ушкоджень, особливо довжину вздовж стовбура.

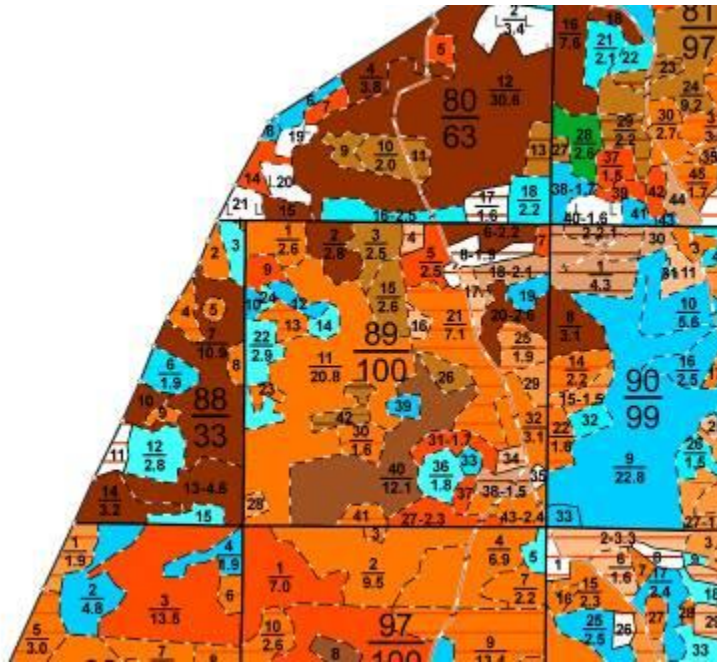


Рис. 2.3. План насаджень у місці проведення електрофізіологічних досліджень

Дослідження проводили на території Лугинського лісництва ДП «Лугинське лісове господарство». У 2022 році у вісімдесят дев'ятому кварталі виділі третьому була проведена суцільна санітарна рубка (рис. 2.3). Це насадження віком 55 років та складом 8Дз2Гз+Яле. Воно зростало в умовах С₃-гдС за другим класом бонітету. Навколо лісосіки зростають

різновікові насадження сосни звичайної. Навколо лісосіки зростають насадження таких виділів 89 кварталу як 2 (сосна звичайна у складі деревостану відсутня), 4, 5, 11, 15 (сосна звичайна у складі деревостану відсутня), 21 (вздовж трельовочної дороги). Тут насадження зростають в умовах С₂-гдС та С₃-гдС. Вік дерев сосни звичайної у насадженнях коливається від 55 років до 120 років. Їх продуктивність оцінюється за другим класом бонітету [34].



Рис. 2.4. Територія проведення лісозаготівельних робіт

Під час трелювання та вивозки сортиментів було пошкоджено частину дерев сосни звичайної уздовж лісових доріг та під час звалювання за межами лісосіки. Ми виявили такі дерева та провели електрофізіологічні дослідження з визначення діелектричних показників. Усього досліджено двадцять модельних дерев з механічними пошкодженнями стовбура (МД₀₁₋₂₀) та така ж кількість контрольних дерев сосни звичайної. Контрольними були насадження сосни звичайної аналогічних лісівничо-таксаційних показників, що зростають поруч з ушкодженими.

У роботі використовували Збірник технічних умов ...[16].

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРОФІЗІОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДЕРЕВ

СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ З МЕХАНІЧНИМИ

ПОШКОДЖЕННЯМИ СТОВБУРА

3.1. Локалізація механічних пошкоджень стовбура

Для виявлення дерев сосни звичайної з ознаками механічних ушкоджень стовбура ми обстежили лісосіку у 89 кварталі (вид. 3) по периметру та насадження вздовж лісових доріг по яких проводилося транспортування заготовленої деревини. Нами відібрано 20 модельних дерев з механічними пошкодженнями (МД₀₁₋₂₀). Якщо у відсотковому відношенні, то ми відібрали десять модельних дерев по периметру лісосіки та десять дерев уздовж лісових доріг [31].

Висота механічних пошкоджень стовбура сосни звичайної різна і коливається від 0,35 м до 1,34 м (рис. 3.1).



Рис. 3.1. Висота механічних пошкоджень стовбура сосни звичайної



а



б



в



г

Рис. 3.2. Механічні пошкодження стовбура сосни звичайної під час лісозаготівельних робіт

Основні види механічних пошкоджень стовбура представлені на фото (рис. 3.2). Такі вади називають обдири (задири) кори та заруби, останні скоріш за все утворилися не через пошкодження сокирою, а у наслідок контакту з транспортними засобами та мезанізмами. Причини їх утворення різні тому і різна локалізація за висотою та характерні ознаки. Ми виділили дві основні причини: це ушкодження під час звалювання дерев та ушкодження під час транспортування та трелювання сортиментів. У першому випадку задири можуть дути по всій висоті стовбура, навіть на висоті 3-5 метрів (див. рис. 3.2а, 3.2в). Такі дерева зустрічаються по периметру лісосіки та на відстані у кілька метрів у сусідніх насадженнях. Такі ушкодження зазвичай мають витягнуту зверху до низу форму. У них в основному здерта кора без суттєвих пошкоджень внутрішніх шарів деревини. Зокрема на модельному дереві МД₁₁ задир тягнеться від висоти 30 см до висоти 1,94 метра, а середина цього пошкодження знаходиться на висоті 1,34 м. Друга група ушкоджень у переважній своїй більшості зустрічається уздовж напрямків трелювання та транспортування заготовленої деревини. Ці ушкодження менші за площею, проте проникають набагато далі вглиб стовбура. Вони несуть більшу загрозу для фізіологічних процесів здорового дерева. Висота таких пошкоджень зазвичай до одного метра (див. рис. 3.1).

