

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВОДНОГО ГОСПОДАРСТВА ТА
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Олег Верешко, Святослав Гомон

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦІЙНОЇ
ДЕРЕВИНИ ПІСЛЯ ДІЇ КИСЛОТНИХ СЕРЕДОВИЩ**

Монографія

Луцьк
Вежа-Друк
2026

УДК 539.3
В31

*Рекомендовано до видання вченою радою
Луцького національного технічного університету
(протокол № 7 від 26.12.2025 р.)*

Рецензенти:

Мікуліч О. А., доктор технічних наук . професор, завідувач кафедри прикладної математики та механіки Луцького національного технічного університету;

Ясній В.П., доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри будівельної механіки Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя;

Гілодо О.Ю., кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри металевих, дерев'яних та пластмасових конструкцій Одеської державної академії будівництва та архітектури.

Верешко Олег

В31 Експериментально - теоретичні дослідження міцнісних та деформівних характеристик конструкційної деревини після дії кислотних середовищ : монографія / Олег Верешко, Святослав Гомон. – Луцьк : Вежа-Друк, 2026. – 160 с.

ISBN 978-966-940-749-8

Монографія присвячена встановленню істинних міцнісних та деформівних характеристик конструкційної деревини під впливом кислотних середовищ в докритичній та закритичній стадіях роботи для проектування, виготовлення, ремонту елементів та конструкцій, які експлуатуються в агресивних середовищах.

Для наукових та інженерно-технічних працівників, аспірантів, магістрів та студентів технічного спрямування.

УДК 539.3

© Верешко Олег, Гомон Святослав, 2026

ISBN 978-966-940-749-8

© Безушко Христина (обкладинка), 2026

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ ДЕРЕВИНИ ПІД ДІЄЮ РІЗНИХ АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ	9
1.1. Особливості структури деревини та вплив на неї агресивних середовищ.....	9
1.2. Область застосування деревини в умовах агресивних середовищ	12
1.3. Вплив агресивних середовищ на фізико-механічні властивості деревини.....	17
1.3.1. Дійсні діаграми деформування «напруження σ_c – відносні деформації u_c » за осьового стиску уздовж волокон	18
1.3.2. Вплив агресивних середовищ на міцнісні показники деревини	26
1.3.3. Вплив агресивних середовищ на деформівні показники деревини.....	31
1.3.4. Вплив агресивних середовищ на початковий модуль пружності та модуль деформації деревини.....	33
1.3.5. Вплив агресивних середовищ на щільність деревини.....	35
1.4. Загальні відомості про вплив молочної, оцтової та соляної кислот на фізико-механічні властивості деревини	35
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ. ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРЕВИНИ ЗА СТАНДАРТНОЇ ВОЛОГОСТІ. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ЩІЛЬНОСТІ ТА СТРУКТУРИ ДЕРЕВИНИ ПІСЛЯ ДІЇ НА НЕЇ КИСЛОТНИХ СЕРЕДОВИЩ	37
2.1. Вибір матеріалу для випробувань. Особливості виготовлення дослідних зразків. Об'єм експериментальних досліджень	37
2.2. Вибір кислотних середовищ.....	41
2.3. Обладнання для проведення експериментальних досліджень	43

2.4. Підготовка дослідних призм до випробувань. Методика експериментальних досліджень.....	48
2.5. Дослідження механічних властивостей конструкційної деревини стандартної вологості 12% за жорсткого режиму випробувань.....	50
2.5.1. Аналіз дійсних діаграм деформування конструкційної деревини берези та сосни за стандартної вологості 12%	50
2.5.2. Визначення початкового модуля пружності та модуля деформації деревини за стандартної вологості 12%.....	52
2.6. Дослідження зміни щільності деревини під впливом кислотних середовищ.....	53
2.7. Дослідження зміни структури та кольору деревини під впливом кислотних середовищ.....	59
РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ МІЦНІСНИХ І ДЕФОРМІВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦІЙНОЇ ДЕРЕВИНИ ПІСЛЯ ДІЇ НА НЕЇ КИСЛОТНИХ СЕРЕДОВИЩ В ДОКРИТИЧНІЙ І ЗАКРИТИЧНІЙ СТАДІЯХ РОБОТИ.....	
3.1. Аналіз дійсних діаграм деформування «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » деревини під дією кислотних середовищ з різним терміном просочення.....	64
3.1.1. Після дії оцтової кислоти.....	64
3.1.2. Після дії молочної кислоти	69
3.1.3. Після дії соляної кислоти	73
3.2. Тимчасова гранична міцність конструкційної деревини після дії на неї кислотних середовищ з різним терміном просочення.....	77
3.3. Визначення початкового модуля пружності та модуля деформації після дії кислотних середовищ з різним терміном просочення.....	81
3.3.1. Після дії оцтової кислоти.....	81
3.3.2. Після дії молочної кислоти.....	85
3.3.3. Після дії соляної кислоти.....	89
3.4. Дослідження деформівних показників деревини встановлених експериментальним шляхом	94

