

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ТЕРНОПІЛЬСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ІВАНА ПУЛЮЯ**

ГОМОН СВЯТОСЛАВ СВЯТОСЛАВОВИЧ

УДК 539.3

**ПОЛПШЕННЯ МІЦНІСНИХ ТА ДЕФОРМІВНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
СУЦІЛЬНОЇ ДЕРЕВИНИ ТА КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ
НА ЇЇ ОСНОВІ**

01.02.04 – Механіка деформівного твердого тіла

технічні науки

**АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук**

Тернопіль – 2021

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України.

Науковий консультант: доктор технічних наук, професор,
член-кореспондент НАН України,
Ясній Петро Володимирович,
Тернопільський національний технічний університет
імені Івана Пулюя, ректор.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Шваб'юк Василь Іванович,
Луцький національний технічний університет,
професор кафедри прикладної математики
та механіки;

доктор технічних наук, доцент
Рудяк Юрій Аронович,
Тернопільський національний медичний університет
імені І.Я. Горбачевського,
завідувач кафедри медичної фізики діагностичного
та лікувального обладнання;

доктор технічних наук, професор
Грабар Іван Григорович,
Поліський національний університет,
завідувач кафедри процесів, машин і обладнання,
м. Житомир.

Захист відбудеться *23 квітня 2021 р. о 14 годині* на засіданні спеціалізованої вченої ради Д58.052.01 у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя за адресою: 46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56, ауд. 79.

З дисертацією можна ознайомитися в науково-технічній бібліотеці Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за адресою: м. Тернопіль, вул. Руська, 56.

Автореферат розіслано « 22 » березня 2021 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



Б.Г. Шелестовський

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Деревина – один з найпоширеніших матеріалів природного походження, який використовують у різних галузях вітчизняної та зарубіжних економік. Зокрема, в будівельній, деревообробній, гірничо-видобувній, річковій та морській галузях, паливно-енергетичному комплексі, машинобудуванні, суднобудуванні, мостових конструкціях та інших. У багатьох випадках під час експлуатації вона зазнає різних впливів агресивних середовищ. До таких відносять середовища з підвищеною вологістю. У незахищеному стані деревина в такому середовищі може мати вологість понад 12%. Більшість оприлюднених наукових праць вітчизняних та зарубіжних учених стосується роботи деревини за стандартної вологості.

Другим фактором, який впливає на міцнісні і деформативні характеристики, є вік деревини. Таких досліджень у літературі також є дуже обмежена кількість.

Третім, також не менш важливим фактором, є вплив швидкості деформування на основні міцнісні та деформівні властивості деревини.

З іншого боку, споживання деревини у світі постійно зростає. Якісної деревини листяних і хвойних порід стає дедалі менше. Без сумніву, суцільна та клеєна деревина є матеріалом, потенціал якого не повною мірою вивчений. Модифікована деревина має ще перспективніші характеристики.

В умовах здорожчання енергозатратних будівельних матеріалів винайдення та використання нових хімічних засобів та способів модифікації дають можливість конструкціям, елементам та матеріалам на основі деревини конкурувати у практичному застосуванні з аналогами на основі бетону та металу. Однак фізико-механічні властивості, як суцільної та клеєної, так і модифікованої деревини листяних та хвойних порід, потребують додаткового дослідження.

Як правило, донині експериментально-теоретичні дослідження проводилися за м'якого режиму випробувань на зразках чистої деревини перерізом 20x20x30 мм, що не давало змоги встановити дійсний напружено-деформований стан матеріалу, побудувати повну діаграму деформування на стиск уздовж волокон за короткочасного навантаження. Як наслідок, встановити істинні значення параметрів міцності та деформівності, зокрема критичні та граничні деформації, модуль деформацій та інші. Щоб встановити такі характеристики матеріалів, необхідно проводити експериментальні дослідження на сучасних випробувальних машинах за жорсткого режиму прикладання навантаження. Такі дослідження частково проводили Тутурин С.В., Вареник К.А. на зразках конструкційних розмірів деревини сосни, Da Silva A., Kyrakides S. – деревини бальзи, Zhou A., Bian Y., Shen Y., Huang D., Zhou M. – композиційних матеріалів на основі деревини бамбука. Проте відсутні експериментально-теоретичні дослідження інших порід суцільної деревини – берези, вільхи, ясена, модрина, ялини, а також клеєної та модифікованої деревини, за жорсткого режиму випробувань короткочасним одновісним уздовж волокон навантаженням. Крім того, в літературі не знаходимо досліджень щодо впливу вологості, віку, швидкості деформування, а також впливу просочення різними полімерними композиціями на повні діаграми деформування матеріалу і її основні параметри – критичні та

граничні відносні деформації, початковий модуль пружності та модуль деформацій (січний) з урахуванням пружно-пластичності матеріалу.

Одним з найважливіших завдань постає питання розроблення алгоритму поліпшення міцнісних та деформівних властивостей та науково-технічних основ системного поліпшення міцнісних і деформівних властивостей суцільної деревини (листяних та хвойних порід) та композиційних матеріалів на її основі від зрубу деревини до процесу сушіння, склеювання та модифікації (рис.1).



Рис.1. Алгоритм поліпшення міцнісних та деформівних властивостей суцільної деревини різних порід та композиційних матеріалів на її основі

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. В дисертаційній роботі вирішено окремі завдання та проблеми з експериментальних та теоретичних досліджень за держбюджетними науково-дослідними напрямками, які включались в плани кафедри будівельної механіки Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя за науковою тематикою «Методологія оцінювання довговічності і продовження ресурсу елементів авіаційних конструкцій з експлуатаційними пошкодженнями біля кріпильних отворів» (Державна реєстрація №0118U003479) й кафедри міського будівництва і господарства Національного університету водного господарства та природокористування по комплексній темі «Реконструкція та утримання міських територій, будівель та інженерних комунікацій» (Державна реєстрація №0112U008294).

Участь у всіх зазначених вище науково-дослідних напрямках досліджень стали основою для розробки дисертаційної роботи.

Мета роботи – розроблення алгоритму та науково-технічних основ системного поліпшення міцнісних і деформівних властивостей суцільної деревини (листяних і хвойних порід) та композиційних матеріалів на її основі із прогнозованими характеристиками для проектування, ремонту, реконструкції, утримання та виготовлення деталей, матеріалів, виробів, конструкцій, які застосовуються в різних галузях народного господарства.

З огляду на мету роботи були поставлено такі завдання:

- розробити алгоритм поліпшення міцнісних і деформівних властивостей суцільної деревини (листяних і хвойних порід) та композиційних матеріалів на її основі з моменту зрубу до висушування, склеювання й модифікації;

- провести експериментальні дослідження зразків з суцільної, клеєної та модифікованої деревини листяних (берези, вільхи, ясена) та хвойних (модрини, сосни, ялини) порід за короткочасного стиску вздовж волокон із побудовою дійсних (повних) діаграм механічного стану матеріалу за жорсткого режиму випробувань на сучасному випробувальному обладнанні;

- експериментально дослідити міцнісні та деформівні властивості суцільної деревини різних порід і встановити особливості їх змін залежно від віку, вологи, швидкості деформування, а також впливу склеювання та модифікації;

- запропонувати способи модифікації деревини полімерною композицією «силор» і встановити оптимальний час її просочування в тіло деревини;

- запропонувати функцію описування експериментальних дійсних (повних) діаграм деформування «напруження σ_c – деформації u_c » зразків суцільної деревини та композиційних матеріалів на її основі від початку завантаження і до руйнування (висхідна та спадна вітки), яка б на обґрунтованій достовірній основі врахувала вплив різних факторів;

- запропонувати універсальну формулу для визначення критичних відносних деформацій суцільної, клеєної та модифікованої деревини, яка б обов'язково враховувала пружні та пластичні властивості таких матеріалів;

- розробити алгоритм з визначення граничних відносних деформацій деревини та композиційних матеріалів на її основі;

- удосконалити методику визначення початкового модуля пружності та встановити основні фактори, що впливають на січний модуль деформацій суцільної, клеєної та модифікованої деревини;

- удосконалити методику розрахунку елементів та конструкцій з суцільної деревини й композиційних матеріалів на її основі з урахуванням дійсних (повних) та оптимізованих (з обмеженням у точці граничних деформацій) діаграм деформування матеріалу.

Об'єкт дослідження – поліпшення міцнісних і деформівних властивостей деревини та композиційних матеріалів на її основі.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан, міцність, деформівність, критичні та граничні деформації суцільної деревини й композиційних матеріалів на її основі.

Методи дослідження – аналіз літературних джерел за тематикою дисертації; експериментальні дослідження зразків з суцільної деревини та композиційних матеріалів на її основі за короткочасного стиску вздовж волокон від початку завантаження до повного руйнування на сучасному випробувальному обладнанні, а також встановлення основних міцнісних і деформівних властивостей; числові та математичні методи моделювання; методи теорії деформівного твердого тіла; методи математичної статистики та системного аналізу; впровадження результатів досліджень у різні галузі народного господарства.

Наукова новизна отриманих результатів:

- вперше розроблено алгоритм поліпшення міцнісних і деформівних властивостей деревини від зрубу до висушування, склеювання та модифікації;

- вперше встановлено основні закономірності впливу вологості, віку та швидкості деформування одновісним стиском на дійсні (повні) діаграми

деформування та фізико-механічні властивості деревини листяних (берези, вільхи, ясена) та хвойних (модрини, сосни, ялини) порід за жорсткого режиму навантаження;

- вперше проведено експериментально-теоретичні дослідження композиційних матеріалів на основі суцільної деревини та полімерної композиції «силор» за поверхневої та глибинної модифікацій і обґрунтовано оптимальний час просочення;

- вперше запропоновано формулу визначення критичних відносних деформацій суцільної, клеєної та модифікованої деревини із урахуванням їх пружної та пластичної складових;

- вперше запропоновано алгоритм визначення граничних деформацій суцільної деревини за діаграмою «момент – кривина»;

- удосконалено поверхневі та глибинні способи модифікації деревини;

- удосконалено методику розрахунку елементів та конструкцій на основі деревини або композиційних матеріалів на її основі з урахуванням дійсних (повних) та оптимізованих (з обмеженням у точці граничних деформацій) діаграм деформування матеріалу;

- запропоновано апроксимуючу функцію експериментальних діаграм деформування деревини різних порід та композиційних матеріалів на її основі, яка на достовірній основі враховує вплив різних факторів.

Практичне значення отриманих результатів. Отримані в даній дисертації експериментально-теоретичні результати були застосовані:

- ТзОВ «Інжинірингова компанія «Тертал» при поточному ремонті будівлі інв.№1/359 (спортзал) військового містечка №1 в/ч А0796 за адресою: Рівненська обл., м. Рівне, вул. Дубенська, 2 (ремонт підлоги, заміна вікон та дверей). Зокрема було застосовано поверхневу та глибинну модифікації дерев'яної підлоги, вікон, дверей полімерною композицією «силор»;

- ТзОВ «Інжинірингова компанія «Тертал» при реконструкції та капітальному ремонті будівлі 1/41 (хірургічне відділення), військове містечко № 1, м. Рівне – реконструкція та ремонт покриття кров'яної системи. Зокрема розраховано кров'яну систему за запропонованою методикою автора з урахуванням повних діаграм деформування матеріалу та проведено її підсилення за допомогою поверхневої модифікації полімерною композицією «силор»;

- деревообробним приватним підприємством «Колі». Застосовано поверхневу та глибинну модифікації полімерною композицією «силор» при виготовленні підлоги, дверей, вікон на основі суцільної та клеєної деревини;

- деревообробним підприємством ТзОВ «ОДЕК – Україна». Застосовано поверхневу та глибинну модифікації полімерною композицією «силор» при виготовленні будівельних матеріалів на основі суцільної та клеєної деревини;

- у навчальному процесі Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, зокрема для студентів за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітньо-професійної програми «Промислове та цивільне будівництво» при розробленні робочих програм з навчальних дисциплін «Конструкції з деревини та пластмас» та «Механіка руйнування будівельних конструкцій».

Основний внесок здобувача. Всі ідеї, експериментально-теоретичні дослідження й результати викладені в дисертації, автор отримав самостійно. У наукових працях у співавторстві здобувач особисто виконав та запропонував:

- у [13] – розроблення методики теоретичних та експериментальних досліджень на сучасному випробувальному обладнанні, висновки;
- у [11, 14, 19, 23, 32, 33, 35, 36] – розроблення методики та проведення експериментальних досліджень, опрацювання результатів, висновки;
- у [1, 12, 31, 40] – розроблення методики та проведення експериментальних досліджень, способи поверхневої та глибинної модифікацій суцільної та клеєної деревини, опрацювання результатів, висновки;
- у [21, 30] – аналіз способів поверхневої та глибинної модифікацій суцільної та клеєної деревини, область застосування таких композиційних матеріалів, висновки;
- у [6, 34, 37] – теоретичні основи та апроксимацію діаграм механічного стану суцільної, клеєної та модифікованої деревини на основі полінома 4-го степеня;
- у [41] – функцію з визначення критичних деформацій суцільної деревини хвойних та листяних порід і композиційних матеріалів на її основі;
- у [8, 25, 28, 42] – розроблення методики з визначення початкового модуля пружності та модуля деформацій (січного) суцільної деревини та композиційних матеріалів на її основі з урахуванням пружно-пластичних властивостей матеріалу;
- у [9] – розроблення загальної методології розрахунку конструкцій та елементів на основі деревини з урахуванням дійсних (повних) та оптимізованих діаграм деформування матеріалу;
- у [5, 18, 20, 24, 26] – основні гіпотези розрахунку; висновки;
- у [3, 7, 16, 22, 39, 43] – опрацювання результатів, побудову діаграм деформування, висновки.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації викладені на науково-технічних та науково-практичних конференціях: «Архітектура та екологія. Проблеми міського середовища» (м. Київ, 2011 р.), «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди» (м. Рівне, 2012, 2014, 2018 р.), «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии» (г. Могилев, Беларусь, 19–20 апреля 2012 г.), «Актуальні задачі сучасних технологій» (м. Тернопіль, 16–17 листопада 2017 р., 27–28 листопада 2019 р.), «Proceedings of the 1st Eastern Europe Conference on Timber Constructions» (м. Харків, 7–8 червня 2018 р.), «Conference proceedings of the Scientific Session on Applied Mechanics X» (Bydgoszcz, Poland, 23 November 2018), «Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування» (м. Тернопіль, 24–27 вересня 2019 р.), «Сучасні проблеми містобудування. Проблеми та перспективи розвитку» (м. Луцьк, 15 листопада 2019 р.), «Проблеми інтегрованого розвитку міст» (м. Луцьк, 29–31 січня 2020 р.), «Actual problems of science and education» (Budapest, Hungary, 2 February, 2020), «SCIENCE, SOCIETY, EDUCATION: TOPICAL ISSUES AND DEVELOPMENT PROSPECTS» (м. Харків, 10–12 травня, 2020 р.), «Інновації у будівництві» (м. Луцьк, 14 травня, 2020 р.), «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» (м. Тернопіль, 14–

15 листопада, 2020 р.), «SURVEYING, CIVIL ENGINEERING, GEOINFORMATION IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT» (Bydgoszcz, Poland, June 2–10, 2020), «Eurasian scientific congress. Abstracts of the 8th International scientific and practical conference» (Barcelona, Spain, August 9–11, 2020), «Іноваційні процеси в галузі дорожнього будівництва» (м. Луцьк, 30 жовтня, 2020р.), «Ефективні технології в будівництві» (м. Київ, 19–20 листопада, 2020 р.).

Дисертаційна робота обговорювалася на науковому семінарі «Механіка, міцність матеріалів і конструкцій» у Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя (голова д.т.н., професор Марущак П.О.), на науковому семінарі кафедри прикладної математики та механіки у Луцькому національному технічному університеті (голова д.ф.-м.н., доцент Пастернак Я.М.).

Публікації. Основний зміст дисертації викладено в 43 наукових працях, серед них 26 статей – у наукових фахових виданнях, рекомендованих Міністерством освіти і науки України (17 – статті у наукових фахових періодичних виданнях України, 9 – статті у наукових періодичних виданнях іноземних держав та у фахових виданнях України, які внесені до наукометричних міжнародних баз. Зокрема 2 наукові публікації – Scopus та Web of Science, 5 – Index Copernicus); 13 публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації; в інших виданнях – 4.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел (341 найменування), додатків. Дисертаційна робота викладена на 387 сторінках (загальний обсяг). Серед них – 296 сторінок основного тексту (54 таблиці, 89 рисунків), 34 сторінки списку використаних джерел та 7 додатків на 40 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі зазначено актуальність, поставлено мету й завдання досліджень, наведено загальну характеристику дисертації, викладено наукову новизну, основний внесок здобувача, практичну значущість та апробацію роботи.

Перший розділ присвячено проблематиці експериментально-теоретичних досліджень роботи суцільної деревини та композиційних матеріалів на її основі.

Впливом різних факторів (вологості, температури, віку, швидкості завантаження та деформування) на міцнісні та деформівні властивості деревини й конструкцій на її основі займалися такі вітчизняні та зарубіжні вчені, як Агбалян Я.Г., Антипов Д.В., Белянкін Ф.П., Бойко М.Д., Боровиков А.М., Бывших В.Д., Васильєв А.Ю., Прыгунков А.В., Вольнський В.Н., Воронюк І.С., Гринкруг Н.В., Гусев П.Б., Денеш Н.Д., Карабанов В.А., Квасников Е.Н., Леонтьєв Н.Л., Любошиц М.В., Родин Б.Е., Соколовський Я.І., Перельгін Л.М., Соломенцев Б.А., Тутурин С.В., Федосєєнко І.Г., Kollmann F., Kretschmann D.E., Green D.W., Kuffner M., Madsen B., Märtensson A., Wadso, L., Wang L.Y., Lu Z.Y., Zhao G.J. та інших.

Дослідженням параметрів діаграм «напруження–деформації» деревини та композиційних матеріалів на її основі за різних видів навантаження за м'якого режиму випробувань присвячені роботи таких дослідників, як Алексієвець В.І., Алимов С.А., Ашкенази Е.К., Баженов В.А., Белянкін Ф.П., Бондарєв Б.А., Быков

В.В., Гениев Г.А., Демчина Б.Г., Иванов А.М., Иванов Ю.М., Кноп К.К., Коцегубов В.П., Латынин А.В., Леннов В.Г., Михайловський Д., Найчук А.Я., Паншин Б. И., Поберейко Б.П., Пінчевська О.О., Павлюк А.М., Румянцев М.В., Сасовський Т.А., Флаксерман А.Н., Фрейдин А.С., Фурсов В.В., Хухрянський П.Н., Шостачук Ю.М., Barret J. D., Foschi R., Boontanjay, C., Dutko P., Green D.W., Kretschmann D.E., Kollmann F., Kuffner M., Madsen B., Mindness S., Madison B., Barrett J.D, Patton-Mallory M., Cramer S., Schniewind, A.P., Bartels, H.J., Gammon, V.W., Shiraishi N., Yoshioka M., Thuuel B., Whale, L. R. J., Smith, I. та інших.

Вивченням параметрів повних діаграм за жорсткого режиму прикладання навантаження деревини сосни присвячені роботи таких авторів, як Вареник К.А., Копаница Д.Г., Тутурин С.В.; деревини бальзи – Da Silva A., Kyrakides S.; композиційних матеріалів зі смужок бамбуку, так званого ЛВЛ композиту – Zhou A., Bian Y., Shen Y., Huang D., Zhou M.

