

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

НОВИЦЬКИЙ СЕРГІЙ ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 674.032.475.4

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ВПЛИВУ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРЕВИНИ
ІЗ СУХОСТІЙНИХ ДЕРЕВ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ
НА ДОВГОВІЧНІСТЬ КОНСТРУКЦІЙНИХ ВИРОБІВ**

05.23.06 «Технологія деревообробки,
виготовлення меблів та виробів з деревини»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано в Національному університеті біоресурсів і природокористування України Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник кандидат технічних наук, доцент
Марченко Наталія Валентинівна,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
доцент кафедри технологій
та дизайну виробів з деревини

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Маєвський Володимир Олександрович,
Державний вищий навчальний заклад
«Національний лісотехнічний університет України»,
директор Навчально-наукового інституту
дерев'яних та комп'ютерних технологій і дизайну,
професор кафедри технологій лісопиляння,
столярних і дерев'яних будівельних виробів

доктор технічних наук, професор
Білик Сергій Іванович,
Київський національний університет
будівництва і архітектури,
професор кафедри металевих
та дерев'яних конструкцій

Захист відбудеться «04» грудня 2019 року о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 26.004.11 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розіслано «01» листопада 2019 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Н. В. Буйських

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Впродовж останнього десятиріччя обсяги всихання середньовікових, пристигаючих і стиглих деревостанів сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), яка є домінуючою породою у вітчизняних лісах (33 % від загальної площі), набули в Україні загрозливих масштабів. Станом на 2018 рік загальна площа всихання насаджень досягла 440 тис. га (з яких сосни – 243 тис. га) або близько 4 % від площі лісового фонду України.

Одним з основних і найбільш дієвих засобів попередження масового розповсюдження патологічних процесів у лісах, що спричиняють їх всихання, є санітарні й інші рубки догляду за лісом. В результаті утворюється значна кількість необробленої деревини зниженої товарності, яку класифікують як сухостійну. Лісоматеріали із сухостійних дерев характеризуються такими ознаками, як мікологічні та інсектицидні ураження, тріщини тощо, вплив яких на міцнісні та експлуатаційні характеристики деревної продукції нині мало досліджений.

Цікавість до використання деревини у будівництві, як матеріалу з відновлюваних екологічно чистих видів сировини, традиційно зростає. Одним із можливих напрямів використання сухостійної деревини сосни може бути виробництво конструкційних пиломатеріалів. Відсутність деревинознавчих характеристик такої деревини унеможливує прогнозування її поведінки у процесі обробки та експлуатації і, відповідно, ускладнює визначення напрямів її раціонального використання, особливо у будівництві. Значно нижча вартість лісоматеріалів із сухостійних дерев сосни звичайної, порівняно з лісоматеріалами із неослаблених всиханням дерев, перетворює таку сировину на привабливу з економічної точки зору.

Зазвичай в Україні якість пиломатеріалів, у тому числі конструкційного призначення, визначається на основі візуального огляду. Перехід на оцінювання якості конструкційних пиломатеріалів за фізико-механічними характеристиками дозволить значно ефективніше і раціональніше використовувати деревинні ресурси, особливо із сухостійної деревини.

Конструкційні пиломатеріали переважно використовуються у будівельних спорудах, для проектування яких необхідно володіти відомостями щодо їх експлуатаційної надійності та довговічності. При цьому має бути забезпечений їх цілісний стан та працездатність впродовж тривалого часу під дією зовнішнього середовища.

Розробка практичного інструментарію для оцінки фізико-механічних властивостей конструкційних елементів з деревини із сухостійних дерев сосни звичайної і прогнозування їх довговічності є актуальним та малодослідженим завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню ефективності використання такої деревини у будівництві.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертація є складовою частиною науково-дослідної роботи, що виконувалася і виконується відповідно до основних напрямів наукової діяльності кафедри технологій та дизайну виробів з деревини Національного університету

біоресурсів і природокористування України за темою «Ідентифікація фізико-механічних властивостей сухостійної деревини сосни» (номер державної реєстрації 0115U003708, 2015–2019 рр.).

Мета та завдання дослідження. Мета роботи – теоретичне та експериментальне обґрунтування впливу властивостей деревини із сухостійних дерев сосни звичайної на довговічність елементів конструкційних виробів.

Відповідно до поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

– встановити раціональні параметри термічного оброблення деревини із сухостійних дерев сосни звичайної різних груп всихання, що забезпечують припинення життєдіяльних процесів грибних уражень;

– встановити взаємозв'язок між показниками фізико-механічних властивостей деревини із сухостійних дерев сосни звичайної різних груп всихання;

– визначити вплив розмірів конструкційних елементів з деревини із сухостійних дерев сосни звичайної на їх механічні властивості;

– встановити показники, що впливають на довговічність конструкційних елементів з деревини із сухостійних дерев сосни звичайної;

– розробити математичну модель прогнозування довговічності конструкційних елементів з деревини із сухостійних дерев сосни звичайної.

Об'єкт дослідження – властивості деревини із сухостійних дерев сосни звичайної.

Предмет дослідження – закономірності впливу властивостей деревини із сухостійних дерев сосни звичайної, що забезпечують ефективність її використання у будівництві і дають змогу спрогнозувати довговічність елементів конструкційних виробів.

Методи дослідження: експериментальні методи – для отримання фактичних значень фізико-механічних й експлуатаційних показників деревини сосни звичайної; методи статистичного аналізу – для обробки експериментальних даних; метод планування експерименту – для встановлення регресійних залежностей впливу розмірів конструкційних елементів із деревини на їх механічні властивості; метод математичного моделювання – для прогнозування довговічності конструкційних елементів із деревини; метод імітаційного моделювання – для визначення розмірів поперечного перерізу конструкційних елементів із деревини і терміну їх експлуатації.

Наукова новизна одержаних результатів. На основі методу імітаційного моделювання та експериментальних досліджень вирішено науково-практичне завдання ресурсозбереження деревинної сировини за рахунок використання лісоматеріалів із сухостійних дерев сосни звичайної як конструкційних матеріалів.

Основними результатами досліджень, що характеризують наукову новизну і виносяться на захист, є такі:

вперше:

– отримано раціональні параметри термічного оброблення деревини із сухостійних дерев сосни звичайної різних груп всихання для запобігання розвитку грибів із збереженням міцнісних характеристик;

– отримано залежності між окремими показниками фізичних і механічних властивостей деревини із сухостійних дерев сосни звичайної різних груп всихання;

– обґрунтовано для визначення міцнісних показників конструкційних елементів із цільної деревини сосни використання показника, що залежить від приросту, вмісту пізньої деревини та нормалізованої щільності;

– визначено залежність довговічності конструкційних елементів із цільної деревини сосни від форм-фактора та раціональні співвідношення розмірів їх поперечного перерізу.

Розроблено нову імітаційну модель прогнозування довговічності конструкційних елементів із цільної деревини із сухостійних дерев сосни звичайної залежно від їх розмірів та граничних прогинів, використання якої дасть змогу збільшити ефективність використання такої деревини в будівельних конструкціях.

Практичне значення одержаних результатів. Визначено показники окремих фізико-механічних властивостей деревини із сухостійних дерев сосни звичайної різних груп всихання, зокрема: природної стійкості, значення межі водо- і вологопоглинання, щільності, приросту, вмісту пізньої деревини, модуля Юнга, модуля пружності та межі міцності за статичного згину, межі міцності за стискання вздовж волокон, використання яких дає змогу прогнозувати експлуатаційну тривалість конструкційних елементів з деревини із сухостійних дерев сосни звичайної.

Розроблено рекомендації з визначення довговічності конструкційних елементів з деревини із сухостійних дерев сосни звичайної за заданими розмірами й граничним прогином, що включають можливість встановлення раціональних розмірів конструкційного елемента та необхідного терміну його експлуатації.

Розроблено спосіб визначення щільності пиломатеріалів та спосіб прогнозування довговічності конструкційних елементів із деревини, які апробовано у промислових умовах у ТОВ «Українська холдингова лісопилна компанія» і ТОВ «БФ Паркет».

Отримані результати дисертації використовуються у навчальному процесі кафедри технологій та дизайну виробів з деревини під час викладання дисциплін «Теорія і практика лісопиляння» (ОС «Магістр») та «Технологія дерев'яного домобудування» (ОС «Бакалавр»).

Особистий внесок здобувача полягає в розробленні науково-практичних рекомендацій, програм і методик досліджень, узагальненні даних, в аналізі стану питання, обґрунтуванні й розробленні наукової концепції теми дисертації, формуванні мети та завдань виконаної роботи. Усі наукові розробки, що представлені в дисертації і виносяться на захист, є результатом власних досліджень і авторських здобутків. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертації використано лише ті ідеї та положення, які є результатом особистої роботи здобувача.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися й обговорювалися на: Міжнародній науково-практичній

конференції «Актуальні проблеми лісового сектору та садово-паркового господарства» (м. Київ, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Современные проблемы биологического и технического лесоведения» (м. Йошкар-Ола, Російська Федерація, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Стале управління лісовим комплексом та збалансований розвиток урболандшафтів» (м. Київ, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем» (м. Чернігів, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Практика використання сучасної техніки та технології в деревообробці» (м. Коростень, 2018 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи розвитку екосистемного менеджменту у лісовому комплексі та садово-парковому господарстві» (м. Київ, 2019 р.); науковому семінарі «Деревинознавчі аспекти сухостійної деревини сосни звичайної» (м. Львів, 2019 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 14 наукових праць, з яких стаття у науковому фаховому виданні України, 5 статей у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, стаття у науковому виданні іншої держави, 2 патенти України на корисну модель, 5 тез наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з анотацій вступу, п'яти розділів, висновків та рекомендацій, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг дисертації становить 257 сторінок. Список використаних джерел налічує 210 найменувань. Робота містить 38 таблиць і 46 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми в контексті обраного напрямку дослідження, розкрито зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами, визначено мету та завдання, об'єкт, предмет і методи дослідження, розкрито наукову новизну й практичне значення одержаних результатів, наведено їх апробацію, окреслено особистий внесок здобувача.