РОЗДІЛ 4. МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНИХ КРИТИЧНИХ ТА ГРАНИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ КОНСТРУКЦІЙНОЇ ДЕРЕВИНИ ПІСЛЯ ДІЇ НА НЕЇ КИСЛОТНИХ СЕРЕДОВИЩ.....	101
4.1. Апроксимація досліджених діаграм механічного стану конструкційної деревини після дії на неї кислотних середовищ з різним терміном просочення до функцій «напруження – відносні деформації».....	101
4.1.1. Після дії оцтової кислоти.....	102
4.1.2. Після дії молочної кислоти.....	104
4.1.3. Після дії соляної кислоти.....	106
4.2. Теоретичний підхід до визначення відносних критичних деформацій конструкційної деревини після дії на неї кислотних середовищ з різним терміном просочення.....	108
4.2.1. Після дії оцтової кислоти.....	109
4.2.2. Після дії молочної кислоти.....	111
4.2.3. Після дії соляної кислоти.....	114
4.3. Теоретичний підхід до визначення відносних граничних деформацій конструкційної деревини за стандартної вологості та після дії на неї кислотних середовищ з різним терміном просочення.....	116
4.3.1. Після дії оцтової кислоти.....	119
4.3.2. Після дії молочної кислоти.....	122
4.3.3. Після дії соляної кислоти.....	124
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	128
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	130
ДОДАТОК А.....	147
ДОДАТОК Б.....	149
ДОДАТОК В.....	150
ДОДАТОК Г.....	152
ДОДАТОК Д.....	153
ДОДАТОК Е.....	155
ДОДАТОК Є.....	156
ДОДАТОК Ж.....	158

ВСТУП

Деревина – це цінний природний анізотропний пружно-пластичний матеріал зі своїми унікальними фізико-механічними характеристиками, яких не мають інші матеріали.

Деревину людство почало використовувати тисячі років назад для різних цілей. На даний час ми не уявляємо повсякденного життя без виробів, деталей, елементів, конструкцій, що виготовлені на основі деревини. Вона застосовується в десятках галузей світової економіки. Зокрема, в паливно-енергетичному комплексі, корабле- та машинобудуванні, деревообробній, меблевій, целюлозно-паперовій, хімічній, авіаційній, гірничо-видобувній промисловостях, будівництві та в багатьох інших.

Для проєктування, виготовлення, ремонту елементів та конструкцій на основі деревини важливо знати їх істинні фізико-механічні властивості в докритичній та закритичній стадії роботи матеріалу. Тобто важливо знати як працює деревина не тільки в експлуатаційному режимі роботи, а й при досягненні нею закритичних стадій. Такі параметри ми можемо отримати тільки на сучасних випробувальних машинах за жорсткого режиму випробувань.

Дослідженню основних параметрів діаграм деформування різноманітних композиційних матеріалів присвячено роботи українських учених у галузі механіки деформівного твердого тіла Шваб'юка В.І., Сяського А.О., Божидарніка В.В., Мікуліч О.А., Яснія П.В., Делявського М.В., Кундрата М.М., Баженова В.А., Пискунова С.О., Сулима Г.Т., Никифорчина Г.М., Боднаря Ю.І. та багатьох інших.