Проблемами та способами модифікації деревини, дослідженням міцнісних та деформівних властивостей таких матеріалів знаходимо у наукових працях вітчизняних та закордонних вчених, таких, як Бехта П.А., Бурындин В.Г., Винник Н.И., Глухов В.И., Горбачова О.Ю., Грабар І.Г., Гузій С.Г., Дорофеев Н.С., Золднерс Ю.А., Киселева О.А., Ломакин А.Д., Макаревич С.С., Машкин Н.А., Пауль Э.Э., Пінчевська О. О., Сашин М.А., Тынный О.Н., Храмцов Ю.Д., Хрулев В.М., Цапко Ю.В., Чаусов М.Г., Ярцев В.П., Шамаев В.А., Blass H. J., Laskewitz V., Ciccotti A., Lauriola M. P., Pinna M., Sandhaas C., Moosbrugger T., Guggenberger W., Vogensperger T., Moses D.M., Piron H.G., Smith F.W., Penney D.T.

Визначення критичних деформацій суцільної деревини та композиційних матеріалів на її основі експериментальним шляхом знаходимо в роботах Вареника К.А., Воронюка И.С., Гринкруг Н.В., Губенка А.Б., Коченова В.М., Тутурин С.В., Da Silva A., Kyrakides S., Zhou A., Bian Y., Shen Y., Huang D., Zhou M. Теоретичним шляхом тільки в роботі – Гринкруг Н.В.

Діаграми «напруження σ_c – деформації u_c » різних матеріалів описуються багатьма різноманітними функціями, зокрема степеневими, показниковими, тригонометричними, поліноміальними та іншими. Таким дослідженням присвячені наукові праці Бамбури А.М., Белянкина Ф.П., Бельского Г.Е, Вареника А.С., Вареника К.А., Герстнера Ф.И., Гринкруг Н.В., Губенка А.Б., Рафаилова В.Г., Пятикрестовского К.П., Ромашка В.М., Хоффа Н., Bach G., Baes L., Everard N., Gestle K.H., Saint-Venant A., Shah S., Sinha V.P., Sturman G., Tulin L.G., Vandcperre L., Winter G., Zhou A.

Дослідженнями основних параметрів різного роду діаграм різноманітних композиційних матеріалів займалися величезна кількість зарубіжних та вітчизняних учених, зокрема українських – Ясній П.В., Марушак П.О., Підгурський М.І., Рудяк Ю.А, Никифорчин Г.М., Шваб'юк В.І., Пастернак Я.М., Грабар І.Г. та багато інших.

На основі проведеного аналізу визначено напрямки досліджень і наведено основні завдання дисертаційної роботи.

В розділі 2 наведено методику експериментальних та теоретичних досліджень.

Методика експериментальних досліджень. Для вирішення поставлених завдань було виготовлено 4 серії зразків з першого сорту різних порід суцільної, клеєної, модифікованої деревини перерізом 30x30x120 мм та клеєної й модифікованої деревини сосни 45x45x250 мм.

Програмою експериментальних досліджень передбачено виявлення та вивчення впливу одноразових короточасних навантажень за м'якого й жорсткого режиму навантаження на міцнісні та деформівні характеристики суцільної деревини й композитних матеріалів на її основі за осьового стиску вздовж волокон, а також побудова дійсних (повних) діаграм деформування «напруження – деформації» таких зразків.

Перша серія випробувань. Дослідження суцільної деревини перерізом 30x30x120 мм різної вологості (30, 21, 12%) та віку (60, 40, 20 років) проводили за жорсткого режиму випробувань. Отже, для випробувань вибрано такі породи деревини: хвойні породи – модрина, сосна, ялина; листяні – береза, вільха, ясен. Древа, з яких виготовлені зразки, зокрема, сосна, ялина вирощені в лісах Рівненської області; береза, вільха, ясен – в лісах Волинської області; модрина – в лісах Івано-Франківської області.

Заготовки деревини попередньо висушували в лабораторних умовах до усередненої вологості $30 \pm 1\%$ за температури 20°C і вологості приблизно 65% та у спеціальних сушильних камерах до вологості відповідно $21 \pm 1\%$ та $12 \pm 1\%$. Вологість деревини контролювали за допомогою вологоміра. Призми випилювали із заздалегідь заготовлених довгих брусків. Кожен із отриманих зразків, як і вимагається, був без видимих дефектів.

Друга серія випробувань. Дослідження клеєної деревини різних листяних та хвойних порід перерізом 30x30x120 мм стандартної вологості 12% віком 60 років проводили за жорсткого режиму прикладання навантаження. Після висушування в термічних камерах і досягнення елементів усередненої стандартної вологості бруси всіх досліджуваних порід розрізали на дошки. Опісля проводили їх стругання. Стругані дошки мали переріз 10x40 мм довжиною 100 см. Вони були склеєні по пласту між собою з використанням резорцинового клею Casco Silva, класу вологостійкості D3 відповідно до діючих стандартів. Доштоклеєні дерев'яні балочки виготовляли в заводських умовах. Для досягнення доброї міцності клейових з'єднань дотримувалися режиму склеювання згідно з діючими стандартами. Після повного процесу склеювання бокові поверхні клеєної балочки обробляли на фугувальному станку для отримання проектного розрахункового перерізу 30x30 мм. Вирізування зразків призм довжиною 120 мм для даної серії випробувань проводили з однієї балки.

Третя серія випробувань. Дослідження клеєної та клеєної модифікованої деревини сосни перерізом 45x45x250 мм за стандартної вологості 12% віком 85 років, які були просочені полімерною композицією «силор» проводили за м'якого режиму випробувань.

Четверта серія випробувань. Дослідження модифікованої суцільної деревини різних листяних та хвойних порід перерізом 30x30x120 мм проводили за жорсткого режиму випробувань. Просочення дослідних зразків полімерною композицією «силор» виконували двома способами: природним шляхом без

додаткової стимуляції (поверхнева модифікація) та за допомогою автоклава (глибинна модифікація).

За поверхневої модифікації призми деревини занурювали в посудину з полімерною композицією на 720 хв. Проникнення полімерної композиції «силор» у товщу зразків виконували природним шляхом, без додаткового стимулювання, в посудині в горизонтальному положенні при повному зануренні в полімерний розчин. При цьому забезпечувався доступ полімерної композиції до всіх сторін призми. Змішування компонентів проведено зі співвідношенням 1:4 (одна частина – це поліізоціанат + трихлоретилфосфат та 4 частини – етилацетату). Просочування проводили за температури повітря 19°C. Після відведеного часу просочування призми діставали й просушували при температурі 18–21°C протягом двох днів.

За глибинної модифікації зразки вміщували в автоклав на 2 год під тиском 2,5 атм. Після повного циклу просочування композитом призми діставали з розчину й просушували протягом 12 год. Утворений твердий композиційний матеріал є екологічно безпечний, не горючий і не токсичний.

Обсяг експериментальних досліджень суцільної, клеєної та модифікованої деревини наведено в табл. 1 та 2.

Таблиця 1

Обсяг експериментальних досліджень суцільної та клеєної деревини

№ _{з/п}	Порода деревини	Вологість, %	Вік, років	Швидкість деформування, мм/хв	Кількість зразків, шт.
1	2	3	4	5	6
I серія випробувань (суцільна деревина)					
1	Береза	30, 21, 12	60	1,5	21
2	Береза	12	40, 20	1,5	12
3	Береза	12	60	3,0 - 4,5	12
4	Вільха	30, 21, 12	60	1,5	21
5	Вільха	12	40, 20	1,5	12
6	Вільха	12	60	3,0, - 4,5	12
7	Ясен	30, 21, 12	60	1,5	21
8	Ясен	12	40, 20	1,5	12
9	Ясен	12	60	3,0, - 4,5	12
10	Модрина	30, 21, 12	60	1,5	21
11	Модрина	12	40, 20	1,5	12
12	Модрина	12	60	3,0, - 4,5	12
13	Сосна	30, 21, 12	60	1,5	21
14	Сосна	12	40, 20	1,5	12
15	Сосна	12	60	3,0, - 4,5	12
16	Ялина	30, 21, 12	60	1,5	21
17	Ялина	12	40, 20	1,5	12
18	Ялина	12	60	3,0, - 4,5	12

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6
II серія випробувань (класна деревина)					
19	Береза	12	60	1,5	6
20	Вільха	12	60	1,5	6
21	Ясен	12	60	1,5	6
22	Модрина	12	60	1,5	6
23	Сосна	12	60	1,5	6
24	Ялина	12	60	1,5	6

Таблиця 2

Обсяг експериментальних досліджень модифікованої деревини

№ _{з/п}	Порода деревини	Переріз зразків ахbхh, мм	Термін просочення, хв	Спосіб модифікації	Кількість зразків, шт.
III серія випробувань (класна модифікована деревина)					
1	Сосна	45x45x250	0	Поверхневий	3
2	Сосна	45x45x250	15	Поверхневий	3
3	Сосна	45x45x250	30	Поверхневий	3
4	Сосна	45x45x250	60	Поверхневий	3
5	Сосна	45x45x250	120	Поверхневий	3
6	Сосна	45x45x250	240	Поверхневий	3
7	Сосна	45x45x250	360	Поверхневий	3
8	Сосна	45x45x250	720	Поверхневий	3
IV серія випробувань (суцільна модифікована деревина)					
10	Береза	30x30x120	720	Поверхневий	6
11	Вільха	30x30x120	720	Поверхневий	6
12	Ясен	30x30x120	720	Поверхневий	6
13	Модрина	30x30x120	720	Поверхневий	6
14	Сосна	30x30x120	720	Поверхневий	6
15	Ялина	30x30x120	720	Поверхневий	6
10	Береза	30x30x120	60	Глибинний	6
11	Вільха	30x30x120	60	Глибинний	6
12	Ясен	30x30x120	60	Глибинний	6
13	Модрина	30x30x120	60	Глибинний	6
14	Сосна	30x30x120	60	Глибинний	6
15	Ялина	30x30x120	60	Глибинний	6

Загальна кількість досліджених зразків – 410 шт.

Фізико-механічні характеристики деревини на поздовжній стиск визначали шляхом випробування призм розміром 45x45x250 мм за м'якого режиму прикладання короткочасного одноразового навантаження на машині УИМ-50.

Випробування зразків з деревини та композиційних матеріалів на її основі за жорсткого режиму прикладання короточасного одноразового навантаження проводили на універсальній сучасній сервогідравлічній випробувальній машині СТМ-100 (рис.2).



Рис.2. Сервогідравлічна випробувальна машина СТМ-100

Методика теоретичних досліджень. Аналізуючи дійсну (повну) діаграму деформування деревини та композиційних матеріалів на її основі осьовим поздовжнім стиском, бачимо, що вона має спільні закономірності незалежно від породи, вологості матеріалу, швидкості прикладання зовнішнього короточасного одноразового навантаження (рис.3).

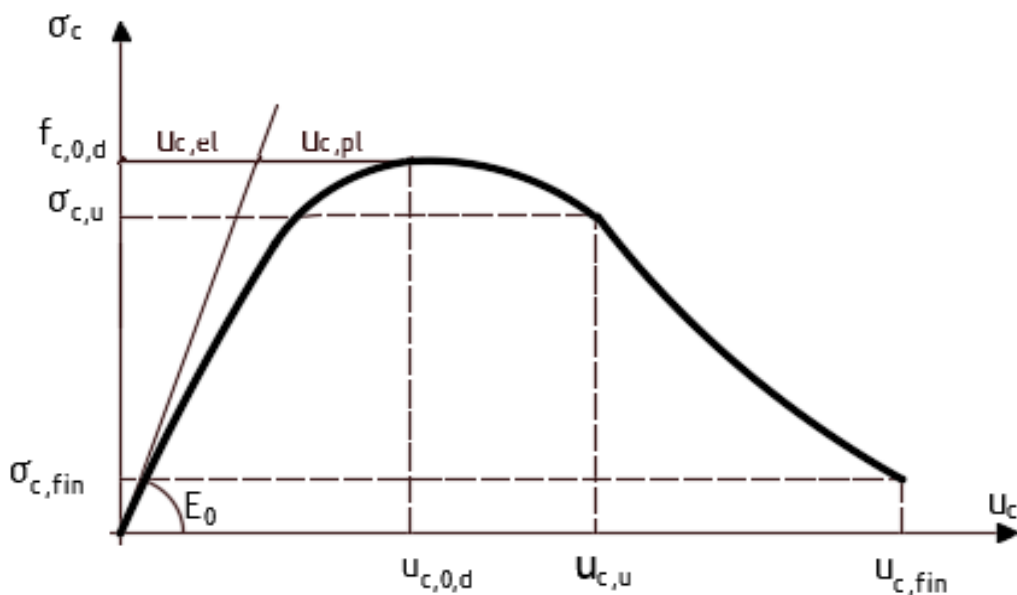


Рис.3. Дійсна діаграма деформування «напруження σ_c – деформації u_c » деревини та композиційних матеріалів на її основі осьовим стиском уздовж волокон

Однією із невирішених проблем є апроксимація повних діаграм деформування «напруження σ_c – деформації u_c » суцільної деревини та композиційних матеріалів на її основі різними функціями. Для того, аби знайти функцію, яка б давала найбільшу збіжність експериментальних і теоретичних даних, необхідно провести порівняння цих залежностей за нашими експериментальними дослідженнями та дослідженнями інших авторів.

Перша – функція кубічної параболи

$$\sigma_c = K_1 \cdot u_c + K_2 \cdot u_c^3. \quad (1)$$

Друга – неправильна дробово-раціональна функція

$$\sigma_c = \frac{E_o \cdot u_c - f_{c,0,d} \cdot \left(\frac{u_c}{u_{c1}}\right)^2}{1 + \left(\frac{E_{co}}{f_{c,0,d}} - \frac{2}{u_{c1}}\right) \cdot u_c}. \quad (2)$$

Третя – за нашими пропозиціями – поліном 4-го степеня, отриманий за допомогою многочлена Лагранжа

$$\sigma_c = w_1 \cdot u_c + w_2 \cdot \frac{u_c^2}{u_{c,0,d}} + w_3 \cdot \frac{u_c^3}{u_{c,0,d}^2} + w_4 \cdot \frac{u_c^4}{u_{c,0,d}^3} = \sum_{i=1}^4 w_i \frac{u_c^i}{u_{c,0,d}^{i-1}}. \quad (3)$$

За цими трьома запропонованими функціями (1, 2, 3) будуємо апроксимувачі діаграми та порівнюємо їх з експериментальними діаграмами. Діаграми деревини сосни, які побудовані за нашими експериментальними значеннями та за функцією полінома 4-го степеня наведені на рис. 4а та 4б.

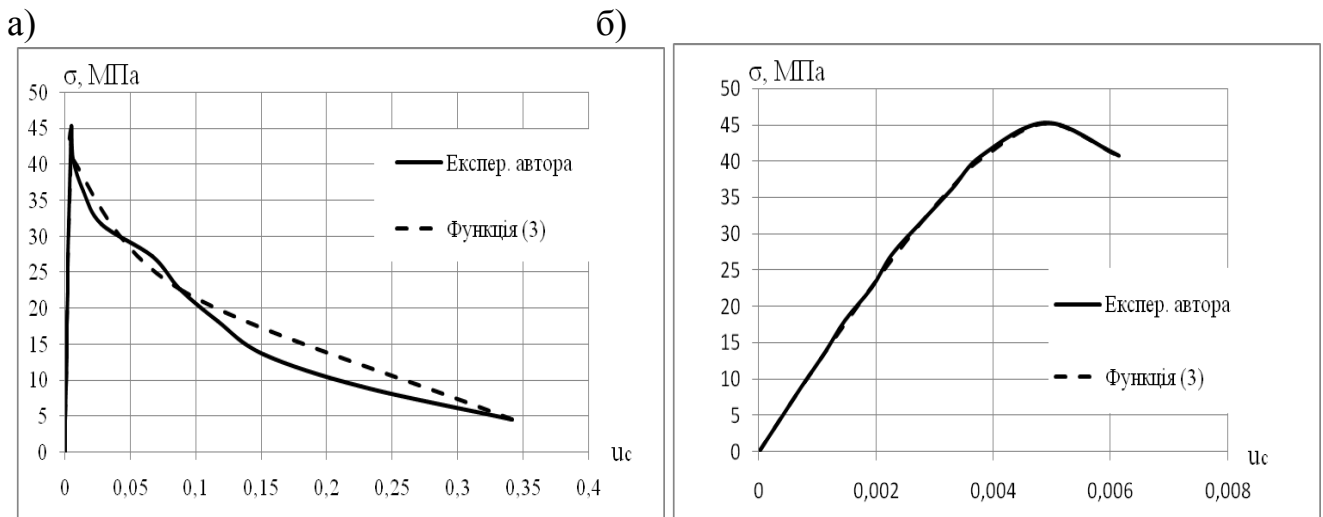


Рис.4. Діаграми деревини сосни за стандартної вологості 12% віком 60 років, які побудовані за нашими експериментальними значеннями та за функцією полінома 4-го степеня: а) дійсних (повних); б) з обмеженням в точці граничних деформацій (оптимізованих)

Розрахунок збіжності дослідних значень суцільної деревини сосни зразків конструкційних розмірів і теоретичних значень з обмеженням у точці граничних деформацій занесено відповідно до табл. 3 та 4.

Таблиця 3

Збіжність дослідних даних деревини отриманих автором та теоретичних значень

Функція	Кубічної параболі (1)	Неправильна дробово-раціональна (2)	Поліном 4-го степеня (3)
Збіжність теоретичних та дослідних значень, η	0,991	0,986	0,999

Таблиця 4

Збіжність дослідних даних деревини сосни різних вчених та теоретичних значень за функцією (3)

Дослідні дані вчених	Автора	Вареника К.А.	Тутуріна С.В.
Функція	Поліном 4-го степеня	Поліном 4-го степеня	Поліном 4-го степеня
Збіжність теоретичних та дослідних значень, η	0,999	0,999	0,997

Отже, після апроксимації діаграм та проведеної математичної статистики (табл. 3 та 4) можемо констатувати, що найбільш прийнятною функцією на всіх ділянках є запропонований нами поліном 4-го степеня (3). Тому приймаємо цю функцію для подальших досліджень роботи деревини інших порід і композиційних матеріалів на її основі, та розрахунків. Функції (1,2) на спадній вітці, нижче точки граничних деформацій, не працюють взагалі.

Визначення критичних деформацій деревини теоретичним шляхом знаходимо в роботі Гринкруг Н.В. Дана формула для визначення критичних деформацій носить емпіричний характер, залежить від максимального напруження та не виділяє пружні й пластичні складові деформування суцільної деревини

$$u_{c,0,d} = (735,825 \cdot \sqrt{f_{c,0,d}} - 3,902) \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

Більшість учених відносні критичні деформації деревини визначають у вигляді цифрового значення. Вони в більшості випадків є інтуїтивними, оскільки випробування проводилися за м'якого режиму.

Отже, величину критичних відносних деформацій деревини запропоновано визначати за сумою відносних пружних і пластичних деформацій

$$u_{c,0,d} = f_{c,0,d} / E_0 + c_1 \cdot f_{c,0,d}^2, \quad (5)$$

де E_0 – початковий модуль пружності суцільної деревини або композиційних матеріалів на її основі;

c_1 – коефіцієнт, що залежить від вологості й віку суцільної деревини, модифікатора, якщо деревина модифікована, і способу модифікації цієї деревини.

Експериментальні значення середніх критичних деформацій деревини різних авторів та відповідні значення критичних деформацій, визначених за формулами (4) та (5) наведено в табл.5. Формула (4) дає добру збіжність за максимального

напруження від 40 до 50 МПа. Нижче та вище таких напружень збіжність вже є менш задовільною або взагалі незадовільною.