У першому розділі «**Стан питання щодо використання сухостійної деревини сосни звичайної**» проаналізовано обсяги всихання деревини сосни звичайної та результати попередніх досліджень з визначення її фізико-механічних властивостей, а також напрямів використання.

Узагальнено дані щодо основних причин, наслідків та обсягів всихання хвойних деревостанів на території України та за її межами. Проведено аналіз основних напрямів використання деревини із сухостійних дерев сосни звичайної. Зазначено, що одним із можливих напрямів використання деревини із сухостійних дерев сосни може бути виробництво конструкційних пиломатеріалів. Однак відсутність характеристичних властивостей такої деревини унеможливорює прогнозування її поведінки у процесі обробки та експлуатації.

Встановлено, що для вивчення впливу показників характеристичних властивостей деревини із сухостійних дерев сосни звичайної на експлуатаційні показники конструкційних лісоматеріалів, з метою прогнозування можливості використання такої деревини у будівельних конструкціях, буде доцільним застосування методу евристичного моделювання досліджуваного процесу, блок-схему якого наведено на рис. 1.

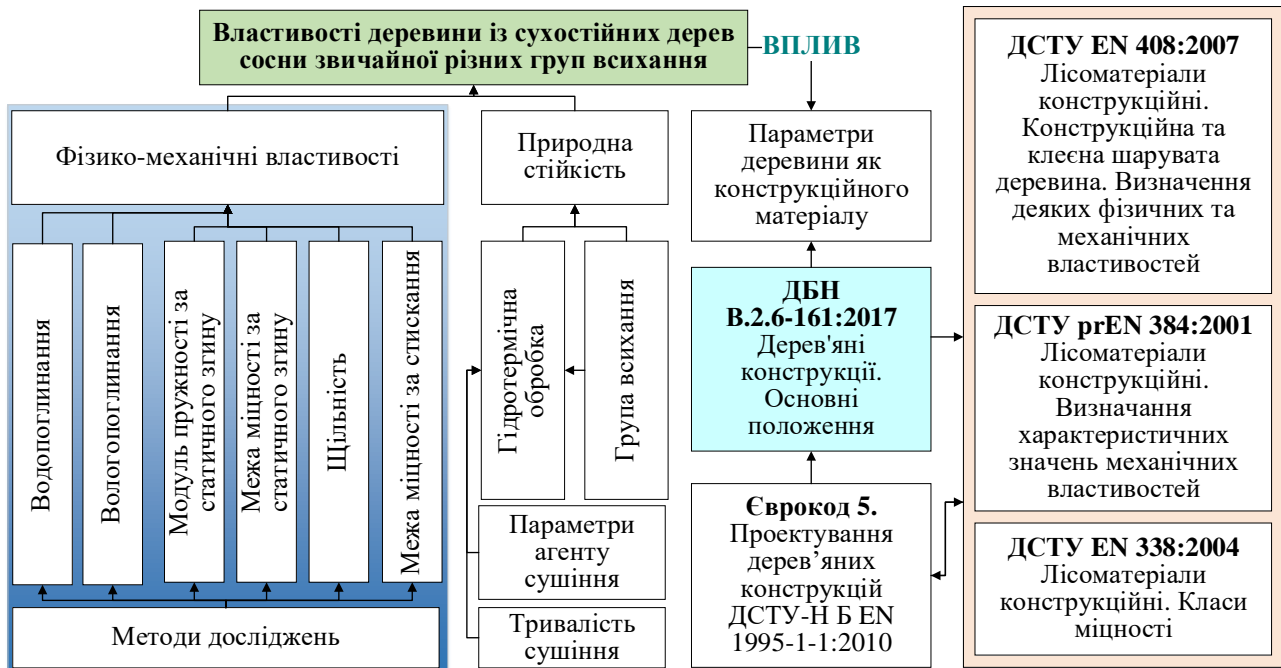


Рис. 1. Блок-схема евристичної моделі досліджень впливу показників характеристичних властивостей деревини із сухостійних дерев сосни звичайної на довговічність конструкційних виробів

Зазначено, що якісною характеристикою деревини, як конструкційного матеріалу, може бути показник її довговічності у певних умовах експлуатації. Під показником довговічності варто розуміти термін експлуатації конструкційного елемента з деревини до першої ознаки руйнування. Довговічність складно прогнозувати без тривалих експериментальних досліджень та великої кількості статистично достовірних даних.

Відсутність практичного інструментарію для оцінки фізико-механічних властивостей конструкційних елементів з деревини і прогнозування їх довговічності та раціональних розмірів не дає змоги ефективно використовувати сухостійну деревину як конструкційний матеріал. Тому нині актуальним питанням стало виявлення закономірностей впливу властивостей деревини із сухостійних дерев сосни звичайної на довговічність конструкційних виробів з неї. На основі результатів виконаного аналізу обґрунтовано актуальність теми, визначено мету та завдання дослідження.

Другий розділ роботи «Довговічність конструкційних матеріалів з деревини сосни звичайної» присвячено теоретичним дослідженням закономірностей впливу властивостей деревини із сухостійних дерев сосни

звичайної та розмірів конструкційних пиломатеріалів з такої деревини на їх міцнісні показники й довговічність.

Ефективність використання дерев'яних конструкцій тісно пов'язана з такими поняттями як надійність і довговічність (тривала міцність). Для оцінки й забезпечення надійності будівель необхідне знання (прогноз) ресурсу всіх конструкцій і терміну їх експлуатації. Довговічність будівельних конструкцій визначається властивістю зберігати працездатність до граничного стану з необхідними перервами на ремонт, за якого їх подальша експлуатація стає неможливою через фізичний знос, а відновлення економічно недоцільним.

Відомо, що найпоширенішим видом вичерпання міцності елементів дерев'яних конструкцій є крихке руйнування, викликане концентрацією напружень (σ , МПа) у вузлових з'єднаннях, зв'язок яких із фізико-механічними властивостями матеріалу визначається законом Гука:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

де E – модуль пружності, МПа; ε – величина відносної деформації, м/м.

Для забезпечення надійної роботи дерев'яних конструкцій необхідно знати показники тривалої міцності деревини. На абсолютну величину міцнісних показників деревини здебільшого впливають порода, щільність, вологість, вади та макроскопічна будова деревини (приріст, вміст пізньої деревини), яка залежить від умов її зростання, а також параметри гідротермічної обробки, розміри та вид напруженого стану.

Для дослідження й визначення довговічності конструкційних елементів із цільної деревини доцільним є використання статистичної теорії міцності, що об'єднує методи розрахунку матеріалів на міцність з урахуванням явищ, на які впливає структурна неоднорідність матеріалу. Тому на практиці за нормальних умов експлуатації (температура і вологість) використовують емпіричну залежність довговічності від напружень, запропоновану В. Р. Регелем:

$$\tau = A \cdot \exp(-\alpha \cdot \sigma), \quad (2)$$

де A – показник, що характеризує залежність довговічності від напруження; α – постійна, що описує взаємозв'язок між довговічністю та природою конкретного матеріалу за постійної температури; σ – напруження в матеріалі, МПа.

Феноменологічна модель із визначення показника довговічності конструкційних елементів з деревини за умови роботи матеріалу на статичний згин у загальному матиме такий вигляд:

$$\tau = f(l, b, h, G, m, \rho, E, \varepsilon, w), \quad (3)$$

де l, b, h – довжина, ширина, товщина розрахункового зразка, мм; G – приріст, мм; m – вміст пізньої деревини, %; ρ – щільність деревини, кг/м³; E – модуль пружності за статичного згину, МПа; w – граничний прогин, мм.

Математична модель із визначення показника довговічності конструкційних елементів з деревини за сталих умов експлуатації для загального випадку буде такою:

$$\tau = A \cdot \exp\left(-\alpha \cdot \frac{12 \cdot E \cdot h \cdot w}{3 \cdot l^2 - 4 \cdot a^2}\right), \quad (4)$$

$$E = \beta \cdot (l \cdot b \cdot h)^{-n}, \quad (5)$$

де a – відстань між точкою прикладання навантаження і найближчою опорою, мм; β – константа, що залежить від матеріалу, МПа; n – показник, що враховує щільність та макроскопічну будову деревини, пропонується визначати, як:

$$n = f(\rho, G, m). \quad (6)$$

Запропонована математична модель визначення показника довговічності конструкційних елементів з деревини за сталих умов навколишнього середовища (4) дає змогу прогнозувати термін експлуатації конструкційних елементів залежно від їх розмірів, граничного прогину та показників макроскопічної будови і щільності деревини. Для реалізації цієї моделі доцільно за результатами експериментальних досліджень знайти: коефіцієнт A , який характеризує показник довговічності залежно від напружень; постійну α , що описує взаємозв'язок між довговічністю та природою конкретного матеріалу за постійної температури; константу β , що залежить від матеріалу і характеризує його жорсткість; показник n , що враховує щільність та макроскопічну будову деревини.