Найбільша частка пошкоджень локалізується на висоті від 0,76 до 1,00 метра і складає 35,0% (рис. 3.3). Загалом тенденція розміщення таких ушкоджень наступна. З просуванням від поверхні ґрунту по стовбуру у висоту до висоти 0,5 метра зустрічається п'ята частина (20,0%) ушкоджень. Далі на висоті 0,51-0,75 метра частка зростає до 25,% від загальної кількості пошкоджень. Як ми вже зазначали, на висоті 0,76-1,00 метра найвищий ступінь механічного ураження насаджень – 35,0%. На наступному шаблі висоти 1,01-1,30 метра пошкодження зустрічають у 15,0% випадків і на висоті більше 1,3 м – лише 5,0% пошкоджень (див. рис. 3.3). Це зумовлено технічними характеристиками трельовочних механізмів.

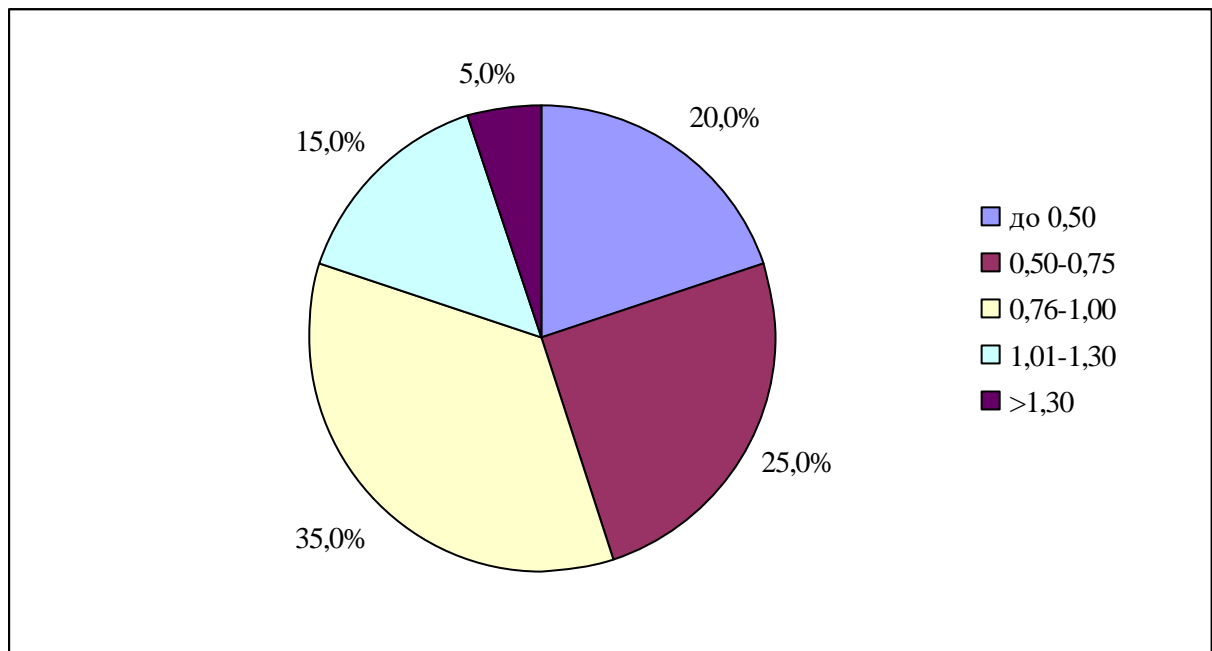


Рис. 3.3. Частка розміщення механічних пошкоджень стовбура сосни звичайної за висотою (в метрах).

Усі обстежені модельні дерева відповідають, якщо не враховувати механічних пошкоджень яких вони наразі отримали, другій, частково третій категорії санітарного стану [33]

До речі, лісівники зазвичай дерева з механічними пошкодженнями стовбура, які знаходяться вздовж лісових доріг не відводять у санітарні рубки. Вони мотивують це тим, що видравши такі дерева, без модернізації лісових доріг ми будемо наражати сусідні здорові дерева на ймовірність аналогічних ушкоджень у майбутньому. Тобто такі дерева стають ніби попереджувальними загородженнями для уникнення ще більшої кількості випадків механічного пошкодження стовбурів дерев.

3.2. Зміна поляризаційної ємності

Вимірювання поляризаційної ємності проводили 02 вересня 2022 року у період активного руху поживних речовин дерев сосни звичайної. Зі сторони механічного пошкодження проводили три заміри. З протилежної сторони

проводили два заміри. Отримані результати вимірювання діелектричного показника представлені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