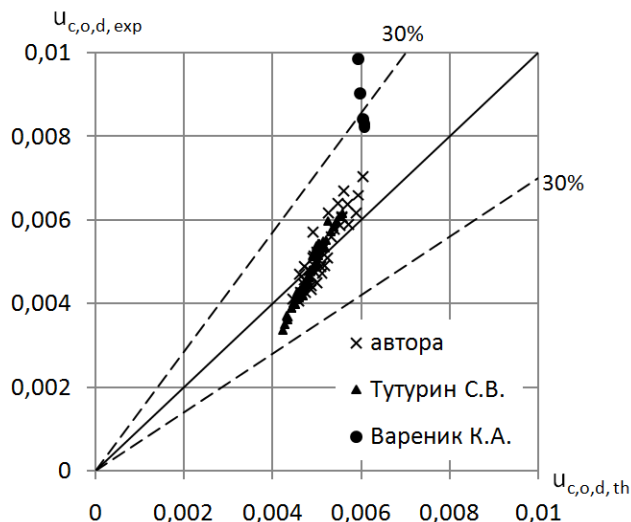
Таблиця 5

Експериментальні значення середніх критичних деформацій
деревини різних авторів та відповідні значення критичних деформацій,
визначених за формулами (4) та (5)

Порода деревини	Переріз $a \times b \times h$, мм	К-сть призм шт.	$f_{c,0,d}$ МПа	$u_{c,0,d,exp}$	E_0 , МПа	$u_{c,0,d,th}$ функція (4)	$u_{c,0,d,th}$ функція (5)	$u_{c,el,th}$ функція (5)	$u_{c,pl,th}$ функція (5)
Експериментальні дослідження автора									
Береза	30x30x120	9	46,1	0,00525	12300	0,00499	0,00514	0,00375	0,00139
Вільха	30x30x120	9	40,8	0,00450	11700	0,00470	0,00458	0,00349	0,00109
Ясен	30x30x120	9	57,7	0,00610	16000	0,00559	0,00579	0,00361	0,00218
Модрина	30x30x120	9	59,7	0,00641	13700	0,00568	0,00669	0,00436	0,00233
Сосна	30x30x120	9	45,3	0,00515	12900	0,00495	0,00485	0,00351	0,00134
Ялина	30x30x120	9	43,6	0,00467	14400	0,00486	0,00427	0,00303	0,00124
Експериментальні дослідження Тутурин С.В.									
Сосна	30x30x90	16	44,3	0,00481	12850	0,00489	0,00473	0,00344	0,00129
Сосна	40x40x120	12	51,0	0,00599	12850	0,00525	0,00567	0,00397	0,00170
Сосна	50x50x150	10	38,2	0,00411	12850	0,00451	0,00393	0,00297	0,00096
Сосна	60x60x180	13	42,6	0,00464	12850	0,00480	0,00451	0,00332	0,00119
Сосна	70x70x210	8	36,8	0,00401	12850	0,00447	0,00375	0,00286	0,00089
Експериментальні дослідження Вареника К.А.									
Сосна	30x30x120	5	67,1	0,00843	14800	0,00602	0,00748	0,00453	0,00295

Відхилення теоретичних та дослідних значень критичних деформацій показано на рис.5.

а)



б)

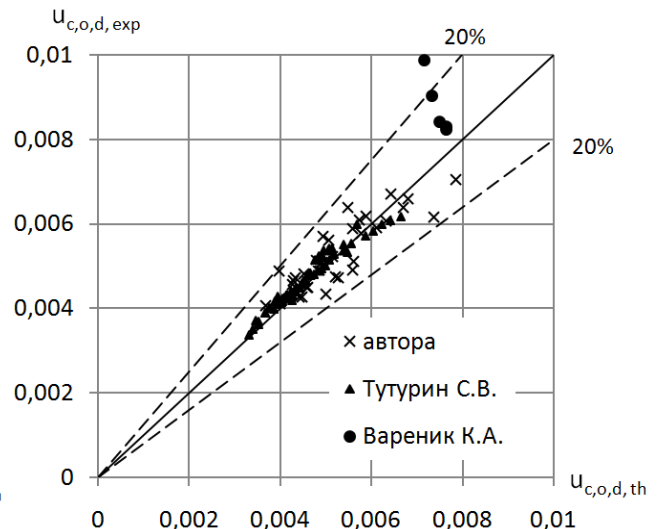


Рис.5. Відхилення теоретичних та дослідних значень критичних деформацій
деревини різними дослідниками відповідно за формулами: а) (4); б) (5)

З рис. 5 бачимо, що формула (5) має кращу збіжність ніж (4) з експериментальними даними. Функція (5) також має ряд інших переваг: є досить простою та зручною при розрахунках; у ній виділено дві складові – пружну та пластичну; не носить емпіричного характеру, залежить від максимального напруження та початкового модуля пружності деревини; може бути використана, як для різних хвойних, так і листяних порід деревини. В подальшому саме ця функція буде прийнята для різних розрахунків елементів та конструкцій з деревини та композиційних матеріалів на її основі. Функція (5) апробована близько на 150 листяних та хвойних породах деревини.

Січний модуль деформацій визначено за (6)

$$E' = E_o(1 \pm \lambda_{f_{c,0,d}} \eta), \quad (6)$$

де $\lambda_{f_{c,0,d}}$ – коефіцієнт пластичності деревини за стиску вздовж волокон;

η – рівень напружень у деревині.

Граничні відносні деформації суцільної деревини різних хвойних та листяних порід або композиційних матеріалів на її основі $u_{c,u}$ – це деформації деревини, які, наприклад, відповідають відносним деформаціям деревини згинального елемента в стиснутій зоні розрахункового перерізу за максимального моменту M_d (руйнівного). Вони відповідають таким же відносним напруженням, які знаходяться на спадній вітці діаграми «напруження – деформації» (рис.6). Встановити експериментальним шляхом, у якій точці діаграми спадної вітки вони знаходяться, дуже складно. Тому їх необхідно моделювати.

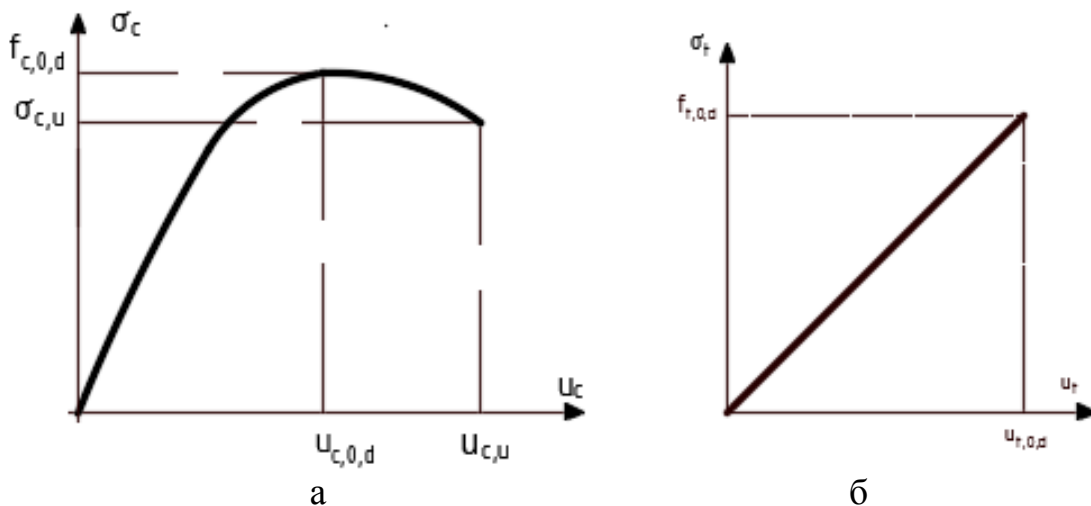


Рис.6. Діаграми «напруження – деформації» деревини та композиційних матеріалів на її основі: а) за стиску вздовж волокон; б) за розтягу вздовж волокон

Для того, щоб визначити відносні граничні деформації для пружно-пластичного матеріалу, необхідно побудувати діаграму деформування «момент-кривина» для згинального елемента прямокутного перерізу з суцільної листяних та хвойних порід деревини або композиційного матеріалу на її основі. Побудова даної діаграми проводиться в наступній послідовності: визначаємо напружено-деформований стан згинального елемента, будуємо діаграми деформування

матеріалу і проводимо необхідні розрахунки для побудови діаграми «момент-кривина».

Основними умовами для визначення напружено-деформованого стану є:

- 1) усі необхідні рівняння рівноваги, які виникають у поперечному перерізі;
- 2) деформування в поперечному перерізі проходить за лінійним законом (зі збільшенням висоти перерізу деформації збільшуються пропорційно);
- 3) використання функцій діаграм деформування за стиску та розтягу вздовж волокон в стиснутій та розтягнутій зонах розрахункового поперечного перерізу, отриманих на основі експериментальних досліджень.

Тому враховуючи такі умови, для деформаційної моделі запропоновано опис діаграми деформування матеріалу деревини або композиційного матеріалу з обмеженням у точці граничних деформацій стиском уздовж волокон, з врахуванням їх пружно-пластичних складових за формулою

$$\sigma_{c,d} = f_c(u) = \sum_{i=1}^4 w_i \frac{u_c^i}{u_{c,0,d}^{i-1}}, \quad (7)$$

де $\sigma_{c,d}$ – нормальне напруження стиску вздовж волокон;

$u_{c,d}$ – відносна деформація;

w_i – коефіцієнти полінома функції (7).

Напруження в розтягнутій зоні визначаємо

$$\sigma_{t,d} = f_t(u) = E_0 \cdot u_t, \quad (8)$$

де $\sigma_{t,d}$ – нормальне напруження розтягу вздовж волокон;

$u_{t,d}$ – відносні деформації розтягу.

Використовуючи залежності (7) та (8), визначимо внутрішні зусилля:

$$\text{- за стиску} \quad N_{c,d} = b \cdot z_c \sum_{i=1}^4 \frac{w_i}{i+1} \cdot \frac{w_c^i}{u_{c,0,d}^{i-1}}; \quad (9)$$

$$\text{- за розтягу} \quad N_{t,d} = b \cdot z_t \cdot \frac{E_0 \cdot u_t}{2}. \quad (10)$$

$$\text{- для стиснутої зони} \quad M_{c,d} = b \cdot z_c^2 \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{w_i}{i+2} \cdot \frac{u_c^i}{u_{c,0,d}^{i-1}}; \quad (11)$$

$$\text{- для розтягнутої зони} \quad M_{t,d} = b \cdot z_t^2 \cdot \frac{E_0 \cdot u_t}{3}. \quad (12)$$

Сумарний згинаючий момент, що працює на поперечний згин визначаємо

$$M_d = b \cdot z_c^2 \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{w_i}{i+2} \cdot \frac{u_c^i}{u_{c,0,d}^{i-1}} + b \cdot z_t^2 \cdot \frac{E_0 \cdot u_t}{3}. \quad (13)$$

Для побудови діаграми «момент – кривина» використаємо функцію (7). Алгоритм побудови діаграми «момент – кривина» згинального елемента прямокутного перерізу суцільної деревини листяних та хвойних порід чи композиційного матеріалу на її основі показано на рис. 7.

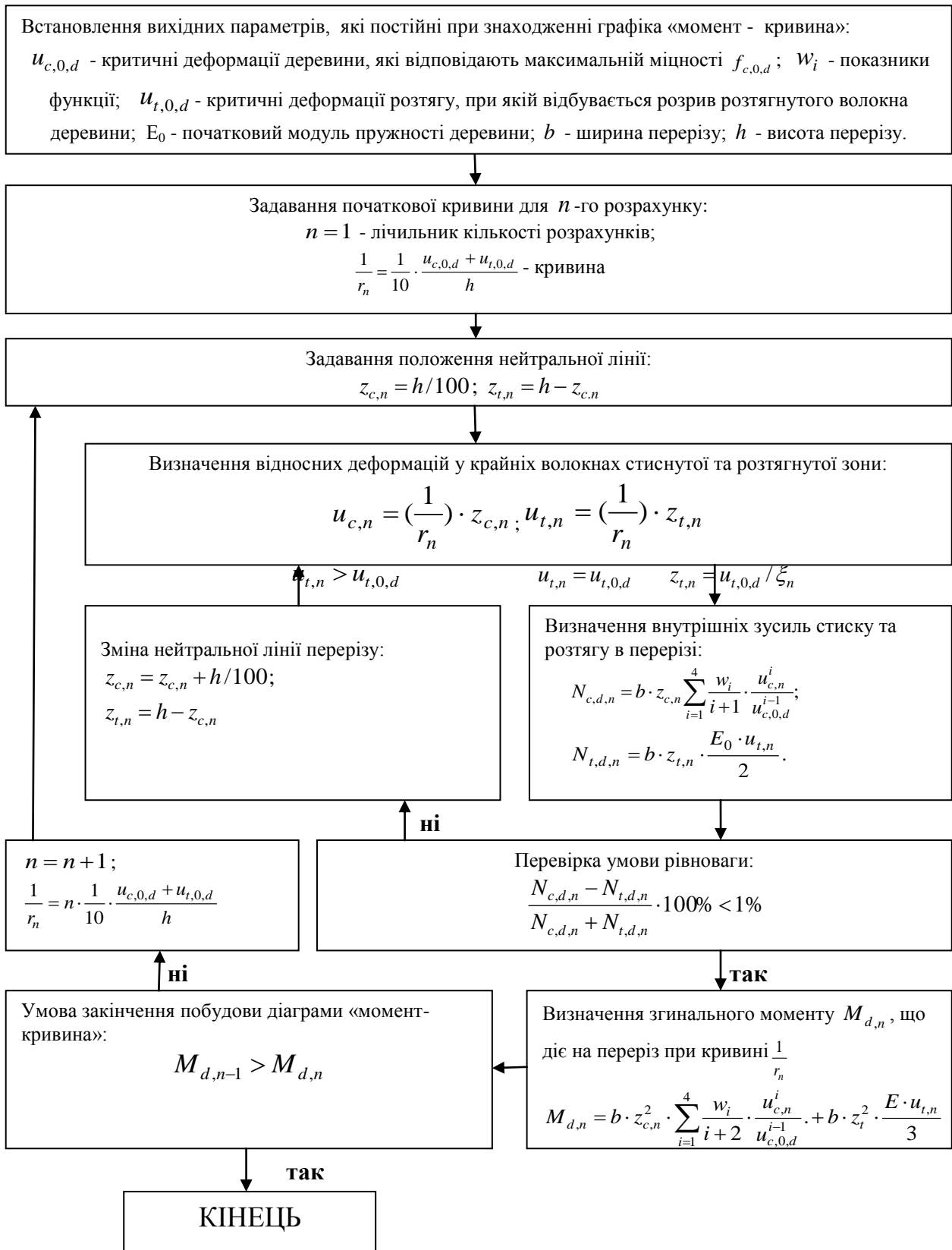


Рис. 7. Алгоритм побудови діаграми «момент – кривина» згинального елемента прямокутного перерізу суцільної, клеєної та модифікованої силором деревини листяних та хвойних порід

У третьому розділі (I серія випробувань) проведено аналіз експериментальних досліджень суцільної деревини берези, вільхи, ясена, модрина, сосни, ялини з різним показником вологості.

Проаналізуємо дійсну (повну) діаграму «напруження – деформації». Умовно поділимо діаграму на висхідну вітку (від 0 до точки максимального напруження та критичних деформацій) та спадну (від точки максимального напруження та критичних деформацій до моменту руйнування) (рис.8а). Поділимо її на чотири ділянки: дві докритичні та дві закритичні.

Перша ділянка початкового етапу роботи зразка характеризується значним викривленням діаграми, на яку впливають деформації торцевого обтиснення зразка і знаходиться в межах $\eta=0$ до $\eta=0,15$ – $\eta=0,25$ від максимального напруження.

Друга ділянка – від завершення першої ділянки до настання критичних відносних деформацій. На цій ділянці знаходиться експлуатаційний режим роботи зразка – робота матеріалу за нормальних умов експлуатації та аварійний режим експлуатації – на даному етапі матеріал може зруйнуватися за певного часу тривалого або малоциклового навантаження. Відносні деформації деревини починають зростати з більшою швидкістю в порівнянні з першою ділянкою, ділянка набуває викривлення в бік осі напружень. На даній ділянці діаграма на висхідній вітці досягає найвищої точки максимальних напружень, їм відповідають критичні деформації.

Далі матеріал переходить у наступну фазу роботи – на спадній вітці (закритична стадія роботи), де явно виділяється ще 2 ділянки – третя й четверта.

Третя ділянка – це початок спадної вітки, що характеризується стрімким зменшенням міцності деревини й до граничних відносних деформацій деревини.

Четверта ділянка – від граничних відносних деформацій деревини, яка характеризується збільшенням швидкості деформування за менш стрімкого, ніж на першій ділянці зменшення міцності, на якій деформації можуть досягати гіпер величин і це призводить до повного руйнування матеріалу.

На рис.8б можливо спостерігати роботу матеріалу на всіх чотирьох ділянках. Така робота характерна для суцільної, клеєної та модифікованої деревини.

Після проведення експериментальних досліджень та опрацювання отриманих результатів побудовано дійсні (повні) діаграми деформування деревини « σ_c-u_c » листяних (берези, вільхи, ясена) та хвойних (модрина, сосни, ялини) порід деревини відповідно за усередненої вологості 30%, 21%, 12% (рис.9). На даних діаграмах завжди спостерігаємо дві ділянки: висхідну та спадну. Це свідчить про те, що деревина за різної вологості працює не тільки до точки максимального напруження, а й має певну залишкову (закритичну) міцність після проходження цієї точки.