У третьому розділі «Методика експериментальних досліджень» наведено обґрунтування проведення експериментальних досліджень визначення впливу властивостей деревини із сухостійних дерев сосни звичайної на довговічність конструкційних виробів, які виконували у два етапи (рис. 2).



Рис. 2. Блок-схема досліджень властивостей деревини із сухостійних дерев сосни звичайної

Перший етап передбачав проведення досліджень на малих «чистих» зразках деревини сосни з визначення природної стійкості, життєздатності грибних уражень, динамічного модуля пружності, водо- й вологопоглинання, щільності, приросту та вмісту пізньої деревини в річному шарі. У процесі експериментальних досліджень використано деревину з дерев сосни звичайної неослаблених всиханням (здорових) та сухостійних I, II і III груп всихання згідно з умовним поділом за ТУ У 16.1-00994207-001:2018 «Лісоматеріали

круглі та пиляні. Візуальні характеристики. Класифікація, терміни та визначення, способи вимірювання» для порівняння отриманих даних. Зразки відібрані із зони Українського лісостепу та південної частини Полісся на переході в Лісостеп. Усі дослідження виконували за міждержавними та чинними, гармонізованими з європейськими (міжнародними), стандартами.

Другий етап експериментальних досліджень включав у себе встановлення показників міцності та жорсткості малих «чистих» зразків деревини із сухостійних дерев сосни звичайної різних груп всихання і зразків натурних розмірів порівняно з показниками деревини із неослаблених всиханням дерев для дослідження впливу макроскопічної будови, щільності та розмірів зразків деревини на її механічні властивості. Виконано порівняльний аналіз різних методів досліджень із визначення основних механічних властивостей деревини (табл. Таблиця 1). Виявлено принципові відмінності у розмірах зразків, що випробувалися, схемах та швидкостях навантаження як для малих «чистих», так і для зразків (пиломатеріалів) деревини натурних розмірів. Такий стан унеможливорює безпосереднє порівняння існуючих у різних країнах масивів даних фізико-механічних показників деревини та потребує масштабних експериментальних досліджень за єдиною узгодженою методикою.

Таблиця 1

**Відмінності у методах досліджень основних
механічних властивостей деревини**

Параметр	Стандарт	Параметр зразка		Параметр навантаження			
		Переріз зразка ($h \times b$), мм	Довжина зразка (l), мм	Швидкість (v), мм/хв; час навантаження (t), хв	Кількість точок навантаження	Відстань між центрами опор, мм	Відстань між навантажувальними елементами, мм
Модуль пружності за статичного згину	ДСТУ EN 408	Натурні розміри	19h	$v=0,003h$	4	18h	6h
	ГОСТ 21554.1		21–22h	$t=2-5$	3		9h
	ГОСТ 16483.9				4		1/3l
Межа міцності за статичного згину	ГОСТ 16483.3	20×20	300	$v=15 \pm 5$ $t=1,5 \pm 0,5$	4	240	120
	ГОСТ 21554.2	Натурні розміри	21–22h	$t=2-5$	4	18h	1/3l
	ДСТУ EN 408		19h	$t=5 \pm 2$			6h
Межа міцності за стисканням вздовж волокон	ДСТУ EN 408	Натурні розміри	6h	$t=5 \pm 2$	–	–	–
	ГОСТ 21554.4		5h	$t=2-5$	–	–	–
	ГОСТ 16483.10		20×20	30	$t=1,0 \pm 0,5$	–	–

У розділі наведено методику визначення довговічності конструкційних елементів із деревини. Розроблено план експерименту для визначення впливу розмірів натурних зразків деревини із сухостійних дерев та неослаблених

всиханням на показники модуля пружності та межі міцності за статичного згину, в основу якого покладено В-план другого порядку.

У четвертому розділі «Результати експериментальних досліджень» наведено результати експериментальних досліджень із визначення біологічних, фізичних та механічних властивостей деревини сосни звичайної із сухостійних дерев I, II і III груп всихання та із дерев неослаблених всиханням (здорових). Представлено результати досліджень із встановлення впливу термічного оброблення деревини із сухостійних дерев сосни різних груп всихання на життєдіяльні процеси грибів у ній та впливу розмірів зразків, макроскопічної будови і щільності деревини на міцність, жорсткість та довговічність конструкційних елементів з такої деревини.

За результатами досліджень із визначення показника природної стійкості деревини встановлено, що найбільшою природною стійкістю, порівняно з деревиною із неослаблених всиханням дерев, вирізняється деревина із сухостійних дерев сосни звичайної I групи всихання, випиляна з ядрової зони деревного стовбура – значення показника $x=0,09$. Найменша стійкість притаманна деревині із сухостійних дерев III групи всихання, випиляна із заболонної зони стовбура ($x=0,49$). Спостерігається тенденція до збільшення показника природної стійкості деревини зі збільшенням давності всихання в усіх зонах випилюваних зразків, тобто природна стійкість сухостійної деревини вища, ніж неослабленої всиханням.

Важливими у процесі захисту та експлуатації конструкційних елементів з деревини виступають показники її водо- та вологопоглинання. З'ясовано, що водо- й вологопоглинаюча властивості сухостійної деревини сосни мають значну мінливість за групами всихання, що пояснюється життєдіяльними процесам деревозабарвлюючих грибів та зменшенням щільності деревини.

За результатами експериментальних досліджень показників водо- і вологопоглинання сухостійної та неослабленої всиханням деревини сосни звичайної побудовано графіки кінетики процесів (рис. 3–4). Отримані регресійні залежності кількості поглиненої води та вологи від тривалості процесів представлено у вигляді:

- для деревини із неослаблених всиханням дерев (здорової):

$$W_{вод(не)} = 24,631 \ln(t_W) + 29,813, (F_{розр.} = 1,26; F_{табл.} = 2,21); \quad (7)$$

$$W_{вол(не)} = 0,127 \ln(t_W) + 5,700, (F_{розр.} = 1,11; F_{табл.} = 2,21), \quad (8)$$

- для деревини із сухостійних дерев I групи всихання:

$$W_{вод(I)} = 19,804 \ln(t_W) + 4,410, (F_{розр.} = 1,13; F_{табл.} = 2,21); \quad (9)$$

$$W_{вол(I)} = 0,139 \ln(t_W) + 6,464, (F_{розр.} = 1,24; F_{табл.} = 2,21), \quad (10)$$

- для деревини із сухостійних дерев II групи всихання

$$W_{вод(II)} = 26,893 \ln(t_W) + 11,573, (F_{розр.} = 1,47; F_{табл.} = 2,21); \quad (11)$$

$$W_{вол(II)} = 0,121 \ln(t_W) + 5,478, (F_{розр.} = 1,41; F_{табл.} = 2,21), \quad (12)$$

- для деревини із сухостійних дерев III групи всихання:

$$W_{вод(III)} = 24,934 \ln(t_W) + 36,522, (F_{розр.} = 1,56; F_{табл.} = 2,21); \quad (13)$$

$$W_{вол(III)} = 0,1377 \ln(t_W) + 6,008, (F_{розр.} = 1,42; F_{табл.} = 2,21), \quad (14)$$

де $W_{вод}$ – показник водопоглинання, %; $W_{вол}$ – показник вологопоглинання, %; t_W – тривалість процесу, год.