**Показники поляризаційної ємності (С) дерев сосни звичайної
з механічними пошкодженнями стовбура, пФ**

№ модельного дерева	Локалізація проведення замірів				
	у місці пошкодження			з протилежного боку	
	НМ	ВМ	СМ	ПМ _{1,3}	ПМ _{0,2}
МД ₀₁	9,0	8,0	2,5	8,2	8,2
МД ₀₂	9,5	7,8	1,4	7,5	7,0
МД ₀₃	8,6	7,5	1,3	7,5	7,0
МД ₀₄	12,2	3,4	1,3	12,0	11,9
МД ₀₅	11,6	11,8	1,5	8,1	7,8
МД ₀₆	7,8	8,8	1,5	7,3	7,4
МД ₀₇	9,1	4,2	1,3	8,3	8,2
МД ₀₈	10,0	7,8	1,5	7,5	7,0
МД ₀₉	8,6	7,4	1,7	7,5	7,2
МД ₁₀	13,0	3,5	1,8	12,1	11,7
МД ₁₁	11,2	11,8	1,3	8,0	7,8
МД ₁₂	12,8	8,8	1,4	7,3	7,4
МД ₁₃	9,0	7,6	1,5	8,2	8,2
МД ₁₄	9,5	7,8	1,5	7,5	7,1
МД ₁₅	8,6	7,5	2,1	7,5	7,0
МД ₁₆	7,8	4,0	1,4	12,2	11,6
МД ₁₇	12,0	11,7	2,0	8,0	7,8
МД ₁₈	7,8	8,8	1,3	7,3	7,4
МД ₁₉	11,9	3,3	1,7	12,0	11,9
МД ₂₀	11,7	11,8	1,5	8,0	7,8
Середнє значення	10,09±0,39	7,67±0,63	1,58±0,07	8,60±0,41	8,37±0,40

Примітка. Локалітети зняття промірів: НМ – нижче механічного ушкодження; ВМ – вище механічного ушкодження; СМ – середина механічного ушкодження; ПМ_{1,3} – з протилежного боку стовбура від місця ушкодження на висоті 1,3 м; ПМ_{0,2} – з протилежного боку стовбура від місця ушкодження на висоті 0,2 м.

Середнє значення показника поляризаційної ємності нижче пошкодження становило $НМ = 10,09 \pm 0,39$ nF. Найвищий показник зафіксовано у МД₁₀ – 13,0 nF, а найнижчий показник зразу у трьох модельних дерев МД₀₆, МД₁₆ та МД₁₈ – 7,8 nF. Уже над механічним пошкодженням цей показник знизився до середнього $ВМ = 7,67 \pm 0,63$ nF, при найвищому показнику 11,8 nF (МД₀₅, МД₁₁, МД₂₀,) та найнижчому – 3,3 nF (МД₁₉). Між середніми значеннями поляризаційної ємності існує достовірна різниця, яка доведена однофакторним дисперсійним аналізом ($F = 10,52 > F_{0,95} (1; 39) = 4,09$). Проте незважаючи, що середні показники поляризаційної ємності під і над пошкодженнями достовірно відрізняються, у окремих дерев ми зафіксували однакові показники у цих локалітетах. Так показник НМ у МД₀₅ = 11,6 nF, а ВМ – 11,8 nF, у МД₁₁ – 11,2 nF та 11,8 nF, у МД₁₇ – 12,0 nF та 11,7 nF, у МД₂₀ – 11,7 nF та 11,8 nF (див. табл. 3.1 – *відмічено жовтим кольором*). Такий розподіл показників може свідчити, що незважаючи на значні пошкодження тканин, про що свідчать показники СМ для цих модельних дерев (1,5 nF, 1,3 nF, 2,0 nF та 1,5 nF відповідно) вони не втратили у повному обсязі здатність до транспорту поживних речовин.

У результаті пошкодження прикамбіальних тканин лубу поляризаційна ємність у місці пошкодження досить низька і становить $1,58 \pm 0,07$ nF. Тут найвищий показник становить 2,5 nF у МД₀₅, а мінімальне значення дорівнює 1,3 nF (МД₀₃, МД₀₄, МД₀₇, МД₁₁, МД₁₈). Така величина чітко відображає сильний характер ушкодження цієї ділянки стовбура. Існує дуже суттєва достовірна різниця між показниками поляризаційної ємності нижче місця ушкодження і у місці ушкодження ($F = 446,44 \gg F_{0,95} (1; 39) = 4,09$) та вище місця ушкодження і у місці ушкодження ($F = 91,72 \gg F_{0,95} (1; 39) = 4,09$).

З протилежного від пошкодження боку стовбура ми вимірювали поляризаційну ємність на висоті 0,2 та 1,3 метра. На висоті 0,2 м вимірюваний показник мав середнє значення $ПМ_{0,20} = 8,37 \pm 0,40$ nF та $ПМ_{1,3} = 8,60 \pm 0,41$ nF. Між цими показниками не існує достовірної різниці ($F = 0,16 < F_{0,95} (1; 39) = 4,09$). Для $ПМ_{0,20}$ максимальне значення поляризаційної

ємності становить 11,9 nF та мінімальне 7,0 nF. Для ПМ_{1,30} максимальне значення поляризаційної ємності становить 12,2 nF та мінімальне 7,3 nF.

Ми порівняли значення ПМ_{1,30} і ПМ_{0,20} з НМ та ВМ і отримали наступні результати. Між показниками ПМ_{1,30} і ПМ_{0,20} та НМ існує достовірні різниця ($F = 6,81 > F_{0,95} (1; 39) = 4,09$ та $F = 9,18 > F_{0,95} (1; 39) = 4,09$ відповідно), а між показниками ПМ_{1,30} і ПМ_{0,20} та ВМ достовірної різниці не існує ($F = 1,55 < F_{0,95} (1; 39) = 4,09$ та $F = 0,88 < F_{0,95} (1; 39) = 4,09$ відповідно).

Нижче ми наводимо узагальнену схему зміни показників поляризаційної ємності сосни звичайної з механічними ушкодженнями стовбура з висотою (рис. 3.4). Оскільки середня висота ушкоджень становить $0,75 \pm 0,06$ м, ми вправі точки вимірів розмістити у такій логічній послідовності від поверхні ґрунту з просуванням вгору по стовбуру сосни звичайної: ПМ_{0,20} – НМ – СМ – ВМ – ПМ_{1,30}.