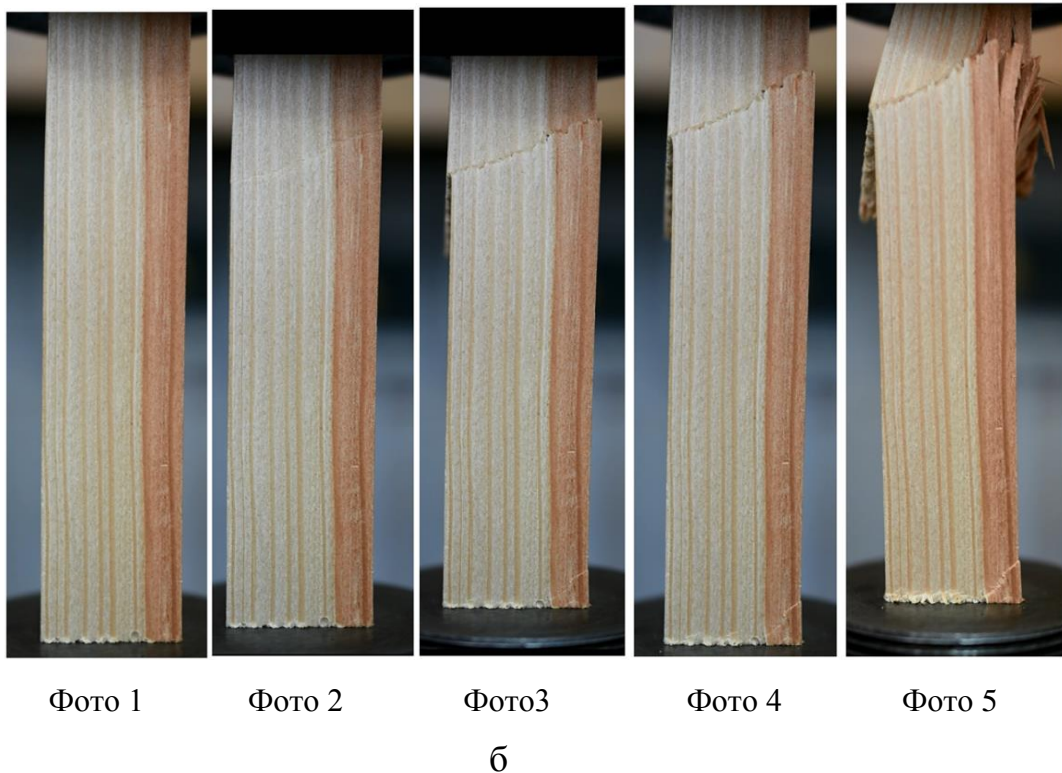
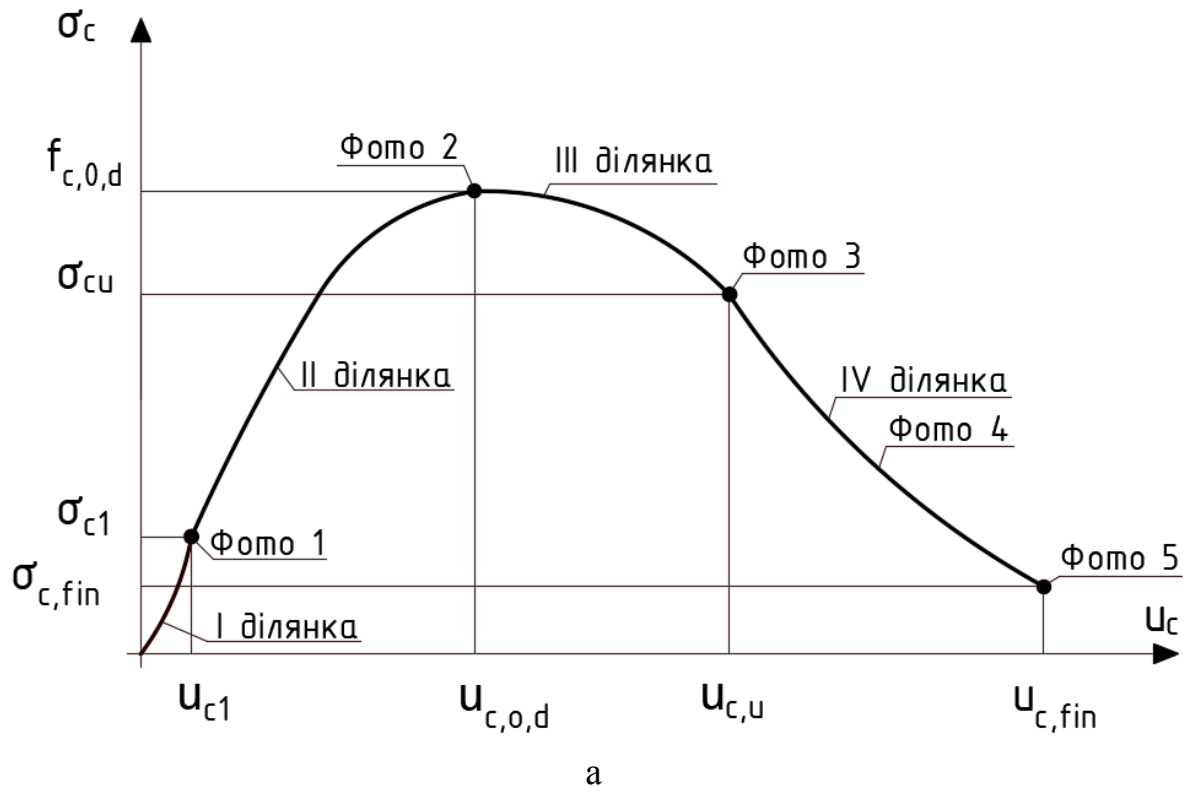


Рис.8. Еталон дійсної (повної) діаграми деформування деревини «навантаження – переміщення плити випробувальної машини» за стиску вздовж волокон – а; роботи деревини на ділянках – б

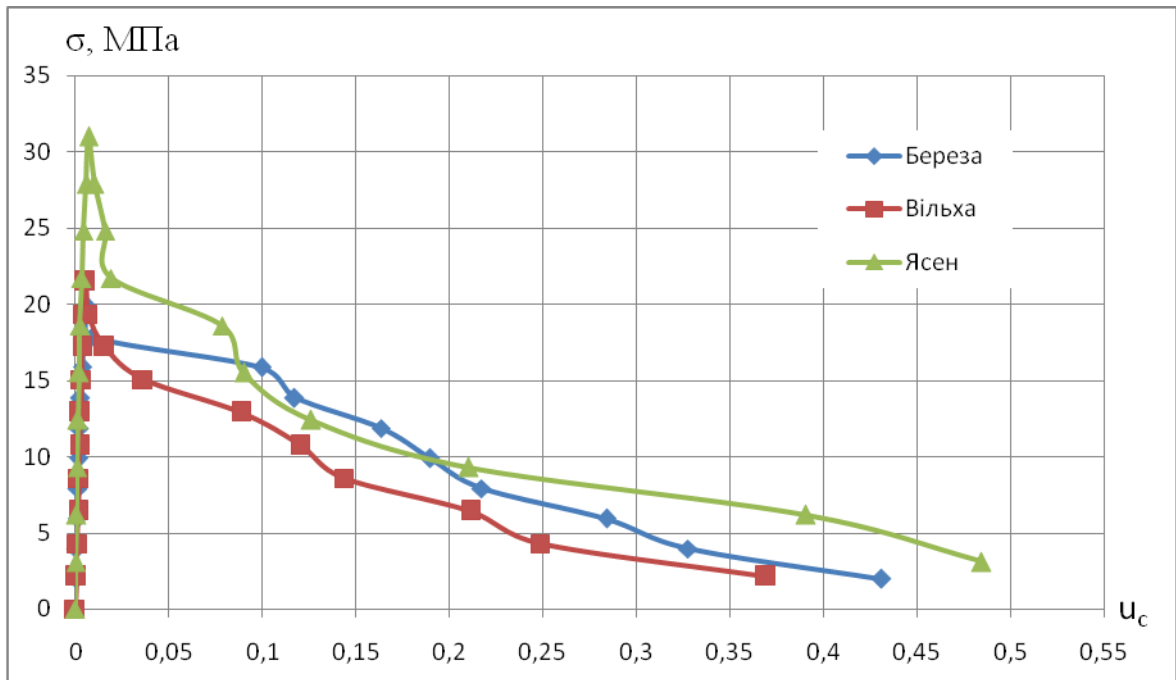


Рис. 9. Дійсні (повні) діаграми деформування суцільної деревини листяних порід віком 60 років за вологості 30%

За результатами експериментальних досліджень та методиками, наведеними в розділі 2 визначаємо почергово міцність усіх досліджуваних порід деревини за різної вологості, початкові модулі пружності (рис.10), критичні деформації та їх пружну й пластичну складові, а також граничні деформації. Результати наведено в табл. 6.

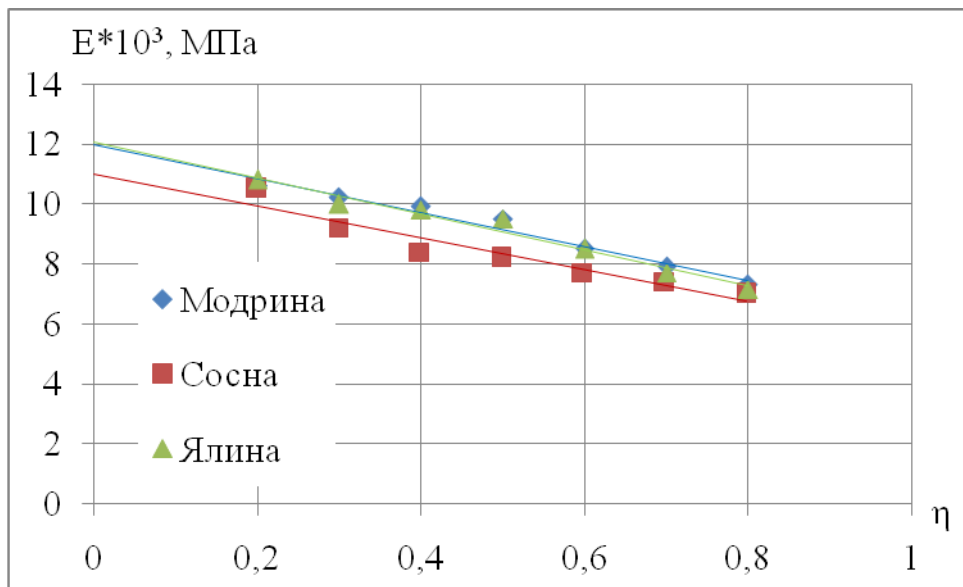


Рис.10. Діаграми «E-η» (січний модуль – рівень напружень) хвойних порід суцільної деревини у віці 60 років за вологості 21%

Основні міцнісні та деформівні параметри листяних та хвойних порід суцільної деревини за різної вологості

№з/п	Порода деревини	$f_{c,0,d}$ МПа	E_0 , МПа	$u_{c,0,d,exp}$	$u_{c,el,th}$	$u_{c,pl,th}$	$u_{c,0,d,th}$	$u_{r,0,d}$	$u_{c,u}$
Вологість 30%									
1	Береза	19,8	10000	0,00627	0,00198	0,00341	0,00539	0,00940	0,00889
2	Вільха	21,5	7500	0,00545	0,00287	0,00402	0,00689	0,01190	0,00825
3	Ясен	31,0	13600	0,00708	0,00228	0,00660	0,00888	0,00853	0,01096
4	Модрина	24,8	10600	0,00756	0,00182	0,00587	0,00769	0,00917	0,01057
5	Сосна	21,3	9700	0,00582	0,00220	0,00394	0,00614	0,00856	0,00780
6	Ялина	19,4	10700	0,00565	0,00181	0,00328	0,00509	0,00804	0,00771
Вологість 21%									
1	Береза	29,5	10900	0,00593	0,00271	0,00234	0,00505	0,00927	0,00894
2	Вільха	26,3	8800	0,00504	0,00299	0,00186	0,00485	0,01090	0,00752
3	Ясен	37,4	14700	0,00671	0,00254	0,00377	0,00631	0,00847	0,01021
4	Модрина	38,9	12000	0,00717	0,00324	0,00407	0,00731	0,00892	0,01038
5	Сосна	29,4	11000	0,00549	0,00267	0,00233	0,00500	0,00818	0,00714
6	Ялина	30,6	12100	0,00532	0,00253	0,00252	0,00505	0,00760	0,00775

Проведемо статистичний аналіз отриманих експериментальних і теоретичних значень критичних деформацій результатів досліджень за всіма 36-ма зразками хвойних та листяних порід суцільної деревини вологістю 21% (рис.11, табл.7).

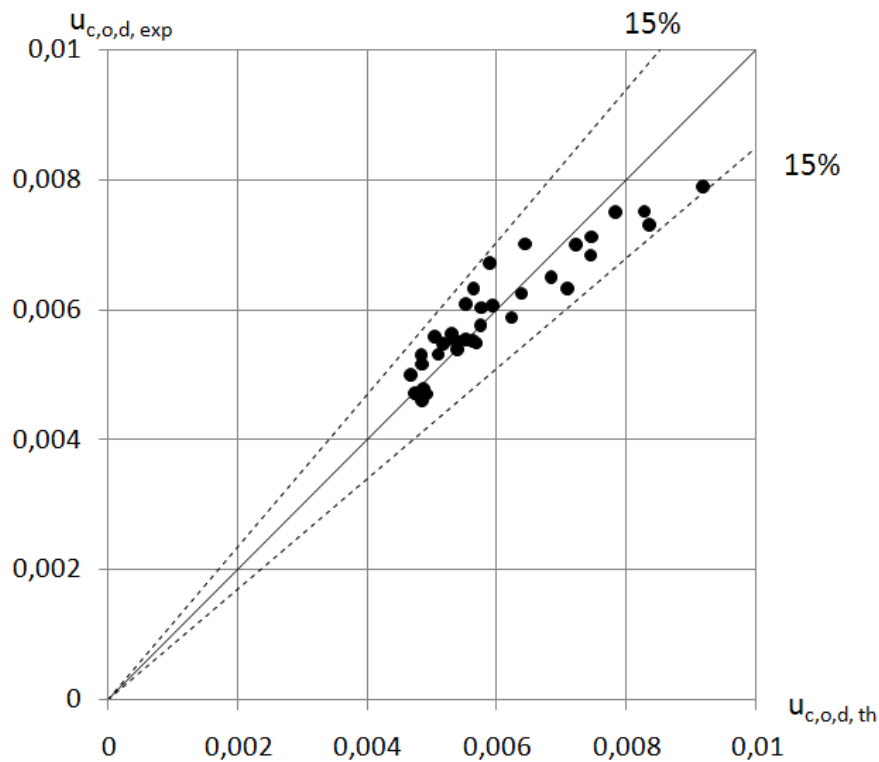


Рис.11. Відхилення експериментальних значень критичних деформацій від теоретичних за формулою автора (5) суцільної деревини листяних та хвойних порід вологістю 21%

Таблиця 7

Статистична оцінка формули автора (5) з визначення критичних деформацій суцільної деревини листяних та хвойних порід вологістю 21%

Формула для визначення критичних деформацій	Відхилення від експериментальних значень, %				
	$\Delta_{u,1}$	$\Delta_{u,2}$	Δ_u	σ_u	$\Delta_{u,max}$
$u_{c,0,d} = f_{c,0,d} / E_c + c_1 \cdot f_{c,0,d}^2$, де $c_1 = 2,69 \cdot 10^{-6} \text{ (МПа)}^{-2}$	-13,42	14,30	-0,19	7,12	14,30
36 зразків. $\Delta_{u,1}$, $\Delta_{u,2}$ – нижня та верхня межі відхилень від експериментальних значень; Δ_u , σ_u – середньоарифметичні та стандартні значення цих відхилень; $\Delta_{u,max}$ – максимальне з $\Delta_{u,1}$ і $\Delta_{u,2}$.					

Для встановлення відносних граничних деформацій усіх досліджуваних листяних та хвойних порід деревини з різною усередненою вологістю використано методику, запропоновану в попередньому розділі. Для цього визначаємо коефіцієнти поліному w_1, w_2, w_3, w_4 запропонованої функції (7), встановлюємо відносні критичні деформації розтягу $u_{t,0,d}$ та стиску $u_{c,0,d}$ уздовж волокон, а також значення початкового модуля пружності деревини.

За визначеними даними будуюмо діаграми «момент – кривина» для всіх досліджуваних порід деревини різної вологості (рис.12) на основі алгоритму (рис.7). За отриманими даними будуюмо також діаграми «момент – деформації» для всіх листяних та хвойних порід, що досліджувались (рис.13).

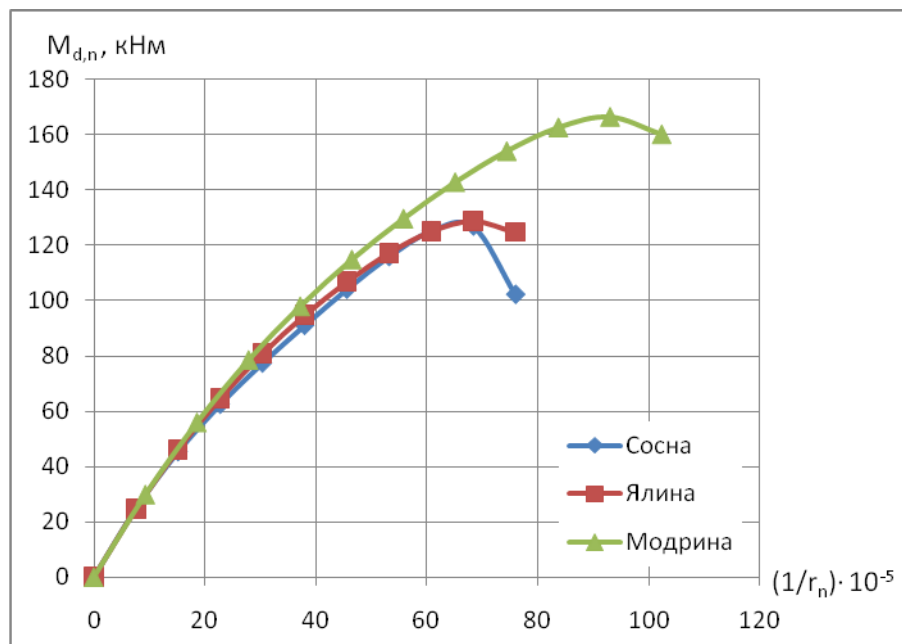


Рис.12. Діаграма «момент – кривина» хвойних порід за вологості 30%

Граничними будуть ті відносні деформації деревини $u_{c,u}$ у крайніх волокнах розрахункового поперечного перерізу елемента з деревини, що працює на поперечний згин, за максимальних розрахункових навантажень, які створює максимальний згинальний момент $M_{d,n,max}$.

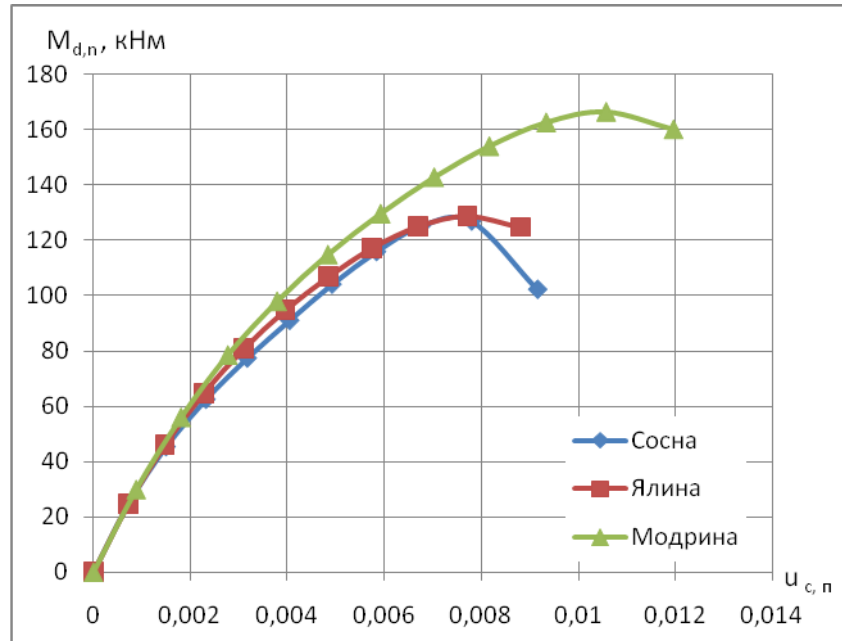


Рис.13. Трансформація діаграм «момент – кривина» в діаграми «момент – деформації» за вологості 30% хвойних порід

Деревина в процесі експлуатації може мати різні показники вологості, відмінні від тих, які ми досліджували. Проводячи експериментальні дослідження хвойних та листяних порід деревини конструкційних розмірів, а потім, опрацьовуючи результати, було помічено, що за різних показників вологості міцнісні та деформівні параметри є мінливими. Тому важливо визначати такі показники і за інших рівнів. Це можливо виконати, будуючи графіки залежностей вологості в межах 12–50% від таких характеристик (рис.14а, рис.14б, рис.15а, рис.15б, рис.16а, рис.16б, рис.17а, рис.17б). Ці діаграми дозволять нам визначати основні міцнісні та деформівні параметри за будь-якої вологості, а внаслідок цього мати дійсні значення таких показників.