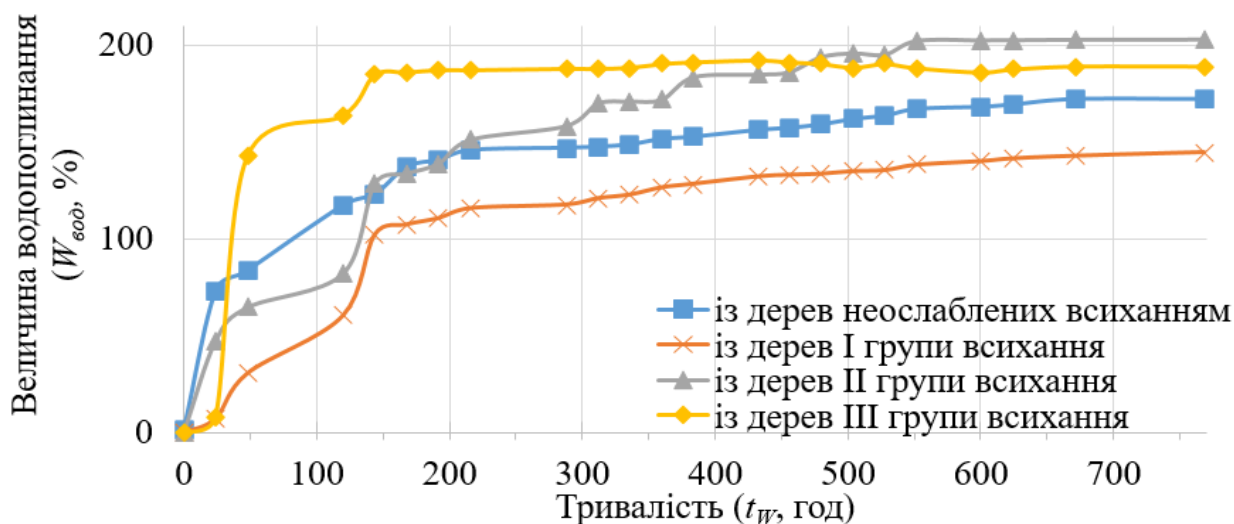


Рис. 3. Кінетика процесу водопоглинання деревини сосни звичайної

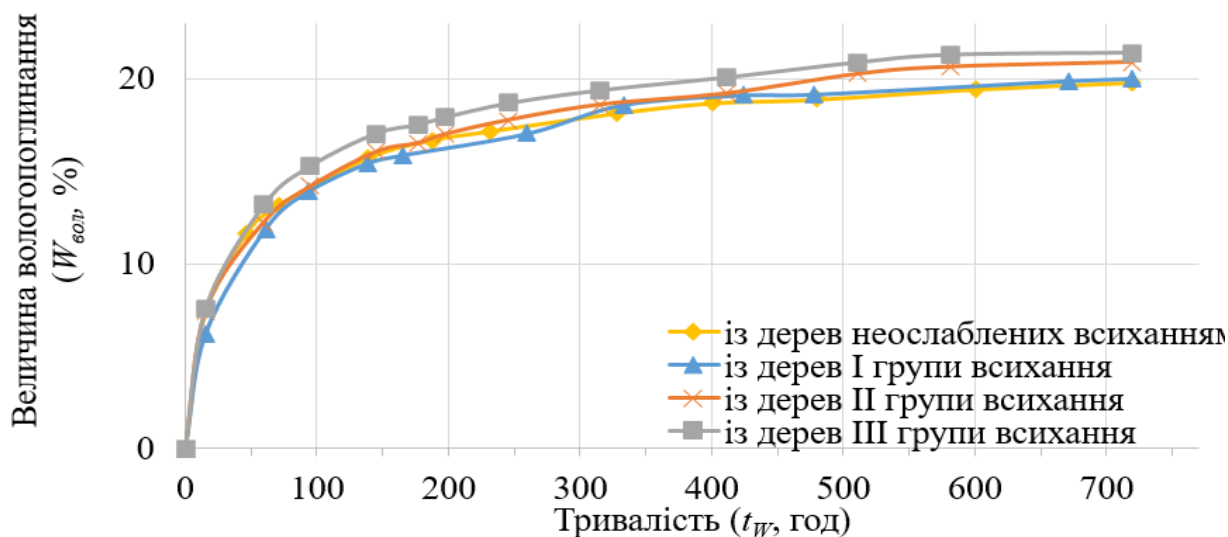


Рис. 4. Кінетика процесу вологопоглинання деревини сосни звичайної

За результатами експериментальних досліджень на малих «чистих» зразках деревини встановлено залежності нормалізованої щільності від вмісту пізньої деревини та показника приросту, які можна представити у вигляді:

- для деревини із неослаблених всиханням дерев:

$$\rho_{12(нв)} = 482,048 - 2,232 \cdot G + 24,446 \cdot m, (F_{розр.} = 1,16; F_{табл.} = 1,96), \quad (15)$$

- для деревини із сухостійних дерев I групи всихання:

$$\rho_{12(I)} = 499,167 - 2,748 \cdot G + 20,507 \cdot m, (F_{розр.} = 1,34; F_{табл.} = 1,96), \quad (16)$$

- для деревини із сухостійних дерев II групи всихання:

$$\rho_{12(II)} = 529,675 - 13,815 \cdot G + 3,045 \cdot m, (F_{розр.} = 1,57; F_{табл.} = 1,96), \quad (17)$$

- для деревини із сухостійних дерев III групи всихання:

$$\rho_{12(III)} = 387,881 - 38,300 \cdot G + 0,787 \cdot m, (F_{розр.} = 1,46; F_{табл.} = 1,96), \quad (18)$$

де ρ_{12} – нормалізована щільність, кг/м^3 .

У зв'язку з недостатністю досліджень й суперечливістю їх результатів щодо життєздатності грибів у сухостійній деревині сосни, а також їх впливу на властивості останньої, виконано дослідження з виявлення життєздатних гіфів грибів після гідротермічної обробки за різних температур повітряного

середовища. Встановлено, що для ліквідації життєдіяльних процесів деревозабарвлюючих грибів сушіння пиломатеріалів із сухостійних дерев сосни звичайної I групи всихання доцільно здійснювати за температури 120 °С, яка недостатня для ліквідації життєдіяльних процесів деревозабарвлюючих грибів у пиломатеріалах із сухостійних дерев II та III груп всихання.

Як свідчать результати досліджень впливу термічної обробки на механічні властивості деревини, міцнісні параметри зразків деревини із сухостійних дерев I групи всихання та неослаблених всиханням, оброблених за температур 77 та 120 °С, відрізняються незначно – в межах 1–5 % (табл. 2). Показники механічних властивостей зразків деревини із сухостійних дерев II та III груп всихання виявилися значно меншими від зразків деревини з дерев неослаблених всиханням: до 14 % – для II групи; до 19 % – для III групи. Отримані значення показників механічних властивостей деревини сосни звичайної дають змогу стверджувати, що як конструкційний матеріал може бути використана деревина із сухостійних дерев I групи всихання та неослаблених всиханням.

Таблиця 2

Результати експериментальних досліджень із визначення показників міцності та жорсткості малих «чистих» зразків деревини сосни звичайної, оброблених за різних температур

Категорія стану дерев	Показник			
	Модуль пружності за статичного згину, ГПа (ГОСТ 16483.9)	Межа міцності за статичного згину, МПа (ГОСТ 16483.3)	Межа міцності за стиску вздовж волокон, МПа (ГОСТ 16483.10)	Щільність, кг/м ³ (ГОСТ 16483.1)
I група всихання	$\frac{15,38 \pm 2,2}{15,12 \pm 2,5^1}$	$\frac{81,72 \pm 8,3}{78,34 \pm 6,8}$	$\frac{52,54 \pm 4,4}{49,15 \pm 4,9}$	440±33
II група всихання	$\frac{15,47 \pm 2,0}{14,78 \pm 2,3}$	$\frac{62,67 \pm 8,2}{58,55 \pm 6,8}$	$\frac{51,79 \pm 7,7}{47,61 \pm 4,6}$	436±36
III група всихання	$\frac{16,10 \pm 3,7}{15,29 \pm 3,3}$	$\frac{59,14 \pm 6,8}{56,87 \pm 6,9}$	$\frac{44,19 \pm 3,6}{41,46 \pm 5,2}$	409±37
Неослаблені всиханням	$\frac{17,63 \pm 3,0}{16,98 \pm 3,2}$	$\frac{73,07 \pm 8,1}{71,23 \pm 9,1}$	$\frac{54,53 \pm 5,3}{51,61 \pm 5,2}$	442±25
ДБН В.2.6-161:2010	10	80	44	–
¹⁾ У чисельнику вказано значення для зразків, висушених за температури 77 °С, у знаменнику – 120 °С				

До 2018 року основним нормативним документом, яким встановлювалися вимоги до міцності зразків «чистої» деревини і пиломатеріалів конструкційного призначення, був ДБН В.2.6-161:2010 «Дерев'яні конструкції. Основні положення», згідно з яким показники фізико-механічних властивостей деревини визначали за міждержавними стандартами (ГОСТ). У зв'язку із переходом України до технічних правил і стандартів ЄС та введенням ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010 «Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд» (EN 1995-1-1:2004, IDT), з 01.02.2018 р. набув чинності ДБН В.2.6-161:2017

«Дерев'яні конструкції. Конструкції будинків і споруд», яким передбачено визначення властивостей деревини лише на зразках натурних розмірів за методиками європейських стандартів (EN), що повністю унеможливує використання вітчизняної бази стандартних довідкових даних за ГСССД 69-84 «Древесина. Показатели физико-механических свойств малых чистых образцов», отриманих на основі досліджень зразків чистої деревини за відповідними ГОСТ. Тому дослідження основних механічних властивостей зразків деревини сосни звичайної із сухостійних дерев І групи всихання порівняно з контрольними зразками деревини із неослаблених всиханням дерев виконані за різними методиками, викладеними у міждержавних та національних (гармонізованих з європейськими) стандартах (табл. 3).

Таблиця 3

Характеристичні значення міцності, жорсткості й щільності зразків чистої деревини сосни звичайної перерізом 20×20 мм

Методика	Джерело даних	Показник							
		Межа міцності за статичного згину ($E_{0,mean}$, МПа)		Модуль пружності за статичного згину ($f_{m,k}$, МПа)		Межа міцності за стиску вздовж волокон ($f_{c,0,k}$, МПа)		Середня щільність ¹⁾ (ρ_k , кг/м ³)	
		СД ²⁾	ЗД ³⁾	СД	ЗД	СД	ЗД	СД	ЗД
ГОСТ	ДБН В.2.6-161:2010	80		10		44		-	
	За результатами досліджень	67,1±8,7	76±6,2	17,4±2,8	19,3±2,5	42,1±5,8	43,9±5,1	414±33	456±28
ДСТУ EN	ДБН В.2.6-161:2017	14–50		7–16		16–29		290–460	
	За результатами досліджень	50,3±5,3	50,4±5,1	10,2±1,7	10,9±1,4	53,6±5,8	57,8±5,3	475±36	523±30
¹⁾ Вміст пізньої деревини (m , %) – 28,4–53,6 %. Приріст (G , мм) – 0,92–4,2 мм ²⁾ СД – деревина із сухостійних дерев І групи всихання ³⁾ ЗД – деревина із неослаблених всиханням дерев (контрольні зразки)									

Встановлено, що деревина сосни звичайної із сухостійних дерев І групи всихання повністю задовольняє вимогам до елементів дерев'яних конструкцій, встановленим у ДБН В.2.6-161:2017, і може бути використана як конструкційний матеріал.