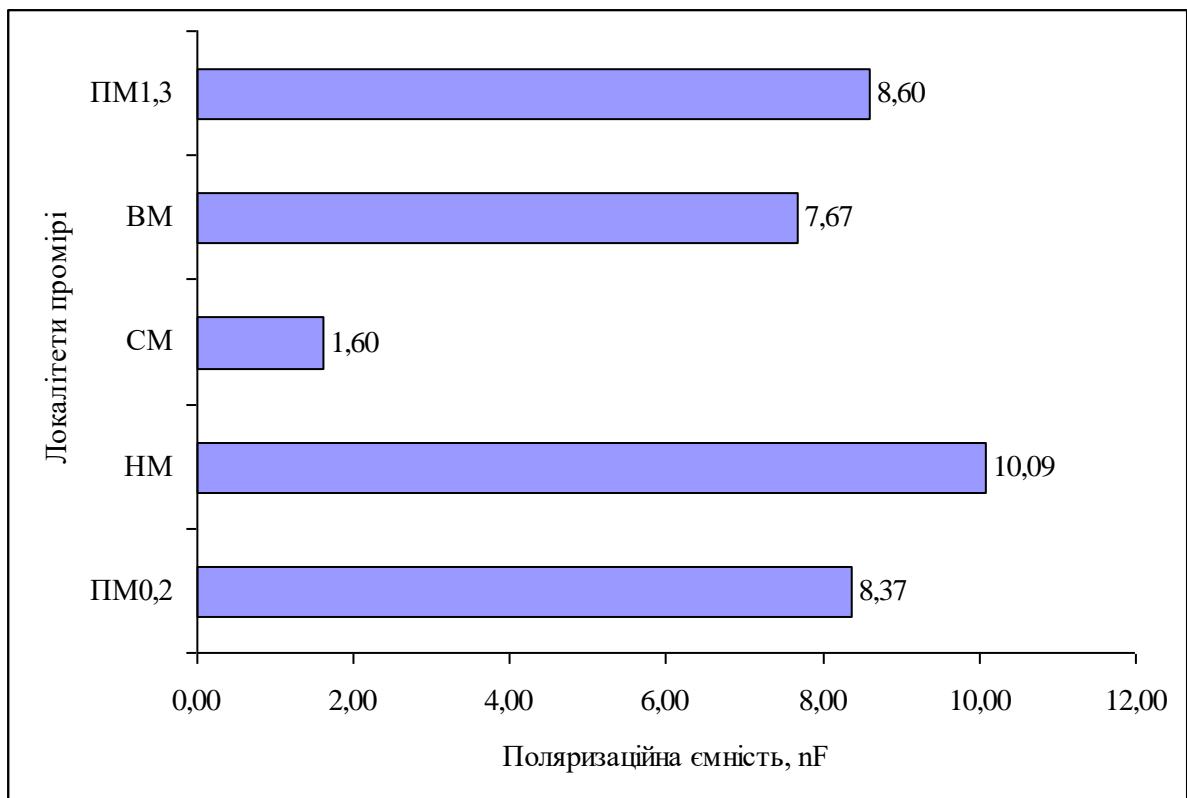


Рис. 3.4. Узагальнена схема середніх показників поляризаційної ємності (C) сосни звичайної з механічними пошкодженнями стовбура локалізованих за висотою.

Аналізуючи середні показники поляризаційної ємності у різних локалітетах ми спостерігаємо наступні закономірності. У нижній частині стовбура маючи певний показник поляризаційної ємності з просуванням вгору достовірно зростає в області, яка знаходиться нижче механічного пошкодження, що можна пояснити надлишком поживних речовин у цій області з-за неможливість руху вгору через пошкоджені тканини, або, скоріш за все, підвищення фізіологічної активності камбіальних тканин, які зосереджені на відновленні механічно пошкоджених тканин. Таке явище характерне для дерев берези повислої під час пошкодження тканин у результаті добування соку [28]. У межах пошкодження показник ємності різко падає, що є закономірним явищем у цій ситуації. Вище пошкодження показники поляризаційної ємності поступово зростають. Спочатку нижче середніх контрольних, а на висоті 1,3 метра вони вже не відрізняються від середньостатистичних по модельних деревах та контрольних. До слова середній показник поляризаційної ємності контрольних дерев сосни звичайної становить $8,53 \pm 0,39$ nF. Ці проміри ми робили на загальноприйнятій висоті для таких досліджень в 1,3 метра. Між показниками поляризаційної ємності модельних дерев сосни звичайної (ПМ_{1,3}) та показниками контрольних дерев не існує достовірної різниці ($F = 0,09 < F_{0,95} (1; 39) = 4,09$). Загалом це може свідчити про локальні зміни показників поляризаційної ємності в області механічного пошкодження стовбура дерев сосни звичайної.