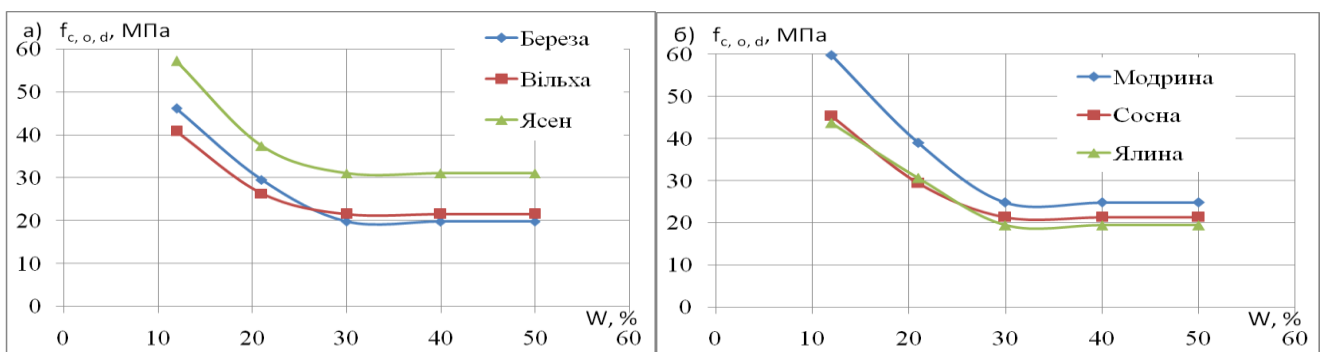


Рис.14. Залежність максимального напруження суцільної деревини від вологості: а) листяних порід; б) хвойних порід

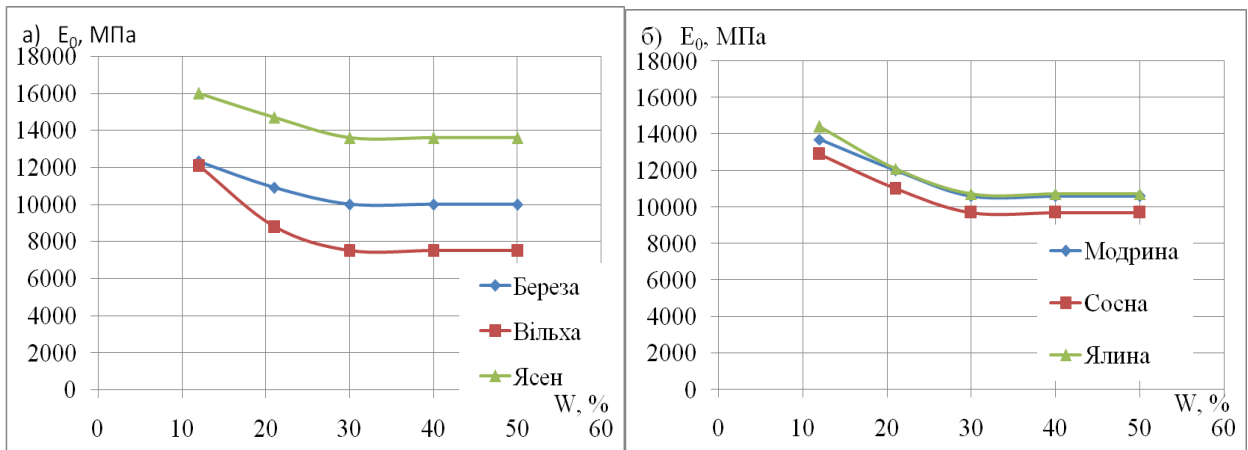


Рис.15. Залежність початкового модуля пружності суцільної деревини від вологості: а) листяних порід; б) хвойних порід

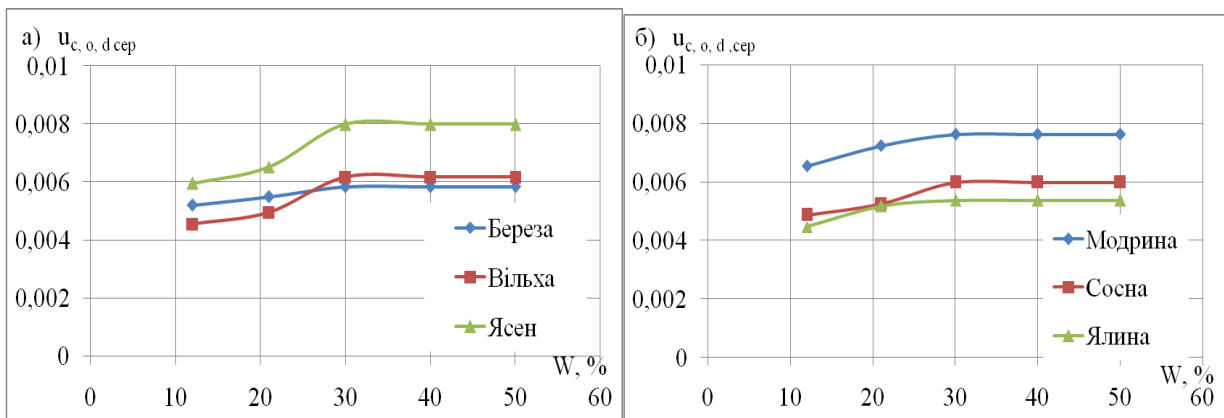


Рис.16. Залежність усереднених критичних деформацій (між експериментальними й теоретичними) суцільної деревини від вологості: а) листяних порід; б) хвойних порід

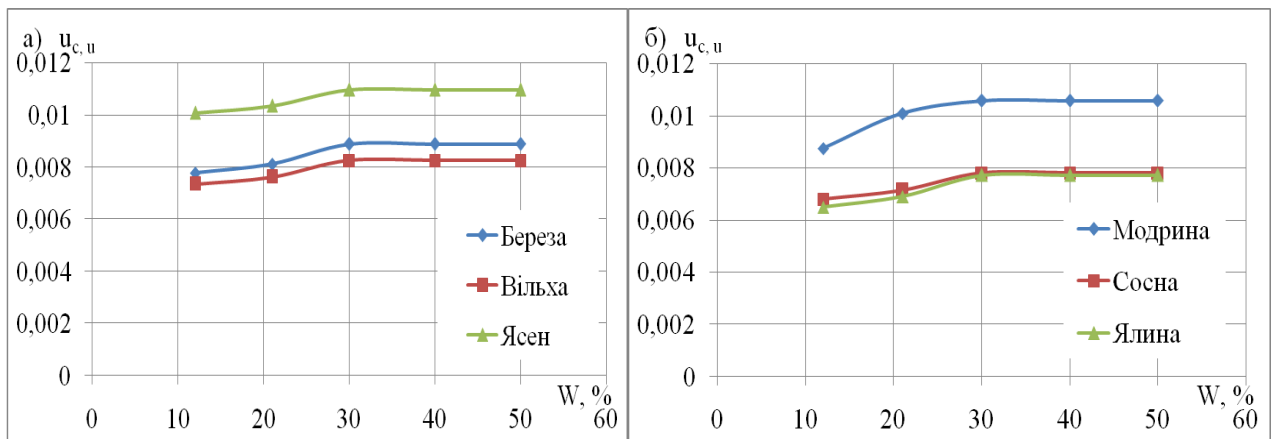


Рис.17. Залежність граничних деформацій суцільної деревини від вологості: а) листяних порід; б) хвойних порід

Але для наочності наших результатів побудуємо гістограми для кожного важливого параметра діаграми «напруження σ_c – деформації u_c » та тих показників, які отримали теоретичним шляхом (рис.18а, рис.18б, рис.19а, рис.19б). Таким чином, унаслідок сушіння деревини призм конструкційних розмірів від 30 до 12%: міцність деревини збільшується в 1,85 – 2,33 раза;

початкові модулі пружності зростають в 1,18 – 1,61 раза; критичні деформації зменшуються в 1,16 – 1,22 раза; граничні деформації також зменшуються в 1,09 – 1,30 раза.

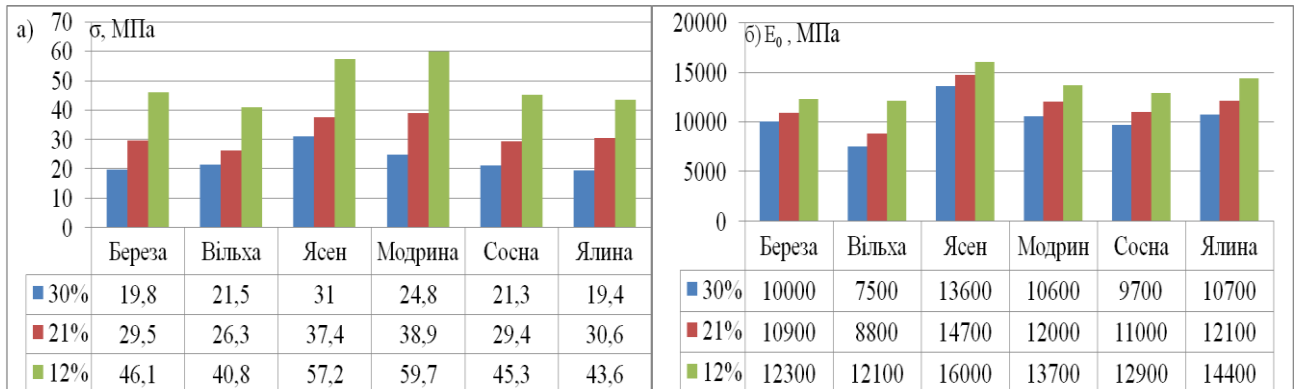


Рис.18. Динаміка зміни параметрів листяних та хвойних порід деревини за різних показників вологості: а) міцності; б) початкового модуля пружності

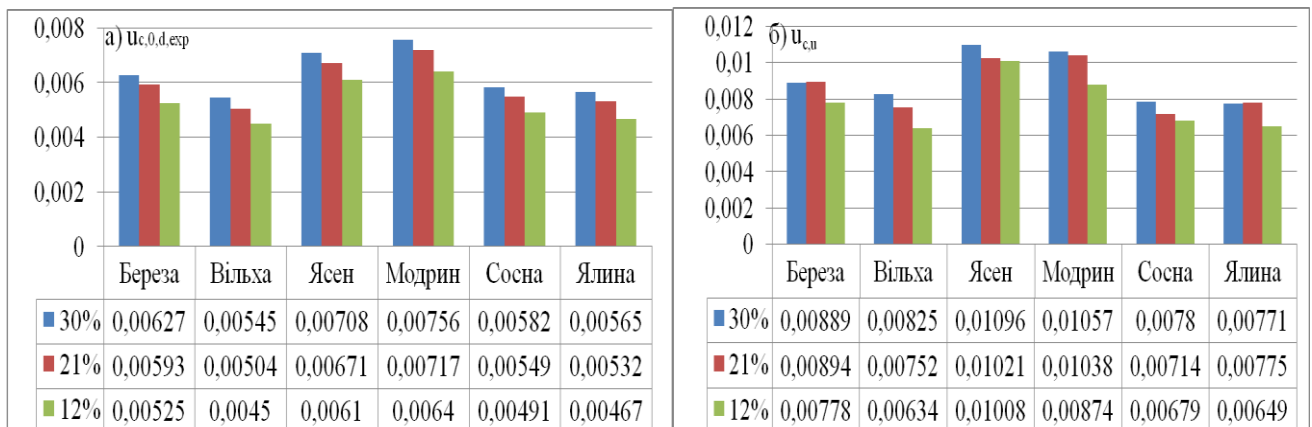


Рис.19. Динаміка зміни деформівності листяних та хвойних порід деревини за різних показників вологості: а) критичних деформацій; б) граничних деформацій

В розділі 4 (I серія випробувань) проведено аналіз експериментальних досліджень суцільної деревини берези, вільхи, ясена, модрина, сосни, ялини різного віку (60, 40, 20 років) за стандартної вологості 12%. Основні деформівні та міцнісні характеристики діаграми «напруження σ_c – деформації u_c » встановлені аналогічним чином, як і в розділі 3.

Вітчизняні та зарубіжні вчені дослідженням міцнісних та деформівних характеристик суцільної деревини різного віку не приділяли великої уваги. В літературі фактично відсутні такі дослідження. Тому важливо надати інформацію наших власних досліджень основних параметрів діаграми «напруження σ_c – деформації u_c », яка б дозволяла враховувати при проектуванні конструкційних матеріалів, деталей, виробів, елементів, конструкцій з деревини з урахуванням фактору віку не тільки за 20, 40 та 60 років, але й проміжних років (рис.20а, рис.20б, рис.21а, рис.21б, рис.22а, рис.22б, рис.23а, рис.23б).

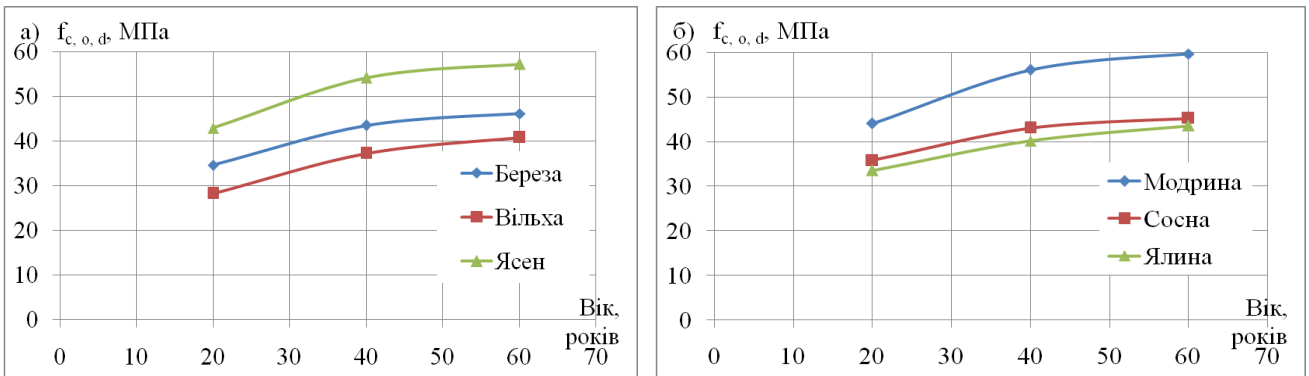


Рис.20. Залежність максимального напруження суцільної деревини від віку: а) листяних порід; б) хвойних порід

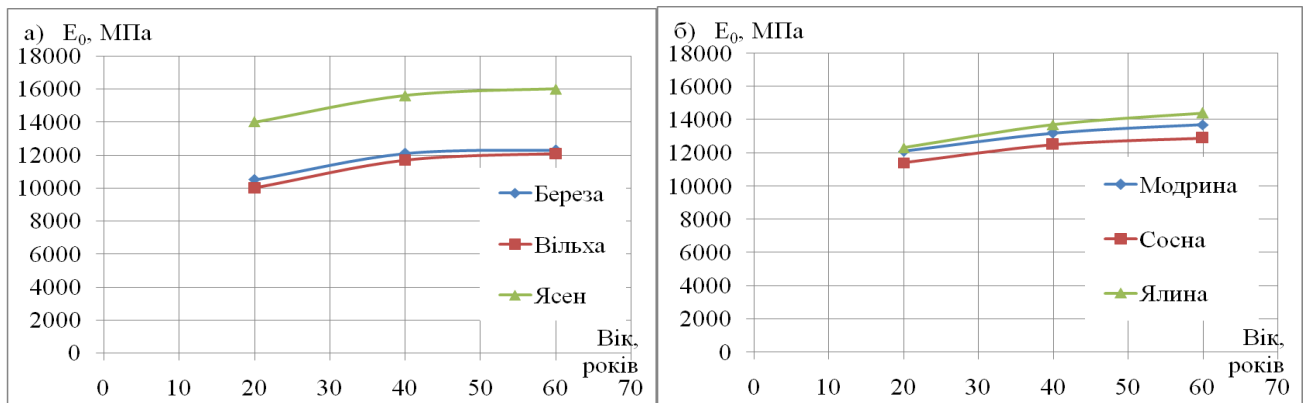


Рис.21. Залежність початкового модуля пружності суцільної деревини від віку: а) листяних порід; б) хвойних порід

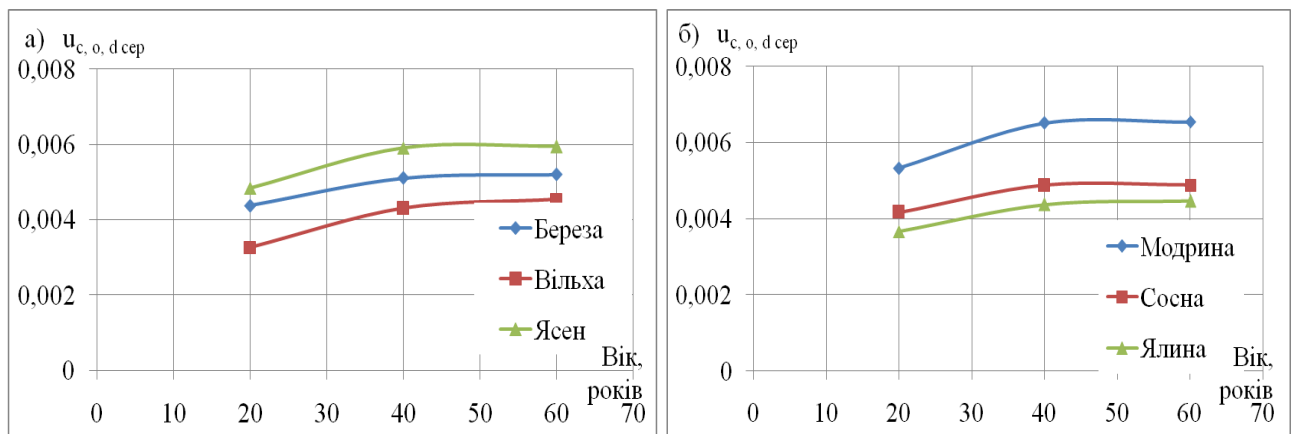


Рис.22. Залежність усереднених критичних деформацій (між експериментальними та теоретичними) суцільної деревини від віку: а) листяних порід; б) хвойних порід

Отже, за результатами експерименту наведемо гістограми для кожного важливого параметра діаграми «напруження σ_c – деформації u_c » та тих показників, які ми отримали теоретичним шляхом, відповідно за віку 60, 40, 20 років для всіх досліджуваних порід деревини (рис.24а, рис.24б, рис.25а, рис.25б).