За результатами експериментальних досліджень отримано залежність модуля Юнга від нормалізованої щільності деревини, яка може бути описана такими рівняннями:

- для деревини із неослаблених всиханням дерев ($E_{d(не)} = 12,8 \pm 0,2$ ГПа):

$$E_{d(не)} = 0,0176 \cdot \rho_{12} + 4,4155, (F_{розр.} = 0,72; F_{табл.} = 2,97), \quad (19)$$

- для деревини із сухостійних дерев І групи всихання ($E_{d(I)} = 11,4 \pm 2,1$ ГПа):

$$E_{d(I)} = 0,0232 \cdot \rho_{12} + 1,5691, (F_{розр.} = 0,92; F_{табл.} = 2,97), \quad (20)$$

- для деревини із сухостійних дерев II групи всихання ($E_{\partial(II)} = 10,7 \pm 2,9$ ГПа):

$$E_{\partial(II)} = 0,0263 \cdot \rho_{12} + 0,4102, (F_{розр.} = 1,09; F_{табл.} = 2,97), \quad (21)$$

- для деревини із сухостійних дерев III групи всихання ($E_{\partial(III)} = 10,1 \pm 0,6$ ГПа):

$$E_{\partial(III)} = 0,0235 \cdot \rho_{12} + 0,106, (F_{розр.} = 1,55; F_{табл.} = 2,97), \quad (22)$$

де E_{∂} – Модуль Юнга, ГПа.

Встановлено залежність показників модуля пружності та межі міцності за статичного згину (табл. 4) від розмірів конструкційних елементів, яка може бути описана такими рівняннями:

- для деревини із неослаблених всиханням дерев:

$$E_{0,mean} = 19468,992 + 21,279 \cdot b - 16,654 \cdot l + 2,076 \cdot h^2, (F_{розр.} = 0,86; F_{табл.} = 1,97); \quad (23)$$

$$f_{m,k} = 47,265 + 0,080 \cdot b - 0,029 \cdot l + 0,003 \cdot h^2, (F_{розр.} = 1,13; F_{табл.} = 1,97), \quad (24)$$

- для деревини із сухостійних дерев I групи всихання:

$$E_{0,mean} = 19593,711 + 29,144 \cdot b - 19,860 \cdot l + 2,643 \cdot h^2, (F_{розр.} = 0,93; F_{табл.} = 1,97); \quad (25)$$

$$f_{m,k} = 47,067 + 0,086 \cdot b - 0,031 \cdot l + 0,003 \cdot h^2, (F_{розр.} = 1,14; F_{табл.} = 1,97), \quad (26)$$

де $E_{0,mean}$ – характеристичне значення модуля пружності за статичного згину, МПа; $f_{m,k}$ – характеристичне значення межі міцності за статичного згину, МПа.

Таблиця 4

**Результати експериментальних досліджень із визначення
характеристичних значень міцності та жорсткості зразків натурних
розмірів із деревини сосни**

Розмір зразка ¹⁾ , мм			Форм-фактор (h/b)	Характеристичне значення				Класи міцності за ДСТУ EN 338	
				Межа міцності за статичного згину ($E_{0,mean}$, МПа)		Модуль пружності за статичного згину ($f_{m,k}$, МПа)		СД	ЗД
l	b	h	СД	ЗД	СД	ЗД	СД		
700	50	35	0,7	37,8±10,7	38,2±10,7	9982±139	10898±45	C20	C22
700	100	35	0,35	33,3±8,9	33,6±7,4	11242±1262	11814±17	C24	C27
1000	50	50	1	24,5±12,7	26,8±10,5	8361±1452	10232±10	C16	C22
1000	100	50	0,5	36,9±7,1	37±6,5	10438±499	11176±717	C22	C24
1300	50	65	1,3	24±12,5	25±11,5	7178±228	8417±130	C14	C16
1300	100	65	0,65	26,7±10,5	27,8±9,5	7700±558	8269±780	C14	C16
1600	50	80	1,6	20,9±5,3	21±3	5026±1810	5770±2282	–	–
1600	100	80	0,8	26,8±7,7	27,3±7,1	6630±757	7433±1320	–	C14
2000	50	100	2	19,3±6,6	19,7±6,3	7986±148	7979±578	C14	C14
2000	100	100	1	24,3±7,4	25±3,7	9810±1270	9925±135	C20	C20

¹⁾ l, b, h – довжина, ширина, висота зразків, мм

Спостерігається вплив співвідношення товщини до ширини (форм-фактор) на міцнісні параметри конструкційних елементів із цільної деревини і, відповідно, на їх класи міцності. Найвищі показники межі міцності й модуля пружності за статичного згину зафіксовано для зразків із значенням форм-фактора 0,35, 0,5 та 0,7, яким присвоєні найвищі класи міцності. Найнижчі класи міцності відзначено в конструкційних елементів із співвідношенням

розмірів товщини до ширини 0,65, 0,8 і більше. Встановлено, що конструкційні елементи із цільної деревини сосни із сухостійних дерев мають нижчий клас міцності, ніж із дерев неослаблених всиханням за рахунок меншого значення модуля пружності ($E_{0,mean}$, МПа), що необхідно враховувати при проектуванні конструкцій з такої деревини.

Виявлено взаємозв'язок між межею міцності та модулем пружності деревини сосни звичайної, регресійні рівняння для опису якого мають такий вигляд:

- для деревини із неослаблених всиханням дерев:

$$f_{m,k} = 0,0057 \cdot E_{0,mean} + 4,8977, (F_{розр.} = 0,96; F_{табл.} = 2,97), \quad (27)$$

- для деревини із сухостійних дерев I групи всихання:

$$f_{m,k} = 0,0051 \cdot E_{0,mean} + 1,2529, (F_{розр.} = 0,96; F_{табл.} = 2,97). \quad (28)$$

За результатами експериментальних досліджень розраховано значення постійної β , що характеризує величину модуля пружності деревини, як матеріалу і визначається на зразках чистої деревини з поперечним перерізом 20×20 мм і довжиною вздовж волокон 400 мм. Таким чином вираз (5) набуде вигляду:

- для деревини із неослаблених всиханням дерев:

$$E_{0,mean} = 10881 \cdot (l \cdot b \cdot h)^{-n}, \quad (29)$$

- для деревини із сухостійних дерев I групи всихання:

$$E_{0,mean} = 10247 \cdot (l \cdot b \cdot h)^{-n}, \quad (30)$$

де 10881 , 10247 – характеристичне значення модуля пружності за статичного згину ($E_{0,mean}$, МПа) зразків чистої деревини сосни звичайної; n – показник, що враховує щільність і макроскопічну будову деревини (рис. 5), для розрахунку якого запропоновані регресійні рівняння, отримані за результатами експериментальних досліджень:

- для деревини із неослаблених всиханням дерев:

$$n = 0,0511 - 0,0086 \cdot G - 0,00003 \cdot m + 0,00006 \cdot \rho_{12}, (F_{розр.} = 1,04; F_{табл.} = 1,97), \quad (31)$$

- для деревини із сухостійних дерев I групи всихання:

$$n = 0,0412 - 0,0076 \cdot G - 0,00004 \cdot m + 0,0001 \cdot \rho_{12}, (F_{розр.} = 1,11; F_{табл.} = 1,97). \quad (32)$$

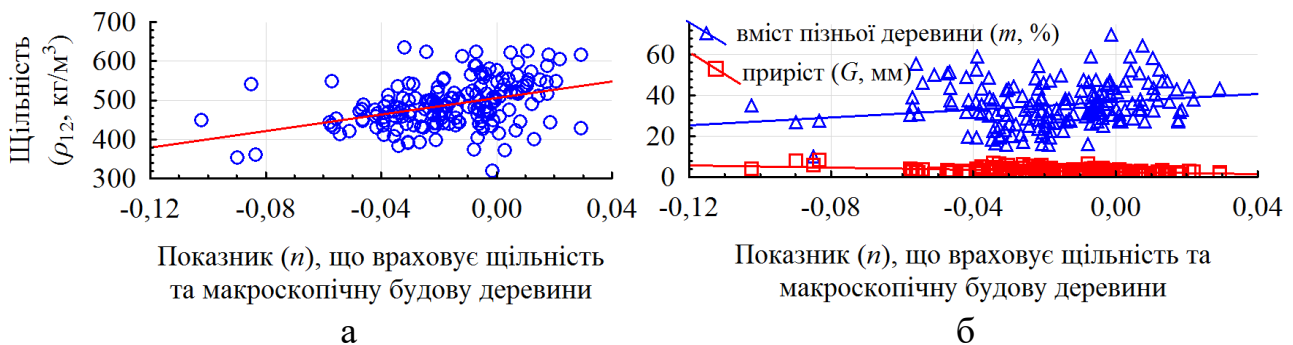


Рис. 5. Взаємозв'язок показника, що враховує щільність і макроскопічну будову деревини з показниками: а – нормалізованої щільності; б – вмісту пізньої деревини та приросту

З метою прогнозування експлуатаційного терміну конструкційних елементів з деревини сосни звичайної (із сухостійних дерев І групи всихання та неослаблених всиханням) виконано експериментальні дослідження з визначення показника довговічності, які передбачали встановлення часу до першої ознаки руйнування зразка залежно від дії зовнішнього навантаження та величини напружень, що виникають у ньому. За результатами досліджень встановлено вплив величини навантаження, модуля пружності та ширини елементів з деревини на величину напружень і отримано відповідну регресійну залежність:

$$\sigma = 0,3422 \cdot b + 0,0479 \cdot P + 0,5128 \cdot E_{0,mean}, (F_{розр.} = 0,85; F_{табл.} = 1,97). \quad (33)$$

Підтверджено, що за відсутності малих і великих (руйнівних) напружень, залежність показника довговічності в логарифмічних координатах часу дії навантаження має лінійний характер. Проте зв'язок цих показників у натуральних величинах має явно виражену експоненціальну залежність (рис. 6).