3.3. Зміна імпеданса (активного опору)

Вимірювання активного опору (імпедансу) також проводили другого вересня 2022 року у період активного руху поживних речовин дерев сосни звичайної. Як і з попереднім діелектричним показником з боку стовбура з механічним пошкодженням проводили три заміри. З протилежної сторони

проводили два заміри. Отримані результати вимірювання імпедансу представлені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2

**Показники імпеданса (R) дерев сосни звичайної
з механічними пошкодженнями стовбура, кОм**

№ модельного дерева	Локалізація проведення замірів				
	у місці пошкодження			з протилежного боку	
	НМ	ВМ	СМ	ПМ _{1,3}	ПМ _{0,2}
МД ₀₁	30,0	28,0	120,0*10 ⁵	21,0	22,0
МД ₀₂	22,0	28,0	100,0*10 ⁵	17,0	23,0
МД ₀₃	30,0	35,0	35,0*10 ⁵	28,0	18,5
МД ₀₄	9,0	70,0	38,0*10 ⁵	17,0	18,0
МД ₀₅	14,0	14,0	2,9*10 ⁵	19,0	19,0
МД ₀₆	27,0	27,5	4,9*10 ⁵	32,0	21,0
МД ₀₇	24,5	56,0	56,0*10 ⁵	11,0	28,0
МД ₀₈	29,0	45,0	55,0*10 ⁵	14,0	25,5
МД ₀₉	22,0	28,0	3,0*10 ⁵	28,0	30,0
МД ₁₀	30,0	25,5	100,0*10 ⁵	25,5	12,0
МД ₁₁	11,0	29,0	37,0*10 ⁵	30,0	14,0
МД ₁₂	14,0	28,0	3,2*10 ⁵	28,0	28,0
МД ₁₃	28,0	28,0	4,9*10 ⁵	25,5	25,5
МД ₁₄	25,5	25,5	58,0*10 ⁵	30,0	30,0
МД ₁₅	30,0	44,0	65,0*10 ⁵	22,0	13,0
МД ₁₆	22,0	30,0	3,0*10 ⁵	18,5	14,0
МД ₁₇	18,5	28,0	64,0*10 ⁵	16,5	28,0
МД ₁₈	16,5	25,5	4,9*10 ⁵	14,0	25,5
МД ₁₉	14,0	51,0	58,0*10 ⁵	19,0	17,5
МД ₂₀	27,0	36,0	75,0*10 ⁵	35,0	17,5
Середнє значення	22,20±1,57	34,10±2,91	44,39±8,26*10⁵	22,55±1,53	21,50±1,31

Примітка. Локалітети зняття промірів: НМ – нижче механічного ушкодження; ВМ – вище механічного ушкодження; СМ – середина механічного ушкодження; ПМ_{1,3} – з протилежного боку стовбура від місця ушкодження на висоті 1,3 м; ПМ_{0,2} – з протилежного боку стовбура від місця ушкодження на висоті 0,2 м.

Середнє значення показника імпеданса нижче пошкодження становило $НМ = 22,20 \pm 1,57$ кОм. Найвищий показник зафіксовано зразу у чотирьох модельних дерев, це у МД₀₁, МД₀₃, МД₁₀ та МД₁₅ – 30,0 кОм, а найнижчий показник зразу у модельного дерева МД₀₄ – 9,0 кОм. Уже над механічним пошкодженням показник імпеданса значно зріс до середнього $ВМ = 34,10 \pm 2,91$ кОм, при найвищому показнику 70,0 кОм у МД₀₄ та найнижчому – 14,0 кОм (МД₀₅). Само по собі модельне дерево МД₀₄ цікаве тим, що тут зафіксовано мінімальні показники імпеданса НМ та максимальні ВМ (див. табл. 3.2 – *відмічено жовтим кольором*). Загалом між цими середніми значеннями імпеданса існує достовірна різниця, яка доведена однофакторним дисперсійним аналізом ($F = 12,99 > F_{0,95} (1; 39) = 4,09$). Проте незважаючи, що середні показники імпеданса нижче і вище пошкодженнями достовірно відрізняються, у окремих дерев ми зафіксували однакові показники у цих локалітетах. Так показник НМ та ВМ у МД₀₅ = 14,0 кОм, у НМ та ВМ МД₁₃ = 28,0 кОм (див. табл. 3.2 – *відмічено голубим кольором*). Такий розподіл показників може свідчити, що незважаючи на значні пошкодження транспортних тканин, про що свідчать показники дуже високі показники СМ для цих модельних дерев вони не втратили у повному обсязі здатність до транспорту поживних речовин.

У результаті пошкодження прикамбіальних тканин лубу показники активного опору у місці пошкодження зростають у геометричній прогресії. Так середнє значення становить $44,39 \pm 8,26 * 10^5$ кОм. Тут максимальний показник становить $120,0 * 10^5$ кОм у МД₀₁, а мінімальне значення дорівнює 2,9-3,2 кОм (МД₀₅, МД₀₉, МД₀₇, МД₁₂, МД₁₆). Така величина чітко відображає сильний характер ушкодження цієї ділянки стовбура. Згідно цих показників рух поживних речовин не відбувається. Навіть без використання математико-статистичного апарату зрозуміло, що існує дуже суттєва достовірна різниця між показниками імпеданса нижче місця ушкодження і у місці ушкодження та вище місця ушкодження і у місці ушкодження.

З протилежного від пошкодження боку стовбура нами проміряно активний опір на висоті 0,2 та 1,3 метра. На висоті 0,2 м вимірюваний показник мав середнє значення $ПМ_{0,20} = 21,50 \pm 1,31$ кОм та $ПМ_{1,3} = 22,55 \pm 1,53$ кОм. Між цими показниками не існує достовірної різниці ($F = 0,27 < F_{0,95} (1; 39) = 4,09$). Для $ПМ_{0,20}$ максимальнє значення імпеданса становить 30,0 кОм (МД₀₉, МД₁₄) та мінімальнє 12,0 кОм (МД₁₀). Для $ПМ_{1,30}$ максимальнє значення поляризаційної ємності становить 35,0 кОм (МД₂₀) та мінімальнє 11,0 кОм (МД₀₇).