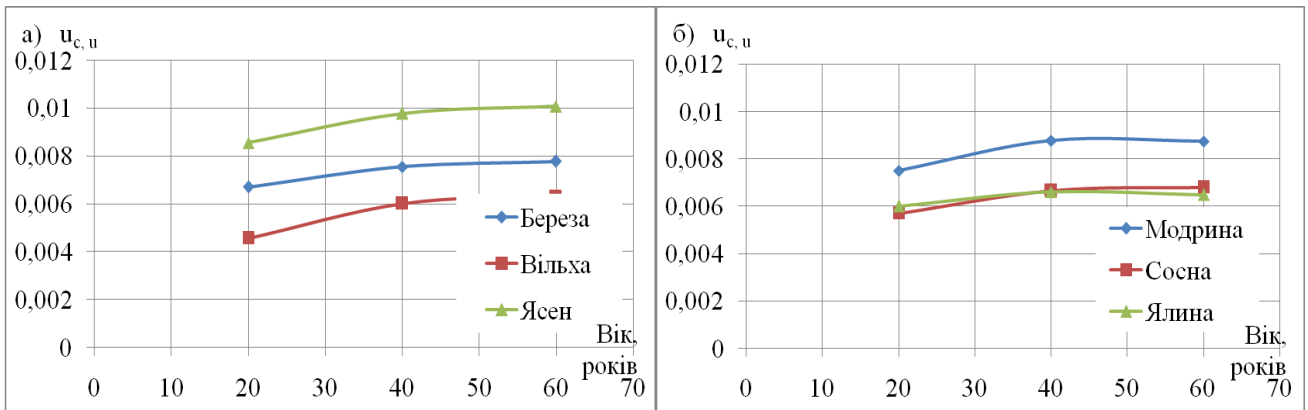


Рис.23. Залежність граничних деформацій суцільної деревини від вологості: а) листяних порід; б) хвойних порід

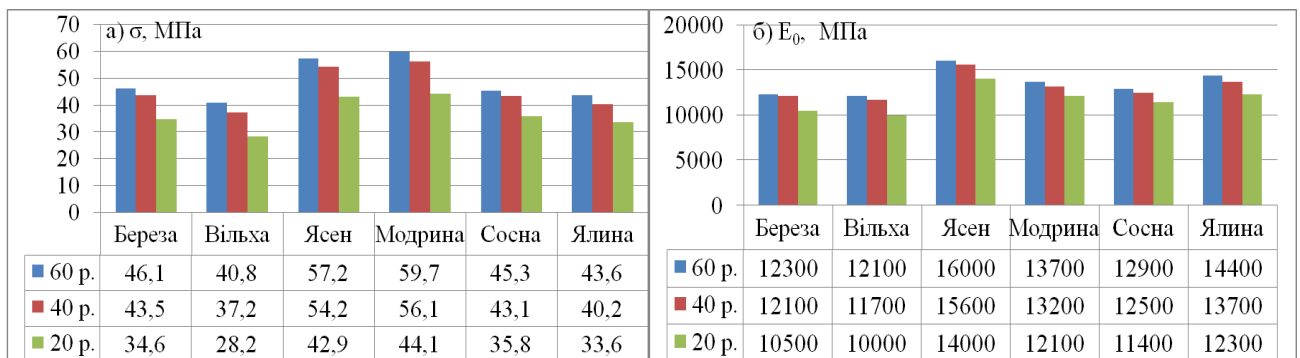


Рис.24. Динаміка зміни параметрів листяних та хвойних порід деревини за різного віку: а) міцності; б) початкового модуля пружності

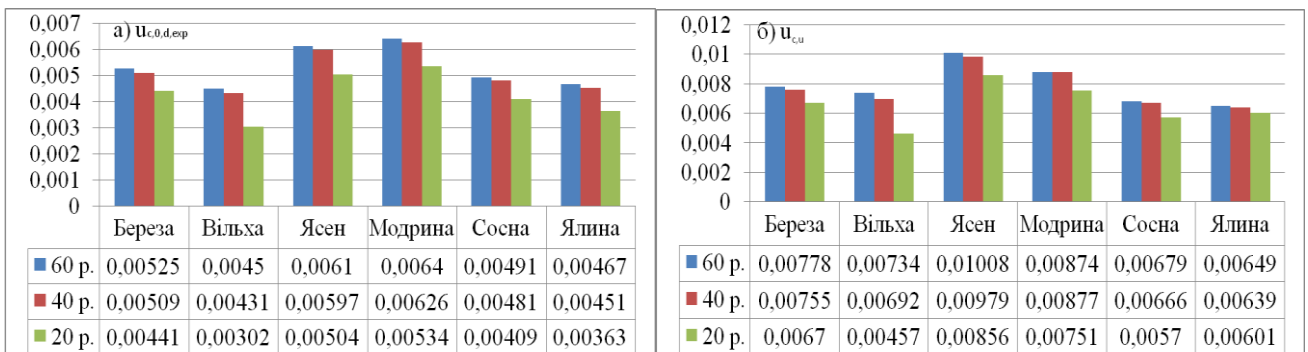


Рис.25. Динаміка зміни деформівності листяних та хвойних порід деревини за різних показників вологості: а) критичних деформацій; б) граничних деформацій

Проводячи аналіз експериментальних досліджень, приходимо до висновку, що основні параметри міцності та деформівності деревини віком від 60 до 20 років зменшуються: міцність (рис.24а) на 27 – 45%; початковий модуль пружності (рис.24б) на 12 – 17%; критичні деформації (рис.25а) на 19 – 49%; граничні деформації (рис.25б) на 8 – 39%.

Аналізуючи всі основні міцнісні та деформівні характеристики діаграми «напруження σ_c – деформації u_c » приходимо до висновку, що зі зменшенням віку деревини вони погіршуються.

В розділі 5 проведено аналіз експериментальних досліджень клеєної, клеєної та суцільної модифікованої деревини всіх досліджуваних порід за стандартної вологості 12%.

Основні деформівні та міцнісні характеристики діаграми «напруження σ_c – деформації u_c » клеєної деревини перерізом 30x30x120 мм встановлені аналогічним чином (табл.8) (II серія випробувань), як і в розділі 3,4.

Таблиця 8

Основні міцнісні та деформівні параметри листяних та хвойних порід клеєної деревини за стандартної вологості 12%

№з/п	Порода деревини	К-сть призм шт.	$f_{c,0,d}$ МПа	E_0 , МПа	$u_{c,0,d,exp}$	$u_{c,el,th}$	$u_{c,pl,th}$	$u_{c,0,d,th}$	$u_{c,u}$
1	Береза	6	55,0	15600	0,00493	0,00362	0,00180	0,00542	0,00802
2	Вільха	6	50,9	15800	0,00435	0,00322	0,00154	0,00476	0,00671
3	Ясен	6	66,6	18300	0,00590	0,00363	0,00265	0,00628	0,01036
4	Модрина	6	63,8	16900	0,00672	0,00378	0,00242	0,00619	0,00848
5	Сосна	6	52,2	14800	0,00516	0,00353	0,00162	0,00515	0,00711
6	Ялина	6	53,7	16200	0,00453	0,00332	0,00171	0,00503	0,00704

Отже, за результатами експериментальних досліджень та опрацювання результатів побудовано динаміку зміни основних міцнісних та деформівних параметрів клеєної деревини від впливу склеювання (рис.26а, рис.26б, рис.27а, рис.27б).

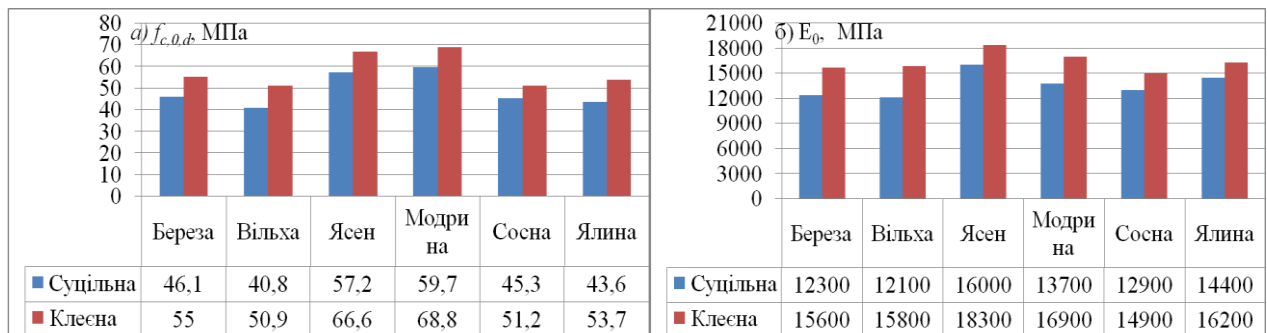


Рис.26. Динаміка зміни параметрів листяних та хвойних порід клеєної деревини за стандартної вологості 12%: а) міцності; б) початкового модуля пружності

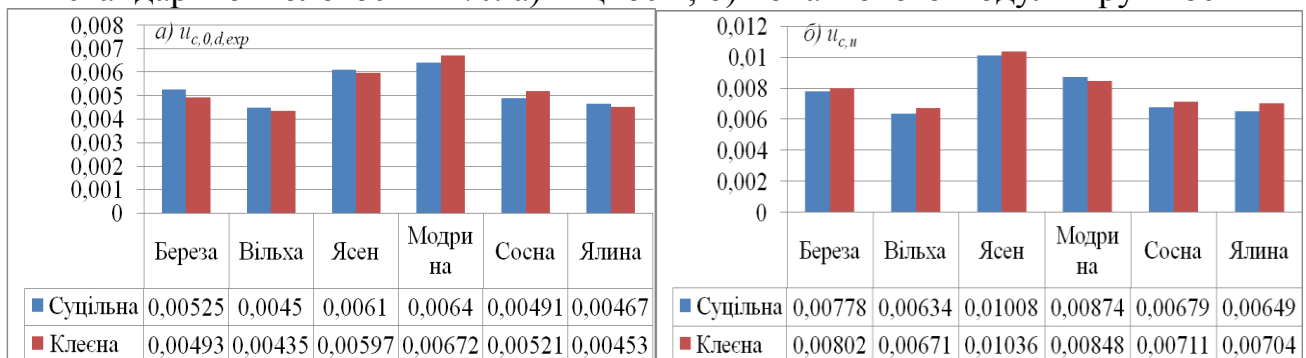


Рис.27. Динаміка зміни деформівності листяних та хвойних порід клеєної деревини за стандартної вологості 12%: а) критичних деформацій; б) граничних деформацій

Аналізуючи експериментальні дослідження, встановлено, що основні параметри міцності та деформівності клеєної деревини в порівнянні з суцільною змінюються по-різному: міцність збільшується на 13–25% (рис.26а); початковий модуль пружності також зростає на 13–31% (рис.26б); критичні деформації несуттєво збільшуються або зменшуються в той чи інший бік (рис.27а); граничні деформації незначно зростають, окрім клеєної модрина (рис.27б).

Одним із перших досліджень (*III серія випробувань*), що стосувалося випробувань композиційних матеріалів на основі деревини сосни, була клеєна деревина, модифікована полімерною композицією «силор», конструкційних розмірів перерізом 45x45x250 мм за м'якого режиму випробувань.

За результатами експериментальних досліджень встановлено оптимальний час просочення полімерної композиції «силор» у тіло деревини сосни, за якої зразок набуває максимальної міцності – 720 хв (табл.9).

Таблиця 9

Збільшення міцності зразків клеєної модифікованої деревини сосни

№ з/п	Позначення зразків	Тривалість просочення, хв	Середнє руйнівне $f_{c,0,d}$, МПа	Відсоткове збільшення міцності, %
1	П-0	-	48,57	0
2	ПС-15	15	50,43	3,8
3	ПС-30	30	50,80	4,6
4	ПС-60	60	51,74	6,5
5	ПС-120	120	53,50	10,1
6	ПС-240	240	55,34	13,9
7	ПС-360	360	56,59	16,5
8	ПС-720	720	57,74	19,0

Після 12 год просочення «силором» починається процес твердіння. Отже, приходимо до висновку, що модифікація деревини сприяє збільшенню міцності та безпосередньо залежить від часу просочення. За результатами експерименту побудовано діаграми деформування « $\sigma_c - u_c$ » осьовим стиском уздовж волокон за напружень у 40 МПа (рис.28).

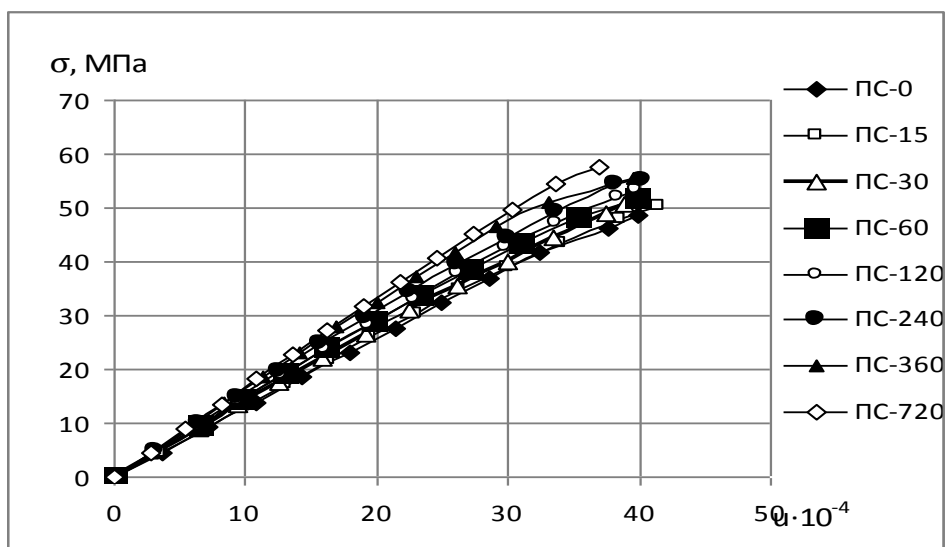


Рис.28. Діаграми деформування модифікованої деревини сосни « $\sigma_c - u_c$ » за роботи на стиск уздовж волокон

Отже, найменше деформується модифікована деревина, яка просочувалася полімерною композицією «силор» протягом 720 хвилин.

За методиками, які наведено в розділі 2, були визначені початкові модулі пружності та критичні деформації, а також пружні та пластичні складові (табл. 10).

Таблиця 10

Значення основних показників клеєної та клеєної модифікованої деревини сосни

№з/п	Марка	К-сть призм шт.	Переріз зразків, мм	$f_{c,0,d}$ МПа	E_0 , МПа	$c_1 * 10^{-7}$ (МПа) ⁻²	$u_{c,el,th}$	$u_{c,pl,th}$	$u_{c,0,d,th}$
1	П-0	6	45x45x250	48,6	14100	5,94	0,00344	0,00140	0,00484
2	ПС-15	6	45x45x250	50,4	14200	4,80	0,00355	0,00122	0,00477
3	ПС-30	6	45x45x250	50,8	14400	4,45	0,00353	0,00115	0,00468
4	ПС-60	6	45x45x250	51,7	15300	4,08	0,00338	0,00109	0,00447
5	ПС-120	6	45x45x250	53,5	15400	3,26	0,00347	0,00093	0,00440
6	ПС-240	6	45x45x250	55,3	15900	2,74	0,00348	0,00084	0,00432
7	ПС-360	6	45x45x250	56,6	16800	2,56	0,00337	0,00082	0,00419
8	ПС-720	6	45x45x250	57,7	17000	2,28	0,00339	0,00076	0,00415

Отже, підсумовуючи дослідження III серії випробувань, зазначимо, що міцність зразків, початкові модулі пружності та модулі деформацій композиційних матеріалів на основі деревини сосни та «силору» зростають у порівнянні зі звичайною клеєною. А деформівність - зменшується.

Також проведено та проаналізовано експериментальні дослідження суцільної деревини всіх досліджуваних порід за рахунок поверхневої протягом 12 годин та глибинної модифікації полімерною композицією «силор» (IV серія випробувань). Поверхнева модифікація є найпростішим технологічним процесом та й мінімально трудоемким. Проте глибинна дає більш вагомий ефект у поліпшенні фізико-механічних властивостей деревини.

За результатами експерименту побудовано дійсні (повні) діаграми деформування « $\sigma_c - u_c$ », як за поверхневої, так і глибинної модифікацій (рис.29).

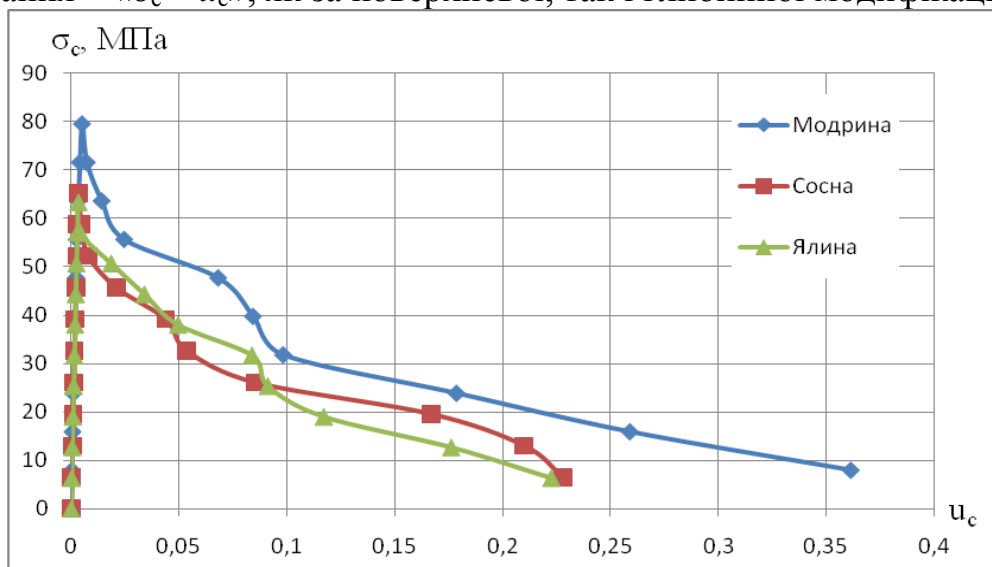


Рис.29. Дійсні діаграми « $\sigma_c - u_c$ » композиційних матеріалів на основі хвойних порід деревини та полімерної композиції «силор» за глибинної модифікації

За наведеними методиками розділу 2 визначено основні міцнісні та деформівні параметри, зокрема міцність, початковий модуль пружності та січний модуль, критичні й граничні деформації та інші (табл.11).

Таблиця 11

Основні міцнісні та деформівні параметри листяних та хвойних порід поверхнево та глибинно модифікованої деревини «силором»

№з/п	Порода деревини	К-сть призм шт.	$f_{c,0,d}$ МПа	E_0 МПа	$u_{c,0,d,exp}$	$u_{c,el,th}$	$u_{c,pl,th}$	$u_{c,0,d,th}$	$u_{c,u}$
Поверхнева модифікація									
1	Береза	6	53,9	17900	0,00421	0,00301	0,00136	0,00437	0,00645
2	Вільха	6	49,4	18900	0,00386	0,00261	0,00115	0,00376	0,00530
3	Ясен	6	64,4	19600	0,00521	0,00329	0,00195	0,00524	0,00865
4	Модрина	6	67,5	19700	0,00564	0,00343	0,00214	0,00557	0,00763
5	Сосна	6	53,7	18200	0,00407	0,00295	0,00135	0,00430	0,00593
6	Ялина	6	52,1	19100	0,00382	0,00273	0,00127	0,00400	0,00560
Глибинна модифікація									
1	Береза	6	64,1	22500	0,00395	0,00285	0,00105	0,00390	0,00577
2	Вільха	6	59,9	24500	0,00321	0,00244	0,00092	0,00336	0,00473
3	Ясен	6	75	26100	0,00488	0,00287	0,00143	0,00431	0,00711
4	Модрина	6	79,4	26500	0,00504	0,00300	0,00161	0,00461	0,00632
5	Сосна	6	65,2	22900	0,00356	0,00285	0,00108	0,00393	0,00542
6	Ялина	6	63,2	24900	0,00338	0,00254	0,00102	0,00356	0,00498

За результатами експерименту побудовано гістограми зміни досліджуваних показників від впливу поверхневої (ПМД) та глибинної (ГМД) модифікації для всіх порід деревини (рис.30а, рис.30б, рис.31а, рис.31б).

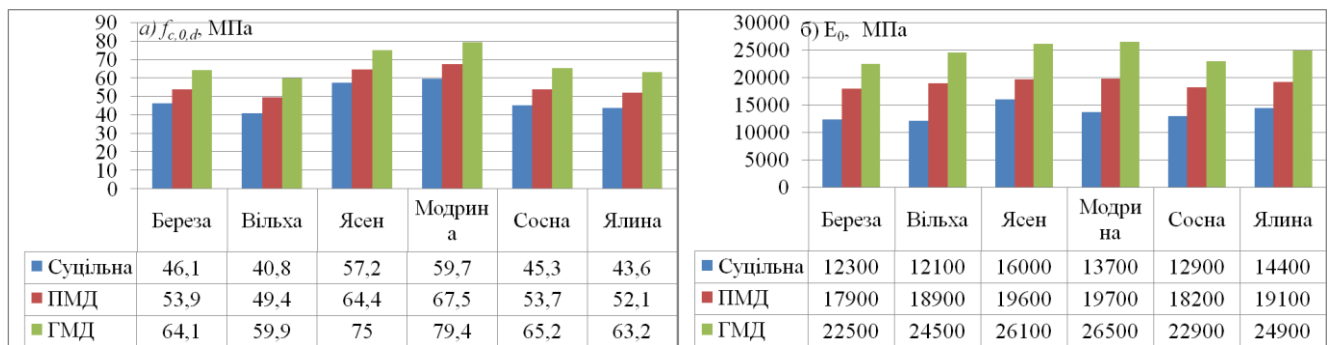


Рис.30. Динаміка зміни параметрів композиційних матеріалів на основі суцільної деревини та полімерної композиції «силор» за поверхневої та глибинної модифікації: а) міцності; б) початкового модуля пружності

Таким чином внаслідок модифікації основні міцнісні та деформівні показники значно поліпшуються, зокрема міцність стає більшою на 31–47%; критичні деформації зменшуються на 25–40%, граничні деформації спадають на 24–42%, початковий модуль пружності збільшується на 63–103%.