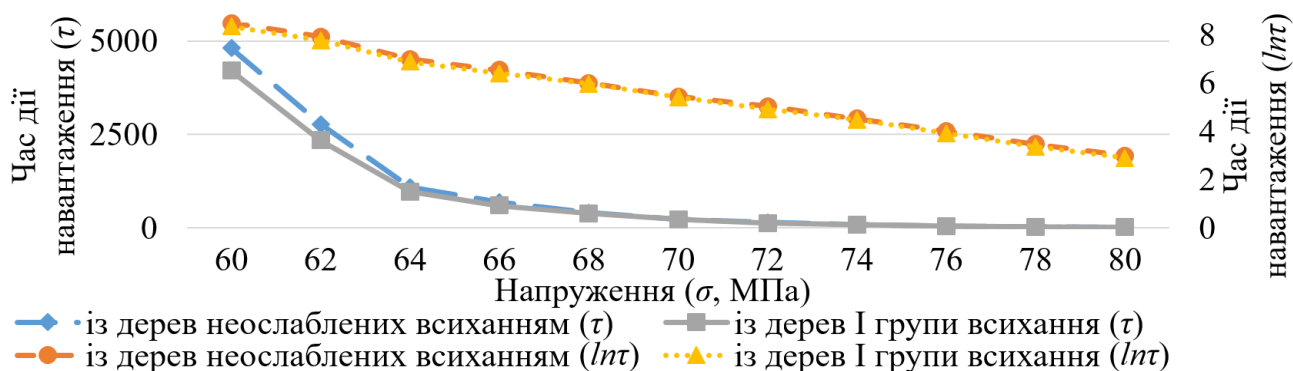


Рис. 6. Результати експериментальних досліджень з визначення залежності показника довговічності зразків розмірами 20×20×400 мм деревини сосни звичайної в координатах часу

Для реалізації математичної моделі (4) із визначення показника довговічності конструкційних елементів із цільної деревини за результатами експериментальних досліджень визначено: показник A , що характеризує залежність довговічності від напруження, який для деревини з дерев неослаблених всиханням становить 181, для деревини із сухостійних дерев І групи всихання – 186,01; та постійна a , що описує взаємозв'язок між довговічністю та природою конкретного матеріалу за постійної температури – 0,051.

Отже, математичну модель для прогнозування довговічності конструкційних елементів із цільної деревини сосни звичайної (4) можна представити у вигляді таких рівнянь:

- для деревини із неослаблених всиханням дерев:

$$\tau = 181 \cdot \exp \left(-0,051 \cdot \frac{12 \cdot E \cdot h \cdot w}{3 \cdot l^2 - 4 \cdot a^2} \right), \quad (34)$$

де $E = 10881 \cdot (l \cdot b \cdot h)^{-(0,0511 - 0,0086 \cdot G - 0,00003 \cdot m + 0,00006 \cdot \rho_{12})}$,

- для деревини із сухостійних дерев I групи всихання:

$$\tau = 186,01 \cdot \exp\left(-0,051 \cdot \frac{12 \cdot E \cdot h \cdot w}{3 \cdot l^2 - 4 \cdot a^2}\right), \quad (35)$$

де $E = 10247 \cdot (l \cdot b \cdot h)^{-(0,0412 - 0,0076 \cdot G - 0,00004 \cdot m + 0,0001 \cdot \rho_{12})}$.

Результати виконаних довготривалих і середньої тривалості (за ДБН В 2.6-161:2017) досліджень довговічності конструкційних елементів із деревини сосни розмірами, наведеними в табл. 4, свідчать про відхилення від отриманих за математичними моделями (34, 35) значень у межах 25 % та виявили значну мінливість показника A залежно від співвідношення розмірів поперечного перерізу зразків (форм-фактора). Тому запропоновано визначати показник A за рівнянням, отриманим на основі експериментальних досліджень з урахуванням форм-фактору:

$$A = 3,5485 \cdot (h/b)^2 - 13,831 \cdot (h/b) + 21,338, \quad (F_{розр.} = 1,69; F_{табл.} = 2,1), \quad (36)$$

де h/b – співвідношення товщини до ширини конструкційного елементу (форм-фактор).

Результати прогнозування довговічності конструкційних елементів із деревини сосни (з сухостійних дерев I групи всихання та неослаблених всиханням) за рівнянням (35) з урахуванням визначення показника A за виразом (36) дають змогу стверджувати, що математичні моделі (34 і 35) є адекватними, оскільки відмінність між прогнозованими і експериментальними значеннями не перевищує 9 % (рис. 7).

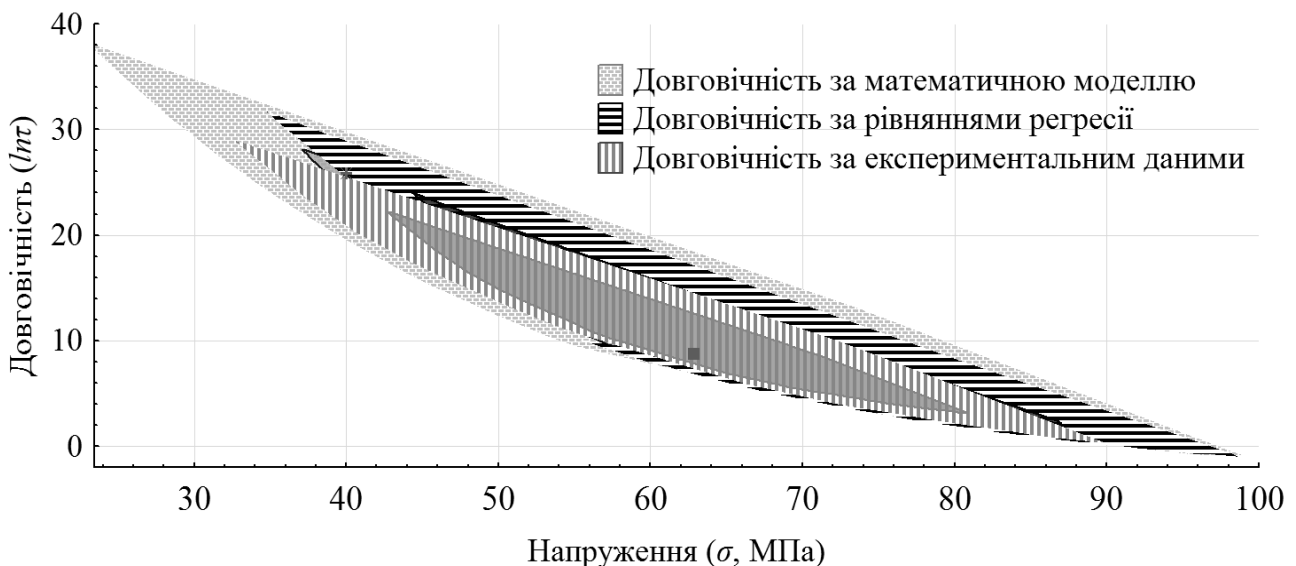


Рис. 7. Розподіл розрахункових даних за математичною моделлю (35), рівняннями регресії (33) та експериментальними даними для деревини із сухостійних дерев I групи всихання

П'ятий розділ «Рекомендації з визначення довговічності та розмірів конструкційних елементів із деревини сосни звичайної залежно від її властивостей» присвячено прогнозуванню довговічності та визначенню раціональних розмірів конструкційних елементів з деревини із сухостійних дерев сосни звичайної.

Для практичного використання результатів досліджень розроблено алгоритм реалізації імітаційної моделі прогнозування довговічності конструкційних елементів із деревини сосни звичайної (із сухостійних та неослаблених всиханням дерев) за нормальних умов експлуатації залежно від їх розмірів, щільності, характеристик макроскопічної будови деревини (рис. 8). Алгоритм включає можливість визначення раціональних розмірів конструкційних елементів із цільної деревини за заданим прольотом, граничним прогином та необхідним терміном їх експлуатації.