Ми порівняли значення $ПМ_{1,30}$ і $ПМ_{0,20}$ з НМ та ВМ і отримали наступні результати. Між показниками $ПМ_{1,30}$ і $ПМ_{0,20}$ та НМ не існує достовірної різниці ($F = 0,256 < F_{0,95} (1; 39) = 4,09$ та $F = 0,117 < F_{0,95} (1; 39) = 4,09$ відповідно), а між показниками $ПМ_{1,30}$ і $ПМ_{0,20}$ та ВМ достовірної різниця існує ($F = 12,38 > F_{0,95} (1; 39) = 4,09$ та $F = 15,59 > F_{0,95} (1; 39) = 4,09$ відповідно).

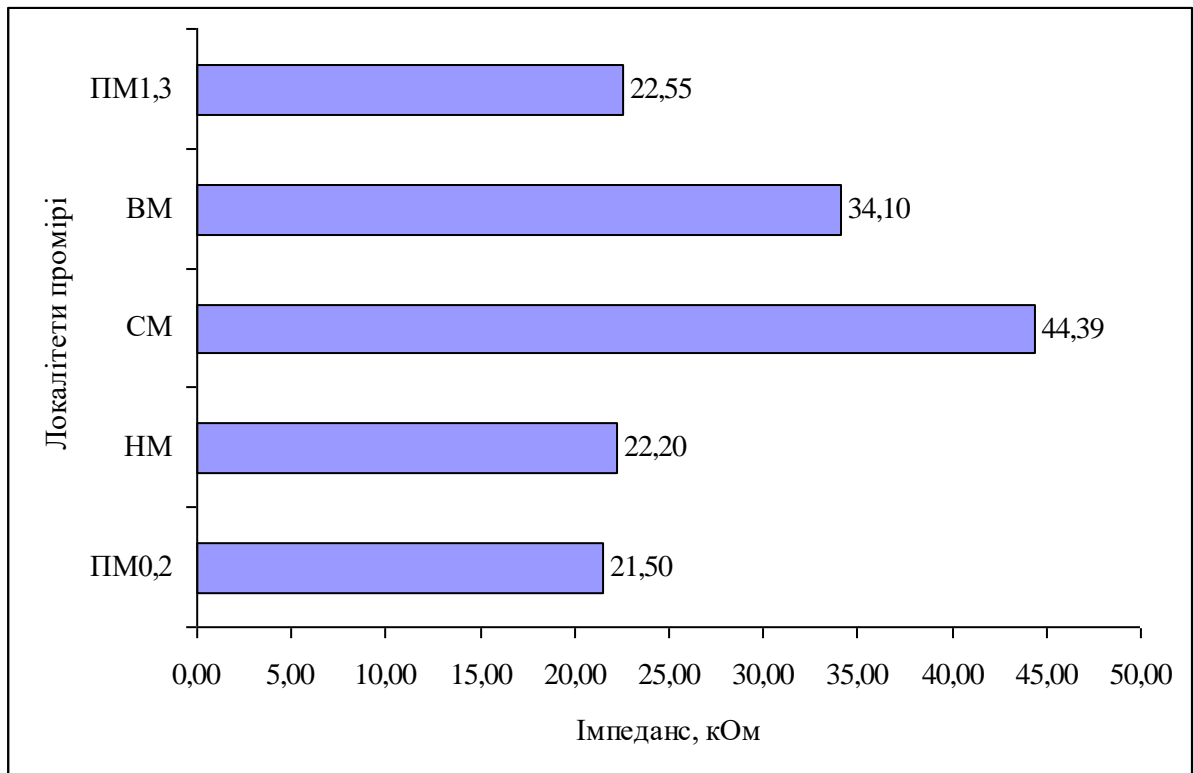


Рис. 3.5. Узагальнена схема середніх показників імпеданса (R) сосни звичайної з механічними пошкодженнями стовбура локалізованих за висотою

Вище ми наводимо узагальнену схему зміни показників імпеданса сосни звичайної з механічними ушкодженнями стовбура з висотою (рис. 3.5).

Оскільки середня висота ушкоджень нами встановлена на рівні $0,75 \pm 0,06$ м, ми маємо повне право точки вимірів розмістити саме у такій логічній послідовності від поверхні ґрунту з просуванням вгору по стовбуру сосни звичайної: ПМ_{0,20} – НМ – СМ – ВМ – ПМ_{1,30}.

Аналізуючи середні показники активного опору у різних локалітетах ми спостерігаємо наступні закономірності. У нижній частині стовбура маючи певний показник імпеданса з просуванням вгору достовірно не зростає майже впритул до пошкоджених тканин. У межах пошкодження показник імпеданса різко зростає у тисячі разів, що є закономірним явищем у цій ситуації. Вище пошкодження показники імпеданса поступово падають, але все ще достовірно відрізняються від показників на висоті 1,3 метра та в основі стовбура. На висоті 1,3 метра вони вже не відрізняються від середньостатистичних по модельних деревах та контрольних. До слова середній показник імпеданса контрольних дерев сосни звичайної становить $23,16 \pm 1,61$ кОм. загалом це свідчить про локальні зміни показників поляризаційної ємності в області механічного пошкодження стовбура дерев сосни звичайної.

ВИСНОВКИ

Виконуючи кваліфікаційну магістерську роботу ми вивчили вплив механічних ушкоджень стовбура на електрофізіологічні показники дерев сосни звичайної. Проведений нами вимірювання діелектричних показників дерев сосни звичайної з механічними пошкодженнями дозволяє нам зробити наступні висновки та узагальнення.