Виявлено, що такі зміни відбуваються внаслідок просочення полімерної композиції в тіло суцільної деревини та формування полімеру в порах деревини – трахеїдах, капілярах і променевих клітинах. Отриманий полімер може допомогти

уникнути потенційного пошкодження вилуженими консервантами обробленої деревини з навколишнього середовища, уникнути просторової деформації стиснутої деревини і зміни її кольору, що не дають змогу отримати традиційні методи підсилення.

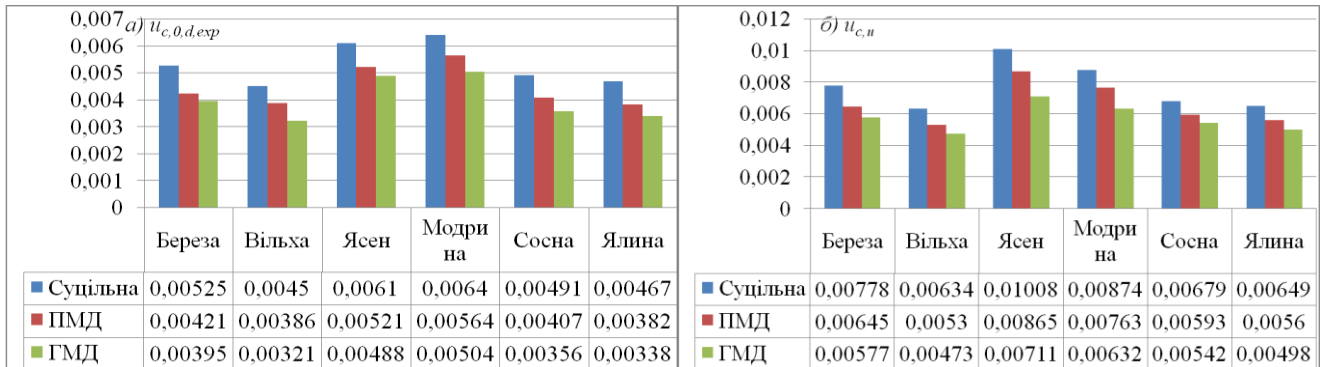


Рис.31. Динаміка зміни деформівності композиційних матеріалів на основі суцільної деревини та полімерної композиції «силор» за поверхневої та глибокої модифікації: а) критичних деформацій; б) граничних деформацій

Також встановлено, що чим глибше просочується деревина, тим краще поліпшуються основні показники.

У шостому розділі наведено область застосування дійсних (повних) та оптимізованих (з обмеженням у точці граничних деформацій) діаграм «напруження σ_c – деформації u_c », зокрема для розрахунку елементів та конструкцій з суцільної, клеєної та модифікованої деревини листяних і хвойних порід.

Розглянемо можливі напружені стани від дії зовнішніх зусиль:

1. При розрахунку дерев'яних елементів на центральний розтяг (рис.32).

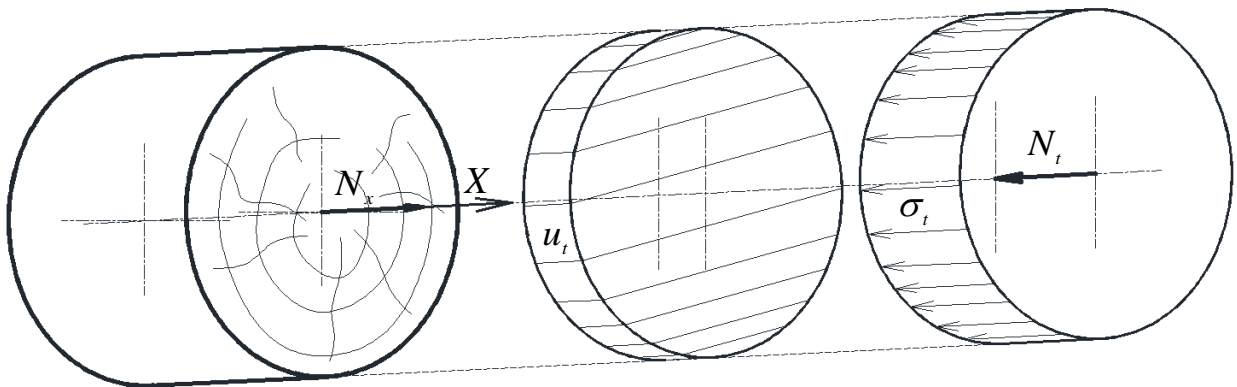


Рис.32. Напружено-деформований стан розтягнутого дерев'яного елемента

Основне рівняння рівноваги для даного елемента буде дорівнювати

$$\sum N_x = N_x + N_t = 0; \quad \text{або} \quad N_x = N_t. \quad (14)$$

$$N_x = E_t u_t A_t. \quad (15)$$

Якщо підставити граничні деформації $u_{t,u}$, то будемо мати

$$N_x = E_t u_{t,u} A_t. \quad (16)$$

2. При розрахунку стиснутого короткого дерев'яного елемента (рис. 33).

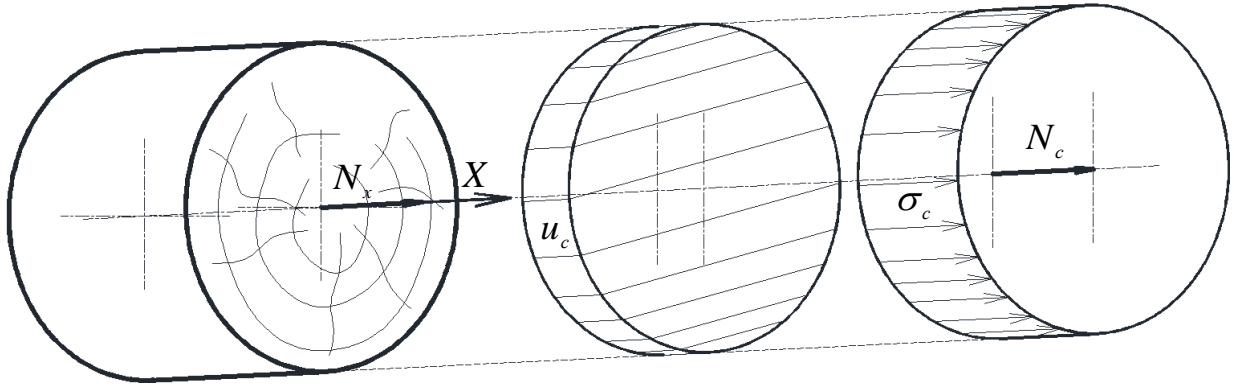


Рис.33. Напружено-деформований стан стиснутого короткого дерев'яного елемента

Основне рівняння рівноваги, як і для розтягнутого елемента, буде дорівнювати

$$\sum N_x = N_x + N_c = 0; \quad \text{або} \quad N_x = N_c. \quad (17)$$

Зусилля стиску можливо визначити за формулою (18)

$$\sigma_c = f_c(u_c) = \sum_{i=1}^4 w_i \frac{u_c^i}{u_{c,u}^{i-1}}; \quad (18)$$

$$N_x = A_c \sum_{i=1}^4 w_i \frac{u_c^i}{u_{c,u}^{i-1}}. \quad (19)$$

Якщо підставити граничні деформації $u_{c,u}$, то отримаємо

$$N_x = A_c \sum_{i=1}^4 w_i u_{c,u}. \quad (20)$$

3. При розрахунку дерев'яних згинальних елементів (рис.34).

Рівняння рівноваги для даного стану елемента

$$\begin{cases} N_c - N_t = 0 \\ M_c + M_t - M_z = 0 \end{cases} \quad (21)$$

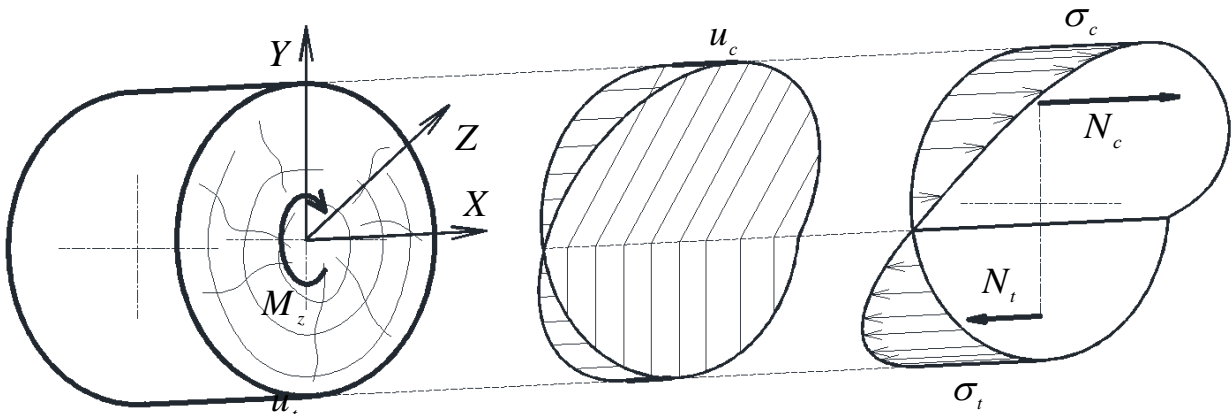


Рис. 34. Напружено-деформований стан зігнутого дерев'яного елемента

Внутрішні зусилля запишемо у вигляді

$$N_c = \int_0^{u_c} f_c(u) \cdot f_b(u) \frac{z_c}{u_c} du ; \quad (22)$$

$$N_t = \int_0^{u_t} f_t(u) \cdot f_b(u) \frac{z_t}{z_u} du ; \quad (23)$$

$$M_c = \int_0^{u_c} f_c(u) \cdot f_b(u) \cdot \left(\frac{z_c}{u_c} \right)^2 \cdot u du ; \quad (24)$$

$$M_t = \int_0^{u_t} f_t(u) \cdot f_b(u) \cdot \left(\frac{z_t}{u_t} \right)^2 \cdot u du . \quad (25)$$

4. При розрахунку дерев'яних згинальних елементів прямокутного перерізу.

Для визначення внутрішніх зусиль у поперечному перерізі прямокутної форми згинального елемента використаємо функції внутрішніх зусиль, враховуючи, що функція ширини по висоті перерізу буде дорівнювати $f_b(z) = b = const$, отримаємо розрахунковий переріз, який зображений на рис.35.

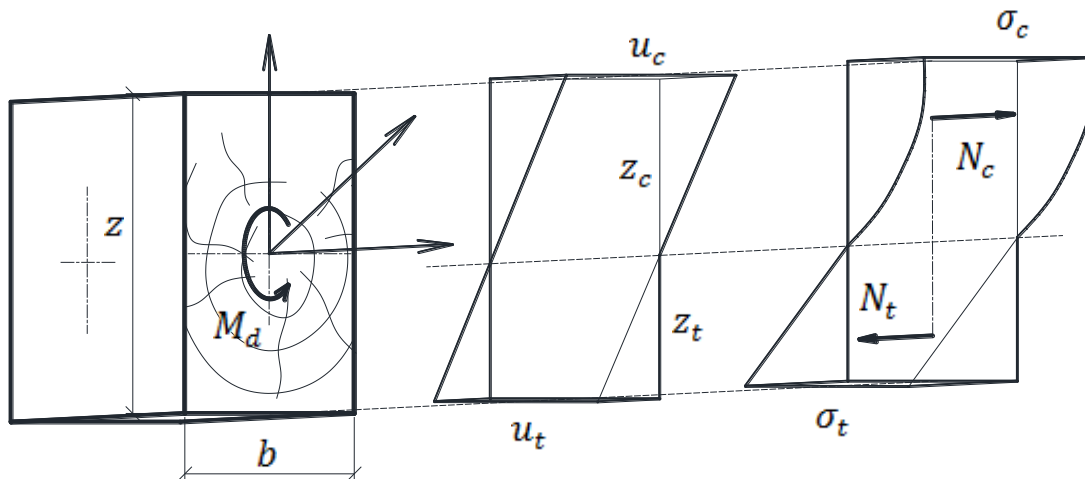


Рис.35. Розміри та внутрішні зусилля в поперечному перерізі згинального елемента прямокутної форми

$$N_c = b \cdot z_c \sum_{i=1}^4 \frac{w_i}{i+1} \cdot \frac{u_c^i}{u_{c,0,d}^{i-1}} . \quad (26)$$

$$N_t = b \cdot z_t \cdot \frac{E \cdot u_t}{2} . \quad (27)$$

$$M_c = b \cdot z_c^2 \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{w_i}{i+2} \cdot \frac{u_c^i}{u_{c,0,d}^{i-1}} . \quad (28)$$

$$M_t = b \cdot z_t^2 \cdot \frac{E \cdot u_t}{3} . \quad (29)$$

Оптимізована діаграма деформування дала змогу побудувати графіки «момент – кривина» для прямокутних перерізів, які працюють на згин та провести

апроксимацію функції для визначення кривини (30) та згинального моменту (31) для різних порід деревини

$$\frac{1}{r} = \frac{1}{z} G_1(M_z / bz^2) + G_2(M_z / bz^2) \quad (30)$$

$$M_z = bz^2 \left(g_1 \left(\frac{1}{r} \cdot z \right)^2 + g_2 \left(\frac{1}{r} \cdot z \right) \right) \quad (31)$$

де $\frac{1}{r}$ – кривина, яка виникає при дії моменту M_z в балці;

G_1, G_2, g_1, g_2 – коефіцієнти залежностей відповідно (30) та (31).

5. При розрахунку дерев'яних позацентрово стиснутих та позацентрово розтягнутих елементів

I. Перший випадок напружено-деформованого стану стиснуто-зігнутого елемента, в якому відсутня зона, де виникають напруження розтягу

$$\begin{cases} N_c = N_x \\ M_c = M_z \end{cases} \quad (32)$$

$$N_c^I = b \cdot \frac{z_c}{u_c} \int_{u_{c1}}^{u_{c2}} \sum_{i=1}^4 w_i \frac{u^i}{u_{c,0,d}^{i-1}} du; \quad (33)$$

$$M_c^I = b \cdot \left(\frac{z_c}{u_c} \right)^2 \int_{u_{c1}}^{u_{c2}} \sum_{i=1}^4 w_i \cdot \frac{u^{i+1}}{u_{c,0,d}^{i-1}} du. \quad (34)$$

II. Другий випадок напружено-деформованого стану стиснуто-зігнутого елемента, в якому присутні напруження і стиску і розтягу

$$\begin{cases} N_c^II + N_t^II = N_x \\ M_c^II + M_t^II = M_z \end{cases} \quad (35)$$

$$N_c^II = b \cdot \frac{z_c}{u_c} \int_0^{u_c} \sum_{i=1}^4 w_i \frac{u^i}{u_{c,0,d}^{i-1}} du; \quad (36)$$

$$M_c^II = b \cdot \left(\frac{z_c}{u_c} \right)^2 \int_0^{u_c} \sum_{i=1}^4 w_i \cdot \frac{u^{i+1}}{u_{c,0,d}^{i-1}} du; \quad (37)$$

$$N_t^II = b \cdot \frac{z_t}{u_t} \int_0^{u_t} E \cdot u du; \quad (38)$$

$$M_t^II = b \cdot \left(\frac{z_t}{u_t} \right)^2 \int_0^{u_t} E \cdot u^2 du. \quad (39)$$

III. Третій випадок напружено-деформованого стану стиснуто-зігнутого елемента, в якому відсутня зона, де виникають стиснуті напруження

$$\begin{cases} N_t^III = N_x \\ M_t^III = M_z \end{cases} \quad (40)$$

$$N_t^III = b \cdot \frac{z_t}{u_t} \int_{u_{t1}}^{u_{t2}} E \cdot u du. \quad (41)$$

$$M_t''' = b \cdot \left(\frac{z_t}{u_t} \right)^2 \int_{u_{t1}}^{u_{t2}} E \cdot u^2 du. \quad (42)$$

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Вперше розроблено алгоритм та запропоновано науково-технічні основи системного поліпшення міцнісних та деформівних властивостей суцільної деревини (листяних і хвойних порід) та композиційних матеріалів на її основі з моменту зрубу до висушування й модифікації.

2. Опрацьовано методики комплексних експериментальних досліджень впливу вологості, віку та поверхневої й глибинної модифікацій на міцнісні та деформівні властивості суцільної деревини та композиційних матеріалів на її основі.

3. Вперше проведено цілеспрямовані комплексні експериментально-теоретичні дослідження і виявлено основні закономірності впливу вологості, віку, швидкості деформування на міцнісні та деформівні характеристики суцільної, а також клеєної та модифікованої деревини листяних (берези, вільхи, ясена) та хвойних (модрини, сосни, ялини) порід за жорсткого прикладання навантаження стискуванню уздовж волокон із урахуванням їх статистичного розкиду. Побудовано дійсні (повні) діаграми деформування суцільної, клеєної та модифікованої деревини від початку завантаження й до руйнування (висхідна й спадна вітки) та запропоновано їх апроксимації поліномом 4-го степеня.

4. Вперше запропоновано формулу з визначення критичних деформацій деревини та композиційних матеріалів на її основі, яка включає пружну й пластичну складові та запропоновано методику визначення граничних відносних деформацій суцільної, клеєної та модифікованої деревини листяних і хвойних порід на основі побудови діаграми «момент – кривина» згинального елемента прямокутного перерізу.

5. Удосконалено методику визначення початкового модуля пружності та модуля деформацій (січного) деревини і композитів на її основі з урахуванням пружно-пластичності.

6. Встановлено, що сушіння деревини (від 30 до 12%) сприяє поліпшенню її основних міцнісних та деформівних властивостей, зокрема збільшує міцність у 1,85 – 2,33 рази, початковий модуль пружності в 1,18 – 1,61 рази та зменшує деформівність (критичні деформації в 1,16 – 1,22 рази та граничні в 1,09 – 1,30 рази).

7. Виявлено, що незалежно від виду деревини, міцнісні та деформівні параметри діаграми деформування незначно зменшуються в інтервалі від 60 до 40 років та суттєво – від 40 до 20 років, зокрема:

- міцність деревини в інтервалі від 60 до 20 років зменшується на 27 – 45%;
- початковий модуль пружності на 12 – 17%;
- критичні відносні деформації листяних та хвойних порід зменшуються на 19 – 49%;
- граничні деформації зменшуються на 8 – 39%.

8. Межа міцності зразків з клеєної деревини хвойних та листяних порід збільшується на 13 – 25%, а деформівність в той чи інший бік несуттєво зростає або спадає порівняно із суцільною деревиною. Початкові модулі пружності всіх

досліджуваних порід клеєної деревини збільшилися в межах від 13 % (ялина) до 31% (вільха) порівняно із суцільною деревиною.

9. Виявлено, що за поверхневої модифікації суцільної деревини листяних та хвойних порід максимальні напруження збільшуються на 12 – 22 % у порівнянні з суцільною деревиною вологістю 12% віком 60 років. Деформівність зменшується в межах 14 – 35 %. Водночас складові критичних деформацій функції (5) змінюється по різному: пружна – зменшується, а пластична – залишається на тих же позначках з незначними відхиленнями в той чи інший бік. Початковий модуль пружності досліджуваних зразків є більшим на 23 – 55%.

10. Встановлено, що поверхнева модифікація клеєної деревини збільшує міцність на 19%, початкові модулі пружності – на 21% в порівнянні зі зразками простої клеєної та зменшує відносні деформації новоутворених композиційних матеріалів: уздовж волокон – на 22%; поперечні перпендикулярні до клеєвого шва – на 27%; поперечні паралельні клеєвому шву – на 45%. Оптимальний час просочення – 720 хв.

11. Тимчасова гранична міцність глибинно модифікованих матеріалів полімерною композицією «силор» збільшується в межах 17 – 21%, деформівність (критичні відносні деформації) при цьому стають меншими на 7 – 20%, а початковий модуль пружності зростає на 26 – 35% в порівнянні з деревиною тих же порід, модифікованих поверхнево.