Рис. 8. Алгоритм реалізації імітаційної моделі прогнозування довговічності конструкційних елементів залежно від їх розмірів, щільності, характеристик макроскопічної будови деревини та граничного прогину

Імітаційна модель прогнозування довговічності конструкційних елементів з деревини сосни звичайної включає спосіб прогнозування їх довговічності, який базується на виконанні безруйнівних випробувань безпосередньо в технологічному процесі виготовлення конструкційних пиломатеріалів.

З метою підвищення ефективності використання деревини сосни звичайної із сухостійних дерев, розроблено рекомендації з визначення довговічності та раціональних розмірів конструкційних елементів з такої

деревини для виробників конструкційних пиломатеріалів, які впроваджено на двох лісопиляльно-деревобробних підприємствах. Впровадження розроблених рекомендацій щодо використання деревини сосни звичайної із сухостійних дерев I групи всихання як сировини для виготовлення конструкційних пиломатеріалів на підприємствах з обсягом виробництва продукції 120 тис. м³ на рік дасть змогу збільшити дохід від реалізації конструкційних пиломатеріалів на 50,4 млн грн/рік.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено науково-практичне завдання ресурсозбереження деревинної сировини завдяки використанню лісоматеріалів із сухостійної деревини сосни звичайної як конструкційних матеріалів.

1. Встановлено, що ефективним напрямом використання деревини із сухостійних дерев сосни звичайної, як можливого сировинного резерву у промисловості, є виробництво конструкційних пиломатеріалів.

2. Визначено, що для ліквідації життєдіяльних процесів дерево-забарвлюючих грибів сушіння пиломатеріалів із сухостійних дерев сосни звичайної I групи всихання доцільно здійснювати за температури 120 °С, яка недостатня для ліквідації життєдіяльних процесів деревозабарвлюючих грибів у пиломатеріалах із сухостійних дерев II та III груп всихання. Встановлено, що міцнісні параметри зразків деревини із сухостійних дерев I групи всихання й неослаблених всиханням, оброблених за температур 77 та 120 °С, відрізняються незначно – в межах 1–5 %. Показники механічних властивостей зразків деревини з дерев II та III груп всихання значно менші від зразків деревини з дерев неослаблених всиханням – до 19 %. Сухостійна деревина з дерев I групи всихання може бути використана як конструкційний матеріал.

3. Значення показника водопоглинання деревини сосни з дерев неослаблених всиханням становить 185 %, для деревини із сухостійних дерев I групи всихання – 154 %, II групи всихання – 175 %, III групи всихання – 191 %. Значення показника вологопоглинання деревини сосни з дерев неослаблених всиханням становить 17,6 %, для деревини із сухостійних дерев I групи всихання – 16,4 %, II групи всихання – 16,9 %, III групи всихання – 17,4 %. З'ясовано, що водо- і вологопоглинаюча властивості сухостійної деревини сосни мають значну мінливість за групами всихання, що пояснюється життєдіяльними процесам деревозабарвлюючих грибів та зменшенням щільності деревини.

4. Встановлено зменшення щільності деревини із сухостійних дерев порівняно з відповідним показником деревини сосни з дерев неослаблених всиханням у межах: від 1,5 % для деревини із сухостійних дерев I групи всихання і до 12 % для деревини із сухостійних дерев III групи всихання. Встановлено залежність щільності від таких показників як приріст та вміст пізньої деревини, отримано регресійні рівняння цієї залежності.

5. Встановлено зменшення показника модуля Юнга деревини із сухостійних дерев порівняно з відповідним показником деревини сосни з дерев

неослаблених всиханням у межах: від 11 % для деревини із сухостійних дерев І групи всихання і до 21 % для деревини із сухостійних дерев ІІІ групи всихання. За результатами досліджень отримано лінійну залежність модуля Юнга від щільності деревини.

6. Встановлено, що найбільша природна стійкість, порівняно з деревиною із неослаблених всиханням дерев, притаманна деревині із сухостійних дерев сосни звичайної з дерев І групи всихання, випиляна з ядрової зони деревного стовбура – значення показника $x=0,09$. Найменшу стійкість має деревина із сухостійних дерев ІІІ групи всихання, випиляна із заболонної зони стовбура ($x=0,49$). Спостерігається тенденція до збільшення показника природної стійкості деревини зі збільшенням давності всихання в усіх зонах випилюваних зразків, тобто природна стійкість сухостійної деревини вища, ніж неослабленої всиханням.

7. Встановлено вплив співвідношення товщини до ширини (форм-фактор) на міцнісні параметри конструкційних елементів із цільної деревини та їх класи міцності. Найвищі показники межі міцності й модуля пружності за статичного згину зафіксовано для зразків із значенням форм-фактору 0,35, 0,5 та 0,7, що відповідає значенням: а) межі міцності за статичного згину: для деревини із сухостійних дерев І групи всихання – від 33,3 до 37,8 МПа; для деревини із неослаблених всиханням дерев – від 33,6 до 37,8 МПа; б) модуля пружності за статичного згину: для деревини із сухостійних дерев І групи всихання – від 9982 до 11242 МПа; для деревини із неослаблених всиханням дерев – від 10898 до 11814 МПа. Найнижчі показники міцності та жорсткості встановлено у конструкційних елементів із співвідношенням розмірів товщини до ширини 0,65, 0,8 і більше.

8. Визначено показник, який враховує щільність і макроскопічну будову деревини, та отримано його залежність від параметрів приросту, вмісту пізньої деревини та нормалізованої щільності.

9. Визначено показник A , що характеризує залежність довговічності від напруження (для деревини із неослаблених всиханням дерев – 181, для деревини із сухостійних дерев І групи всихання – 186,01), та постійну α , що описує взаємозв'язок між довговічністю та природою конкретного матеріалу за постійної температури, яка для деревини сосни становила 0,051. Встановлено значну мінливість показника A залежно від співвідношення розмірів поперечного перерізу зразків (форм-фактору) та запропоновано його визначення за отриманою регресійною залежністю.

10. Для практичної реалізації результатів досліджень розроблено алгоритм імітаційної моделі прогнозування довговічності конструкційних елементів із деревини сосни звичайної (із сухостійних та неослаблених всиханням дерев) за нормальних умов експлуатації залежно від їх розмірів, щільності, характеристик макроскопічної будови деревини та граничного прогину, що базується на виконанні безруйнівних випробувань безпосередньо в технологічному процесі виготовлення конструкційних пиломатеріалів.

11. Розроблено рекомендації з визначення довговічності та раціональних розмірів конструкційних елементів з деревини сосни звичайної із сухостійних

дерев для виробників конструкційних пиломатеріалів. Впровадження розроблених рекомендацій та використання деревини сосни звичайної із сухостійних дерев І групи всихання як сировини для виготовлення конструкційних пиломатеріалів на підприємствах з обсягом виробництва продукції до 120 тис. м³ на рік дасть змогу збільшити дохід від реалізації конструкційних пиломатеріалів на 50,4 млн грн/рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Стаття у науковому фаховому виданні України

1. Сирко З. С., Горбачова А. Ю., **Новицький С. В.** Исследование биостойкости термообработанной древесины. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2017. Вип. 189. С. 8–13. *(Здобувачем зібрано дані та проведено аналіз біостійкості термообробленої деревини).*

Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних:

2. Марченко Н. В., **Новицький С. В.**, Іноземцев Г. Б., Несвідомін В. М. Деякі експлуатаційні властивості низькоякісної деревини сосни звичайної. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2017. Т. 27. № 1. С. 157–159. *(Здобувачем особисто досліджено показники міцності та жорсткості деревини із сухостійних дерев сосни звичайної).*

3. Марченко Н. В., **Новицький С. В.**, Зав'ялов Д. Л. Щодо можливості використання низькоякісної деревини сосни у будівництві. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2017. Вип. 266. С. 211–219. *(Здобувачем особисто поставлено завдання, проведено експериментальні дослідження).*

4. **Новицький С. В.**, Марченко Н. В., Зав'ялов Д. Л. Водопоглинаюча здатність сухостійної деревини сосни. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія: Лісівництво та декоративне садівництво. 2017. Вип. 278. С. 194–200. *(Здобувачем особисто досліджено процес водопоглинання деревини із сухостійних дерев сосни звичайної).*

5. Новицький С. В. Деревинознавчі аспекти сухостійної деревини сосни звичайної. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2018. Т. 28. № 6. С. 109–112.