Встановлено, що у районі проведення лісозаготівельних робіт спостерігається значна кількість дерев сосни звичайної з ознаками механічних ушкоджень стовбура. Механічні пошкодження стовбура, які отримані у прижиттєвому стані представлені такими видами як обдир кори та заруб. Нами виділено дві основні причини механічних пошкоджень: це ушкодження під час звалювання дерев (переважно обдир кори) та ушкодження під час транспортування та трелювання сортиментів.

Досліджено, що висота механічних пошкоджень стовбура сосни звичайної різна і коливається у проміжку від 0,35 м до 1,34 м, а середня висота ушкоджень становить $0,75 \pm 0,06$ м.

Аналіз діелектричних показників вказує на зміну поляризаційної ємності та імпеданса лише в області локалізації механічного пошкодження. Для поляризаційної ємності характерне зростання показників безпосередньо нижче ушкодження ($10,09 \pm 0,39$ nF) та різке падіння в області пошкодження ($1,58 \pm 0,07$ nF). Для імпеданса, який є антагоністичним показником до поляризаційної ємності, навпаки, відчутне зростання показника зафіксовано над пошкодженням ($34,10 \pm 2,91$ кОм). У місці пошкодження імпеданс зростає до $120,0 * 10^5$ кОм при середньому показнику $44,39 \pm 8,26 * 10^5$ кОм.

Низькі показники поляризаційної ємності та надвисокі показники імпеданса у місці пошкодження свідчить про руйнування провідних тканин у прикамбіальній області, зміну діелектричних показників навколо області пошкодження – компенсаторними властивостями живих організмів на процес втрати частини поживних речовин.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Божок О.П., Вінтонів І.С. Деревинознавство з основами лісового товарознавства. Київ: НМК ВО, 1992. 320 с.
2. Бондарук Г.В., Лавров В.В. Місце України на європейському ринку лісової продукції та перспективи розвитку під впливом сертифікації лісів. *Наук. вісник УкрДЛТУ*. 2004. Вип. 14.2. С. 103–109.
3. Вінтонів І.С., Сопушинський І.М., Тайшінгер А. Деревинознавство : навчальний посібник. Львів: РВВ УкрДЛТУ, 2005. 256 с.
4. Гайда Ю.І. Сертифікація лісів як інструмент екологічного маркетингу лісогосподарських підприємств. *Ефективна економіка*. 2015. № 1. <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=3711>.
5. Галушка В. П., Заїка В. К., Криницький Г. Т. Електрофізіологічні параметри півсїбсових потомств сосни звичайної різної тривалості підсочки. *Науковий вісник НАУ*. 1999. Вип. 17. С. 133–138.
6. Генсірук С.А., Нижник М.С. Географія лісових ресурсів України : монографія. Львів: УДЛТУ, 1995. 123 с.
7. Генсірук С. А. Ліси України Львів : Українські технології, 2002. 496 с.
8. Гордієнко М.І., Гордієнко Н.М. Лісівничі властивості деревних рослин. Київ: Вістка, 2005. 817 с.
9. ГОСТ 2140-71. Древесина. Пороки. 1972. 94 с.
10. ГОСТ 18408-73. Древесина. Методы определения электрических сопротивлений при постоянном напряжении. 1973. 10 с.
11. Дендрология с основами лесной геоботаники. Под ред В.Н. Сукачева. Ленинград: Гослестехиздат, 1938. 576 с.
12. ДСТУ 2152-93. Вади деревини та дефекти обробки. Терміни та визначення. Київ: Держстандарт України, 1994.

13. Ємельянов В.Г., Ткачук В.І., Турчак Ф.М., Корж З.В., Тичина Л.К. Основи деревинознавства та лісового товарознавства : навчальний посібник. Житомир: Волинь, 2016. 436 с.
14. Заїка В. К., Руденко А.В. Морфофізіологічні особливості дерев сосни звичайної в борах Малого Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2012, т. 22, № 9. С. 9–13.
15. Заячук В.Я. Дендрологія. Львів: СПОЛОМ, 2014. 646 с.
16. Збірник технічних умов на класифікацію лісоматеріалів / Держ. агенство лісових ресурсів. Київ. 2019. 246 с.
17. Ковбаса Н.П., Пауль Э.Э., Ятченко Д.Н., Ярук И.В. Влияние заготовки березового сока на радиальный прирост и качество древесины березы. *Труды БГТУ. Лесное хозяйство*. 2012. №1. С. 235–238.
18. Кратюк О.Л., Кордиш В.О., Лисогор С.М., Осипчук В.М. Використання діелектричних показників для визначення життєздатності дерев сосни звичайної та берези повислої у результаті механічного пошкодження стовбура. *Сучасні проблеми лісового господарства та екології: шляхи вирішення (Факультету лісового господарства та екології – 20 років)*. Матер. Міжнар. науково-практичної конф. (7-8 жовтня 2021 р, м. Житомир). Житомир: Поліський університет, 2021. С. 94–95.
19. Кратюк О.Л., Кордиш В.О., Осипчук В.М. Зміна діелектричних показників сосни звичайної у постпірогенний період. *Вісник Малинського фахового коледжу*. 2022. Вип. 1. С. 123–136.
20. Криницький Г. Т. Об определении жизнеспособности подростa древесных растений биоэлектрическим методом. *Лесной журнал*. 1984. № 4. С. 22–25.
21. Криницький Г. Т. Биоэлектрический метод определения жизнеспособности древесных растений на начальных этапах онтогенеза: препринт. Баку, 1990. 61 с.
22. Криницький Г.Т. Про методику використання електрофізіологічних показників для визначення життєздатності деревних

рослин. Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість. 1992. Т. 23. С. 3–10.