12. Удосконалено методику розрахунку граничного стану елементів та конструкцій з суцільної деревини та композиційних матеріалів на її основі з урахуванням дійсних (повних) та оптимізованих діаграм деформування матеріалу.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації в наукових періодичних виданнях іноземних держав та фахових виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз

1. Yasniy P., Gomon S. Timber with improved strength and deformable properties. *Scientific Journal of Ternopil National Technical University*. Ternopil: TNTU, 2020. Vol 99. No3. P. 17–27. (Index Copernicus).

2. Гомон С.С. Математическая модель определения предельных деформаций лиственных и хвойных пород. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. Budapest, 2020. Ser. VIII(29), Issue: 238. Pp. 46–50. (Index Copernicus).

3. Gomon S., Gomon S., Karavan V., Gomon P., Sobczak-Piastka J. Investigation of solid and glued wood on the effect of variables of low-cycle repeated loads. *AIP Conference Proceedings 2077*, 020020 (2019). (Scopus, Web of Science).

4. Гомон С.С. Визначення критичних деформацій різних порід деревини вирощених на території України та за її межами. *Sciences of Europe*. Praha, 2020. No 54. Vol.1.Pp. 36–41.

5. Gomon S., Gomon S., Gomon P., Shkirenko S. The Basis of the Deformation Method for Calculating of Elements from Wood under Cross-Section Bending. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol.7 (4.8). P. 109–114.

6. Yasniy P., Gomon S., Gomon P. On approximation of mechanical condition diagrams of coniferous and deciduous wood species on compression along the fibers.

Scientific Journal of Ternopil National Technical University. Ternopil: TNTU, 2020. Vol 97. No 1. P. 57–64. (Index Copernicus).

7. Sobczak-Piastka J., Gomon S.S., Polishchuk M., Homon S., Gomon P., Karavan V. Deformability of Glued Laminated Beams with Combined Reinforcement. *Buildings* 2020, 10, 92. (Scopus, Web of Science).

8. Ясній П.В., Гомон С.С. Дослідження січних модулів листяних та хвойних порід деревини з різним показником вологості. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. Вінниця: ВНТУ, 2020. Вип. 4 (151). С. 125–130. (Index Copernicus).

9. Гомон С.С., Гомон П.С., Гомон С.С. Універсальний метод визначення напружень в стиснутій зоні дерев'яних балок прямокутної форми на основі їх деформування. *Science and Education a New Dimension. Natural and Technical Sciences*. Budapest, 2020 Feb. VIII(27). Issue: 224. P. 10–12. (Index Copernicus).

Публікації в наукових періодичних фахових виданнях України

10. Гомон С.С. Аналіз залежностей для побудови повних діаграм механічного стану деревини « σ - u ». *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2019. Вип. 37. С. 136–142.

11. Ясній П.В., Гомон С.С. Експериментальні дослідження суцільної деревини конструкційних розмірів з врахуванням фактора вологості. *Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві*. Вінниця: ВНТУ, 2020. Том 28. №1. С. 41–48.

12. Гомон С.С., Гомон С.С., Зінчук А.В. Дослідження модифікованої силором клеєної деревини на стиск вздовж волокон. *Всеукраїнський науково-технічний журнал «Вісті Донецького гірничого інституту»*. Покровськ: ДВНЗ «Доненцький НТУ», 2017. №1. С. 134–38.

13. Gomon S.S., Savchuck V.O., Melnyk Yu.A., Vereshko O.V. Modern testing machines for investigation of wood and timber-based composite materials. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, 2020. Вип.14. С. 73-80.

14. Гомон С.С., Гомон П.С. Побудова дійсних діаграм механічного стану деревини « σ - u » суцільного перерізу ялини та берези за жорсткого режиму випробувань. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2020. Вип. 38. С. 321–330.

15. Гомон С.С. Методика експериментальних досліджень модифікованої силором деревини з стимуляцією просочення ультразвуком за роботи на стиск вздовж волокон. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2018. Вип. 36. С. 81–86.

16. Гомон С.С., Гомон С.С., Сасовський Т.А. Діаграми механічного стану деревини сосни за одноразового короткочасного деформування до повної втрати міцності матеріалу. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2012. Вип 23. С. 166–171.

17. Gomon S.S. Fluence of age factor on main strength and deformative properties of timber. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, 2020. Вип.13. С. 35-41.

18. Гомон С.С., Гомон С.С., Сасовський Т.А., Яцук В.О. Визначення напружено-деформованого стану нормального перерізу за роботи деревини на

поперечний згин з урахуванням повної діаграми деформування матеріалу. *Проблеми розвитку міського середовища*. Науково-технічний збірник. Київ: НАУ, 2012. Вип.8. С. 66–72.

19. Gomon S.S., Pilipaka L.M. Experimental studies of the glued wood strength and deformation properties under the hard test mode. *Вчені записки Таврійського національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки*. Київ, 2020. Том 31 (70). № 3. Ч.2. С. 130–135.

20. Гомон С.Ст., Гомон С.С. Напружено-деформований стан нормальних перерізів за роботи деревини на поперечний згин з урахуванням повної діаграми деформування матеріалу. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2011. Вип. 22. С. 265–271.

21. Гомон С.С., Савчук В.О., Мельник Ю.О., Верешко О.В. Область застосування та способи модифікації композиційних матеріалів на основі деревини. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк: ЛНТУ, 2019. Вип. 12. С. 44–50.

22. Гомон С.Ст., Гомон С.С., Сасовський Т.А. Діаграми механічного стану деревини сосни за повторного деформування до повної втрати міцності матеріалу. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2012. Вип 24. С. 106–112.

23. Гомон С., Гомон П., Караван В. Експериментальні дослідження хвойних та листяних порід деревини одноразовим короткочасним навантаженням на стиск уздовж волокон за жорсткого режиму випробувань. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Архітектура та сільськогосподарське будівництво*. Львів: ЛНАУ, 2020. №21. С. 34–40.

24. Гомон С.Ст., Гомон С.С., Сасовський Т.А. Прогнозування залишкового часу працездатності конструкцій з деревини за повторних навантажень. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2015. Вип. 31. С. 417–421.

25. Gomon S.S., Pilipaka L.M. Universal method for determining the modules of deformation of solid wood and composite materials based on it. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки»*. Рівне: НУВГП, 2020. Випуск 2(90). С. 168–178.

26. Гомон С.Ст., Гомон С.С. Особливості роботи будівельних конструкцій з деревини при дії повторних навантажень за критерієм деформаційного руйнування. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2014. Вип. 28. С. 152–157.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

27. Гомон С.С. Перспективи використання модифікованої деревини в Україні для об'єктів сільського господарства. *Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей VI міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, м. Тернопіль, 16-17 листопада 2017 р. Том 1*. Тернопіль: ТНТУ, 2017. С. 72.

28. Gomon S., Gomon S., Polishchuk M. Experimental and statistical investigation of the secant modulus of elasticity of glued timber modified with polimer

“Silor”. Proceedings of the 1st Eastern Europe Conference on Timber Constructions. Kharkiv – “Madrid” Typography, 2018. P. 137–142.

29. Гомон С.С. Методика досліджень основних механічних та деформативних властивостей суцільної та клеєної деревини. *Пошкодження матеріалів під час експлуатації, методи його діагностування і прогнозування*: матеріали міжнародної конференції, м. Тернопіль, 24-27 вересня. 2019 р. Тернопіль:ТНТУ, 2019. С. 198–200.

30. Гомон С.С., Дмитрук В.П., Мельник Ю. А., Верешко О.В. Аналіз поверхневих та глибинних способів модифікації деревини. *Сучасні проблеми містобудування. Проблеми та перспективи розвитку*: збірник тез доповідей всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції молодих учених та студентів, м. Луцьк, 15 листопада 2019 р. Луцьк: ЛНТУ, 2019. С.74–75.

31. Гомон С.С., Савчук В.О. До визначення оптимального часу просочення полімерної композиції «СИЛОР» в тіло деревини. *Актуальні задачі сучасних технологій*: збірник тез доповідей VIII міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, м. Тернопіль, 27-28 листопада 2019 р. Том 1. Тернопіль: ТНТУ, 2019. С. 70.

32. Гомон С.С., Сальчук В.Л., Савчук В.О., Верешко О.В. Експериментальні дослідження деревини за жорсткого режиму випробувань за стандартної вологості. *Проблеми інтегрованого розвитку міст*: збірник тез доповідей міжнародної науково-практичної конференції учених та студентів, м. Луцьк, 29-31 січня 2020 р. Луцьк: ЛНТУ, 2020. С. 18–20.

33. Ясній П.В., Гомон С.С., Дмитрук В.П. Міцність та деформівність деревини модрини з різним показником вологості за жорсткого режиму випробувань. *SCIENCE, SOCIETY, EDUCATION: TOPICAL ISSUES AND DEVELOPMENT PROSPECTS*. Abstracts of VI International Scientific and Practical Conference, Kharkiv, 10-12 May 2020. P. 319–322.

34. Гомон С.С., Гомон П.С. Теоретичні основи для побудови повних діаграм деформування деревини. *Інновації у будівництві*: збірник тез доповідей V міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих учених та студентів, м. Луцьк, 14 травня 2020 року. Луцьк: ЛНТУ, 2020. С. 5–7.

35. Ясній П.В., Гомон С.С., Дмитрук В.П. Особливості побудови повних діаграм деформування деревини ясена за жорсткого режиму навантажень. *Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій*: матеріали міжнародної науково-практичної конференції до 60 річчя з дня заснування Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 175 річчя з дня народження Івана Пулюя, м. Тернопіль, 14-15 травня 2020 р. Тернопіль:ТНТУ, 2020. С. 51.

36. Гомон С.С., Сальчук В.Л., Верешко О.В. Прочностные и деформативные свойства увлажненной древесины. *Eurasian scientific congress. Abstracts of the 8th International scientific and practical conference*. Barca Academy Publishing. Barcelona, Spain. 2020. Pp. 136–139. URL: <https://sci-conf.com.ua/viii-mezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-eurasian-scientific-congress-9-11-avgusta-2020-goda-barselona-ispaniya-arhiv/>.

37. Гомон С.С., Савчук В.О., Мельник Ю. А., Верешко О.В. Апроксимація діаграм механічного стану деревини з підвищеним вмістом вологи. *Іноваційні процеси в галузі дорожнього будівництва*: матеріали IV всеукраїнської науково-практичної інтернет- конференції молодих учених та студентів, м. Луцьк, 30 жовтня 2020 р. Луцьк: ЛНТУ, 2020. URL: <https://sites.google.com/lntu.edu.ua/konf2020ada/tezi>.

38. Гомон С.С. Дослідження критичних деформацій різних порід деревини експериментальним шляхом: збірник тез доповідей V міжнародної науково-технічної конференції «Ефективні технології в будівництві» та VII міжнародної науково-технічної конференції «Нові технології в будівництві», м. Київ, 19 листопада 2020 р. Київ: КНУБА, 2020. С. 138–139.

39. Гомон С.С., Гомон С.С., Сасовський Т.А. Построение полной диаграммы деформирования древесины сосны при действии статической загрузки. Сборник научных трудов “*Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии*”. ГУ ВПО «Белорусско-Российский университет». Могилев, 2012. Часть 2. С. 81-82.

В інших виданнях

40. Гомон С.С., Гомон С.С., Зінчук А.В. Деформативність модифікованої силором клеєної деревини за роботи на стиск вздовж волокон. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2017. Вип. 34. С. 110–117.

41. Гомон С.С., Гомон П.С., Верешко О.В. До визначення критичних деформацій хвойних та листяних порід деревини. *Містобудування та територіальне планування*. Київ: КНУБА, 2020. Вип. 73. С.78–87.

42. Гомон С.С., Гомон С.С., Гомон П.С., Верешко О.В. До визначення січного модуля деформацій клеєної деревини модифікованої «СИЛОРОМ». *Містобудування та територіальне планування*. Київ: КНУБА, 2020. Вип. 74. С. 92–101.

43. Гомон С.С., Гомон С.С., Сасовський Т.А. Дослідження міцності та деформативності деревини сосни за повторного деформування до досягнення повної втрати міцності матеріалу. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк: ЛНТУ, 2014. Вип. 1. С. 40–46.

АНОТАЦІЯ

Гомон С.С. Поліпшення міцнісних та деформівних властивостей суцільної деревини та композиційних матеріалів на її основі. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 01.02.04 – механіка деформівного твердого тіла (технічні науки). – Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Тернопіль, 2021.

Дисертація присвячена розробленню алгоритму та науково-технічних основ системного поліпшення міцнісних та деформівних властивостей суцільної деревини листяних та хвойних порід (від зрубу до процесу сушіння, клеєння й модифікації) та композиційних матеріалів на її основі з прогнозованими

характеристиками для проектування, ремонту, реконструкції, утримання та виготовлення конструкційних деталей, матеріалів, виробів, елементів, конструкцій, які застосовуються в різних галузях народного господарства (будівельній, деревообробній, гірничо-видобувній, річковій та морській, паливно-енергетичному комплексі, машинобудуванні, суднобудуванні, мостових конструкціях та багато інших).

Визначено основні міцнісні та деформівні показники суцільної (залежно від вологості, віку та швидкості деформування), клеєної та модифікованої (від способу модифікації) деревини листяних та хвойних порід на основі дійсних (повних) діаграм деформування «напруження σ_c – деформації u_c ». Встановлено, що внаслідок висушування, склеювання та модифікації суцільної деревини міцність та початковий модуль пружності суттєво збільшується, а деформівність – зменшується.

Ключові слова: деревина, діаграми механічного стану, критичні деформації, граничні деформації, міцність, деформівність, модуль пружності, полімерна композиція «силор», композиційний матеріал.

АННОТАЦИЯ

Гомон С.С. Улучшение прочностных и деформативных свойств цельной древесины и композиционных материалов на её основе. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 01.02.04 механика деформируемого твердого тела (технические науки). – Тернопольский национальный технический университет имени Ивана Пулюя, Тернополь, 2021.

Диссертация посвящена разработке алгоритма и научно-технических основ системного улучшения прочностных и деформируемых свойств цельной древесины (лиственных и хвойных пород) и композиционных материалов на ее основе с прогнозируемыми характеристиками для проектирования, ремонта, реконструкции, содержания и изготовления конструкционных деталей, материалов, изделий, элементов, конструкций, применяемых в различных отраслях народного хозяйства (строительной, деревообрабатывающей, горнодобывающей, речной и морской, топливно-энергетическом комплексе, машиностроении, судостроении, мостовых конструкциях и многих других).

Определены основные прочностные и деформируемые показатели сплошной (в зависимости от влажности, возраста и скорости деформирования), клееной и модифицированной (от способа модификации) древесины лиственных и хвойных пород на основе действительных (полных) диаграмм деформирования «напряжение σ_c - деформации u_c ». Установлено, что в результате высушивания, склеивания и модификации цельной древесины прочность и начальный модуль упругости существенно увеличивается, а деформируемость – уменьшается.

Ключевые слова: древесина, диаграммы механического состояния, критические деформации, предельные деформации, прочность, деформативность, модуль упругости, полимерная композиция «силор», композиционный материал.

SUMMARY

Gomon S.S. Improvement of strength and deformable properties of solid wood and composite materials based on it. Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of the doctor of technical sciences on a specialty 01.02.04 – mechanics of a deformable firm body (technical sciences). Ternopil Ivan Puluj National Technical University, Ternopil, 2021.

The dissertation is devoted to the development of algorithm and also scientific and technical bases of system improvement of strength and deformable properties of solid wood (deciduous and coniferous species) and composite materials based on it with predicted characteristics for design, repair, reconstruction, maintenance and manufacture of structural parts, materials, products, elements, structures used in various sectors of the economy (construction, woodworking, mining, river and sea, fuel and energy complex, mechanical engineering, shipbuilding, bridge structures and many others).

In the **introduction** the urgency is specified, the purpose and tasks of researches are set, the general characteristic of the dissertation is resulted, the scientific novelty, the basic contribution of the applicant, practical value and approbation of work is stated.

The first section is devoted to an overview of the stages and current state of experimental and theoretical research and existing methods of testing solid, glued and modified wood. The main factors influencing the strength and deformable properties of wood of different breeds are established. The main directions of scientific research and how they will be implemented are given.

The second section describes the method and equipment used in conducting experimental studies of the main strength and deformable properties of solid wood and composite materials based on it with a single axial compressive longitudinal short-term load. Selected materials and parameters are specified in the manufacture of basic and auxiliary prototypes. The polymer composition "silor" was chosen for surface and deep modification of prisms from solid and glued wood. Methods of modification of samples from solid and glued wood are described. It is offered for the analytical description of diagrams of deformation of continuous wood and its composites on the basis at all stages of work by the polynomial of the 4th degree which gives good convergence of experimental and theoretical values, both on ascending, and on descending sites of real and optimized diagrams. Working hypotheses and prerequisites for modeling the stress-strain state of the normal cross section of solid and modified wood elements are proposed. For the first time, a formula for determining the critical deformations of the investigated materials, which includes elastic and plastic components was proposed, and developed a calculation apparatus for determining the ultimate relative deformations based on the diagram "moment-curvature" of the bending element of rectangular cross section.

The third section is devoted to the description of the obtained results of experimental-theoretical researches of diagrams of mechanical condition of 60-year-old coniferous and deciduous wood and influence of moisture on strength and deformable properties under axial compression along fibers by one-time short-term loading. The main areas and parameters of the mechanical state of wood under compression, as well as critical and ultimate relative deformations at a humidity of 12%, 21% and 30% are

determined. A generalized analytical description of the mechanical state of solid wood of different breeds and humidity under a single short-term longitudinal deformation in the rigid mode of operation from the beginning of work of prisms to the destruction is proposed. The main directions of improvement of strength and deformable properties of solid wood of deciduous and coniferous species as a result of its drying are determined.

It is established that the process of drying wood (from 30 to 12%) improves its basic strength and deformable properties, in particular increases the strength by 1.85 – 2.33 times, the initial modulus of elasticity by 1.18–1.61 times and reduces the deformability.

The fourth section covers the issues of experimental-theoretical studies of the influence of age on the diagrams of mechanical state and strength, as well as deformable properties of deciduous and coniferous species under single loads of axial compression along the fibers of working prisms in the rigid mode. It is established that the main strength and deformability parameters of the deformation diagram slightly decrease from 60 to 40 years and significantly from 40 to 20 years: the strength of wood in the range from 60 to 20 years by 27–45%; initial modulus of elasticity by 12–17%; critical relative deformations of deciduous and coniferous species by 19–49%; limit deformations by 8–39%.

The fifth section is devoted to the study of solid and glued wood of different species, which were modified with a polymer composition "silor" under natural surface and forced deep impregnation. It is established that the tensile strength of samples of glued wood of coniferous and deciduous species increases by 13–25%, and the deformability in one direction or another insignificantly increases or decreases. It is established that at surface modification of solid wood of deciduous and coniferous breeds the maximum stresses increase by 12–22% in comparison with solid wood with humidity of 12% at the age of 60 years. Deformability decreases in the range of 14–35%. At the same time, the components of critical deformations change in different ways: elastic - decreases, and plastic - remains at the same marks with slight deviations in one direction or another. The initial modulus of elasticity of the studied samples is greater by 23–55%.

It was found that the strength of deeply modified materials by the polymer composition "Silor" increases in the range of 17–21%, deformability (critical relative deformation) is reduced by 7–20%, and the initial modulus of elasticity increases significantly by 26–35% compared with wood of the same breeds modified superficially.

The sixth section describes the scope of valid (complete) and optimized (with a limit at the point of boundary deformation) diagrams of "stress - strain". Using such diagrams, the mathematical apparatus of calculation of various elements and constructions on the basis of continuous, glued and modified wood is improved.

Keywords: wood, diagrams of mechanical state, critical deformations, ultimate deformations, strength, deformability, modulus of elasticity, polymer composition «silor», composite material.