6. Марченко Н. В., **Новицький С. В.**, Зав'ялов Д. Л. Особливості кінетики водо- та вологопоглинання сухостійної деревини сосни звичайної. Технічні науки та технології. 2018. № 3 (13). С. 269–276. *(Здобувачем особисто поставлено завдання, проведено експериментальні дослідження).*

Стаття у науковому виданні іншої держави:

7. Марченко Н. В., **Новицький С. В.**, Зав'ялов Д. Л. К вопросу об использовании низкокачественной древесины сосны. *Annals of Warsaw*

University of Life Sciences. 2016. № 95. С. 242–245. *(Здобувачем зібрано дані та проведено аналіз напрямів використання низькоякісної деревини).*

Патенти України на корисну модель:

8. Головач В. М., Марченко Н. В., **Новицький С. В.** Патент на корисну модель № 111099 Україна, МПК (2016.10) G01N 9/00. Спосіб визначення щільності пиломатеріалів; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природокористування України. № 2016 у 06567; заявлено 15.06.2016; опубліковано 25.10.2016; Бюл. № 20. *(Здобувачем особисто розроблено формулу винаходу на корисну модель).*

9. Головач В. М., **Новицький С. В.** Патент на корисну модель № 111099 Україна, МПК (2019.01) G01N 3/00. Спосіб прогнозування довговічності конструкційних елементів з деревини; заявник та патентовласник Національний університет біоресурсів і природо-користування України. № 2018 у 07179; заявлено 26.06.2018; опубліковано 10.01.2019; Бюл. № 20. *(Здобувачем особисто розроблено формулу винаходу на корисну модель).*

Тези наукових доповідей:

10. Марченко Н. В., **Новицький С. В.**, Зав'ялов Д. Л. Щодо можливих напрямів використання низькоякісної деревини сосни звичайної. Актуальні проблеми лісового сектору та садово-паркового господарства: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 14–15 квітня 2016 року: тези доповіді. К., 2016. С. 185. *(Здобувачем особисто проаналізовано проблему напрямів використання низькоякісної деревини сосни).*

11. Марченко Н. В., **Новицький С. В.**, Зав'ялов Д. Л., Никитюк П. А. К вопросу о прочности сухостойной и поврежденной пожарами древесины сосны. Современные проблемы биологического и технического лесоведения: I Международная научно-практическая конференция, г. Йошкар-Ола, Российская Федерация, 20–23 сентября 2016 года: тезисы доклада. Йошкар-Ола, 2016. С. 160–163. *(Здобувачем особисто проаналізовано проблему міцності сухостійної і пошкодженої пожежами деревини сосни).*

12. Марченко Н. В., **Новицький С. В.**, Порівняльний аналіз методів визначення основних механічних властивостей деревини. Стале управління лісовим комплексом та збалансований розвиток урболандшафтів: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 27 березня 2018 року: тези доповіді. К., 2018. С. 108–109. *(Здобувачем особисто проаналізовано методи визначення основних механічних властивостей деревини).*

13. Новицький С. В. Щодо властивостей сухостійної деревини сосни звичайної. Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем: VIII Міжнародна науково-практична конференція, м. Чернігів, 10–12 травня 2018 року: тези доповіді. Чернігів, 2018. С. 211–212.

14. Марченко Н. В., **Новицький С. В.** Дослідження вмісту лігніну та целюлози в деревині сосни звичайної. Перспективи розвитку екосистемного менеджменту у лісовому комплексі та садово-парковому господарстві: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 18–19 квітня 2019 року: тези доповіді. К., 2019. С. 124–125. *(Здобувачем особисто поставлено завдання, проведено експериментальні дослідження).*

АНОТАЦІЯ

Новицький С. В. Закономірності впливу властивостей деревини із сухостійних дерев сосни звичайної на довговічність конструкційних виробів. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук зі спеціальності 05.23.06 «Технологія деревообробки, виготовлення меблів та виробів з деревини». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2019.

У дисертації вирішено науково-практичне завдання ресурсозбереження деревинної сировини завдяки використанню лісоматеріалів із сухостійної деревини сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) як конструкційних матеріалів.

Встановлено раціональні параметри термічного оброблення деревини із сухостійних дерев сосни звичайної різних груп всихання для запобігання розвитку грибів із збереженням її міцнісних характеристик. Визначено основні фізико-механічні показники сухостійної деревини сосни звичайної та отримано залежності між цими показниками. Розроблено імітаційну модель прогнозування довговічності конструкційних елементів із цільної деревини сосни залежно від їх розмірів та граничного прогину. Запропоновано рекомендації з визначення довговічності та раціональних розмірів конструкційних елементів із деревини сосни для виробників конструкційних пиломатеріалів, які впроваджено на двох лісопиляльно-деревообробних підприємствах.

Ключові слова: сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.), деревина з сухостійних дерев, характеристичні властивості, мікологічні ураження, конструкційні пиломатеріали, термічна обробка, фізико-механічні властивості, довговічність.

АННОТАЦИЯ

Новицкий С. В. Закономерности влияния свойств древесины из сухостойных деревьев сосны обыкновенной на долговечность конструкционных изделий. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.06 «Технология деревообработки, изготовления мебели и изделий из древесины». Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины. Киев, 2019.

В диссертации решено научно-практическое задание ресурсосбережения древесного сырья благодаря использованию лесоматериалов из сухостойной древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в качестве конструкционных материалов.

Установлены рациональные параметры термической обработки древесины с сухостойных деревьев сосны обыкновенной различных групп усыхания для предотвращения развития грибов с сохранением ее прочностных характеристик. Определены основные физико-механические показатели сухостойной древесины сосны обыкновенной и получены зависимости между

этими показателями. Разработана имитационная модель прогнозирования долговечности конструкционных элементов из массива древесины сосны в зависимости от их размеров и нагрузок. Предложены рекомендации по определению долговечности и рациональных размеров конструкционных элементов из древесины сосны для производителей конструкционных пиломатериалов, внедренные на двух лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях.

Ключевые слова: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), древесина из сухостойных деревьев, характеристические свойства, микологические поражения, конструкционные пиломатериалы, термическая обработка, физико-механические свойства, долговечность.

ANNOTATION

Novytskyi S. V. Regularities of influence of wood properties of pine deadwood trees on durability of structural products. – The Manuscript.

The for Candidate Degree of Technical Sciences with the specialty 05.23.06 «Wood Technology, Furniture and Wooden Goods Production». National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2019.

The thesis has solved the scientific and practical problem of resource conservation of wood raw materials due to the use of pine deadwood as a structural material, and developed a simulation model for predicting the durability of structural elements of solid pinewood, according on their size and loads.

The analysis of the main directions of use of pine deadwood has been made, which assisted to establish that the effective direction of use of pine deadwood as a possible raw material reserve in industry is the production of structural lumber.

It is proposed to use a heuristic modeling method to study the effect of parameters of wood properties of pine deadwood on the parameters of structural timber in order to predict the possibility of using such wood in building structures. It is stated that the quality characteristic of wood as a structural material can be an indicator of its durability under certain operating conditions. Durability should be understood as the service life of a structural wooden element until the first sign of destruction.

It is determined that drying of pine deadwood of the 1st group of drying out should be carried out at a temperature of 120 °C for elimination of life-processes of wood-colorizing fungi; however the temperature is not sufficient for elimination of life-processes of wood-colorizing fungi in wood of pine deadwood of the 2nd and the 3rd group of drying out.

It is established that the strength parameters of wood samples from wood of pine deadwood of 1st group of drying out and non-attenuated drying out, treated at temperatures of 77 and 120 °C, differ slightly – within 1–5 %. The mechanical properties of specimens of wood from wood of pine deadwood of the 2nd and the 3rd group of drying out are much smaller than the samples of wood from trees that are non-attenuated drying out – to 19 %.

It has been found that the water and moisture absorption properties of pine deadwood have significant variability in the groups of drying out, which is explained by the life-processes of wood-colored fungi and the decrease in the density of wood.

There is a decrease in the density and the Yung modulus of wood of deadwood trees compared to the corresponding indices of non-attenuated drying out pine trees. The dependence of density on such indicators as growth and content of late wood is revealed, regression equations of dependence are obtained.

It is established that wood from wood of pine deadwood of 3rd group of drying out, sawn from the juvenile zone of the tree trunk has the highest natural resistance, compared to the wood of non-attenuated drying out pine trees; wood from wood of pine deadwood of the 3rd group of drying out, sawn from the sapwood zone of the trunk has the lowest natural resistance. There is a tendency to decrease the indicator of natural resistance of wood with the increase of drying out time in all areas of sawn samples.

The influence of thickness to width ratio (form-factor) on the strength parameters of structural elements of solid wood and, accordingly, on their strength classes is determined. The best values of the strength and modulus of elasticity for static bending were recorded for specimens with a form-factor of 0.35, 0.5, and 0.7. The worst strength and stiffness indicators have structural elements with a thickness to width ratio of 0.65, 0.8 and more. A linear relationship between the modulus of elasticity and the tensile strength of static bending for pinewood has been found.

The index, which takes into account the density and macroscopic structure of the wood, is determined and its dependence on the growth parameters, the content of the late wood and the normalized density is obtained.

Indicator A is defined, which characterizes the dependence of durability on stress (for wood of non-attenuated drying out pine trees – 181, for wood of pine deadwood the 1st group of drying out – 186.01), and constant α , which describes the interconnection between durability and the nature of a particular material at a constant temperature, which for pinewood was 0.051. Significant variability of the index A was found, depending on the ratio of the cross-sectional dimensions of the samples (form-factor), and its determination by regression dependence was proposed.

For practical realization of research results, an algorithm has been developed for simulation model of predicting the durability of pinewood (from non-attenuated and drying out trees) structural elements under normal conditions of operation depending on their size, density, characteristics of the macroscopic structure of the wood and load value. This algorithm is based on performing tests directly in the technological process of manufacturing structural lumber.

The recommendations for the determination of the durability and rational dimensions of pine deadwood structural elements are presented to the manufacturers of structural lumber, which were implemented at two sawmills and woodworking enterprises.

Key words: pine (*Pinus sylvestris* L.), deadwood, timber properties, mycological lesions, structural timber, heat treatment, physical and mechanical properties, durability.