23. Криницький Г. Т. Електрофізіологічні дослідження деревних рослин в Україні. *Фізіологія рослин в Україні на межі тисячоліть*. 2001. Т.2. С. 233–237.

24. Криницький Г. Т., Галушка В. П. Електрофізіологічна реакція сосни звичайної на добування живиці. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2005. Т.15. №2. С. 8–13.

25. Кузик А.Д. Вплив низової пожежі на насадження сосни звичайної. *Науковий вісник УкрДЛТУ*. 2012. Т. 22. №7. С. 19–26.

26. Лавний В. В., Криницький Г. Т. Електрофізіологічні показники підросту деревних порід. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2011. Т.21, №17. С. 86–90.

27. Лебедевич С.І., Шутка С.Є. Сертифікація лісів як метод підвищення надійності системи екологічного менеджменту лісовиробничого комплексу України. *Наук. вісник УкрДЛТУ*. 2006. Вип. 16.5. С. 33–38.

28. Лисогор С.М. Вплив заготівлі соку на фізіологічні особливості берези повислої. *Ліс, наука, молодь: матеріали ІХ Всеукраїнська науково-практичної конференції студентів, магістрів, аспірантів і молодих вчених (24 листопада 2021 р., м. Житомир)*. Житомир, 2021. С. 129.

29. Осадчук Л.С. Вплив підсочування сосни звичайної на життєдіяльність дерев в умовах Малого Полісся. Автореф. дис. ... канд.. с.-г. наук. Львів. 1997. 21 с.

30. Осипенко Ю.Ф., Рябчук В.П. Лесное товароведение. Львов: Вища школа, 1979. 279 с.

31. Осипчук В.М. Особливості зміни діелектричних показників сосни звичайної у результаті механічного пошкодження стовбура в умовах ДП «Лугинське ЛГ». *Проблеми ведення та експлуатації лісових і мисливських ресурсів: матеріали ІІІ Всеукраїнської науково-практичної конференції*

присвяченої пам'яті професора А.І. Гузія. (м. Житомир, 12 жовтня 2022 р.). Житомир, 2022. С. 42–43.

32. Падій М.М. Лісова ентомологія. Київ: УСГА, 1993. 352 с.

33. Про затвердження Санітарних правил в лісах України: Постанова Кабінету Міністрів України від 27 липня 1995 р. № 555 / Кабінет Міністрів України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-%D0%BF#Text>.

34. Проект організації і розвитку лісового господарства ДП «Лугинський лісгосп» Житомирської області. Ірпінь. 2018. 226 с.

35. Соловій І.П. Політика сталого розвитку лісового сектора економіки: парадигма та інструменти: монографія. Львів, 2010. 368 с.

36. Сопушинський І.М., Вінтонів І.С., Гриник Г.Г. Лісова сертифікація – передумова сталого ведення лісового господарства. *Науковий вісник*. 2002. Вип. 12.8. С. 9–13.

37. ТУ У 16.1-00994207-001:2018 Лісоматеріали круглі та пиляні. Візуальні характеристики. Класифікація, терміни та визначення, способи вимірювання. *Збірник технічних умов на класифікацію лісоматеріалів / Держ. агенство лісових ресурсів*. Київ. 2019. С. 107–238.

38. ТУ У 16.1-00994207-002:2018 Лісоматеріали круглі листяних порід. Класифікація за якістю. *Збірник технічних умов на класифікацію лісоматеріалів / Держ. агенство лісових ресурсів*. Київ. 2019. С. 3–27.

39. ТУ У 16.1-00994207-003:2018 Лісоматеріали круглі хвойних та листяних порід. Правила класифікації. *Збірник технічних умов на класифікацію лісоматеріалів / Держ. агенство лісових ресурсів*. Київ. 2019. С. 28–60.

40. ТУ У 16.1-00994207-004:2018 Лісоматеріали круглі. Маркування, сортування, транспортування, приймання, облік та зберігання. *Збірник технічних умов на класифікацію лісоматеріалів / Держ. агенство лісових ресурсів*. Київ. 2019. С. 61–90.

41. Цилюрик А.В., Шевченко С.В. Лісова фітопатологія. Київ: КВІЦ, 2008. 464 с.

42. FSC національний стандарт системи ведення лісового господарства для України. ВЕРСІЯ 3-0. (для публічних консультацій). 2017. 139 с.
43. Kratiuk O. L., Kratyuk V. L. Plant electrophysiology trends in forestry research. *Topical issues of methods of teaching natural sciences: International scientific and practical conference*. (Lublin, December 27-28, 2019) Lublin, Republic of Poland : Baltija Publishing. 2019. P. 78–81.
44. Shortle W. C., Shigo A. L., Berry P., Abusambra J. Electrical resistance in tree cambium zones relationship to rates of growth and wound closure. *For. Sci.* 1977/ Vol.23, №3. P. 326–329.
45. Skutt Richard H., Shigo Alex L., Lessard Ronald A. Detection of Discolored and Decayed Wood in Living Trees Using a Pulsed Electric Current. *Canadian Journal of Forest Research*. 1972. 2(1). 54–56.
46. Volkov A. G. Plant Electrophysiology: Theory and Methods. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2006. 508 p.
47. Volkov A. G. Plant Electrophysiology: Signaling and Responses. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2012. 377 p.
48. Wargo P.M., Skutt H.R. Resistance to pulsed electrical current: an indicator of stress in forest trees. *Canadian Journal of Forest Research*. 1975. Vol. 5. K 4. P. 557–561.