Вивченням параметрів повних діаграм деформування «напруження – відносні деформації» осьовим стиском уздовж волокон за жорсткого режиму прикладання навантаження листяних, хвойних та тропічних порід деревини стандартної вологості 12% присвячено роботи Zhou A., Saad K., Pintér E., Lengyel A., Da Silva A., Kyriakides S., Гомона С.С., Гомона Св.Св., Яснія П.В. Вплив водних середовищ на параметри повних діаграм деформування «напруження – відносні деформації»

досліджено Гомоном Св.Св. За впливу кислотних середовищ такі параметри узагалі не вивчалися.

Елементи та конструкції на основі деревини можуть експлуатуватися в різних агресивних середовищах. До таких можна віднести водне, лужне, сольове, кислотне. Такий вплив на деревину може бути безпосередній при контакті з нею та безконтактний, коли певні речовини випаровуються.

Вплив водного середовища на фізико-механічні властивості деревини за різних умов експлуатації вивчено досить глибоко. Такі експериментально-теоретичні дослідження проводились вітчизняними та закордонними вченими такими як Kollman F., Kuffner M., Madsen B., Báder M., Németh R., Gerhards C., Mårtensson A., Thygesen L., Vasic S., Stanzl-Tschegg S., Ясній П.В., Гомон Св.Св. Дослідники встановили зміну фізико-механічних показників за різної вологості. Зокрема, Гомоном Св.Св. були проведені широкомасштабні експериментально-теоретичні дослідження різних хвойних та листяних порід деревини за жорсткого режиму випробувань. Автор побудував повні діаграми деформування від початку завантаження до повного руйнування досліджуваних матеріалів, а також експериментальним та теоретичним шляхом встановив істинні значення механічних параметрів (граничної міцності, модуля пружності, критичних, граничних та залишкових деформацій) за різної вологості.

Вплив лужних, сольових та кислотних середовищ на різні властивості деревини вивчено, на нашу думку, недостатньо. По-перше, в науковій літературі недостатня кількість експериментально-теоретичних досліджень в даному напрямку. По-друге, ті дослідження, що проведені на даний момент в деяких аспектах сильно різняться, зокрема з визначення міцнісних показників. Дослідження деформівних властивостей взагалі практично відсутні.

Отже, вплив лужних, сольових та кислотних середовищ на фізико-механічні властивості деревини різних порід знаходимо в роботах таких вчених як Baechler R., Browning B., Campbell W., Bamford K., Evans P., Banks W., Kass A. et al., Khan M. et al., Roger M., Wangaard F. та інших.

З іншої сторони відомим фактом в світовій літературі та практиці є те, що деревина є більш хімічно стійкою в порівнянні з аналогами на основі металу та залізобетону. Тобто працює набагато краще в агресивних середовищах.

В нашій роботі нас буде цікавити вплив кислотних середовищ, зокрема, оцтової, молочної та соляної кислот різної концентрації та терміном просочення, на міцнісні та деформівні властивості конструкційної деревини. Роботу деревини за таких умов експлуатації можна зустріти на підприємствах хімічної індустрії, харчової промисловості, в автомайстернях, при безпосередньому виробництві кислот та багато інших. Отже, ми будемо намагатися вивчити вплив кислотних середовищ на міцність і деформівність конструкційної деревини берези та сосни. Зокрема, ми спробуємо провести експериментальні дослідження таких матеріалів за жорсткого режиму випробувань, побудувати повні діаграми деформування «напруження-відносні деформації» за осьового стиску вздовж волокон та встановити істинні значення основних міцнісних (граничної міцності та модуля пружності) та деформівних параметрів (критичних, граничних та залишкових деформацій) за таких умов експлуатації. А також визначити зміну щільності деревини та її структуру.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ РОБОТИ ДЕРЕВИНИ ПІД ДІЄЮ РІЗНИХ АГРЕСИВНИХ СЕРЕДОВИЩ

1.1. Особливості структури деревини та вплив на неї агресивних середовищ

Деревина є одним із найдавніших природних матеріалів, що використовує людство у різних галузях господарства [3, 6, 14, 20, 37, 58, 73, 101-103, 113, 116, 137, 138, 142, 145, 151, 159]. Деревна сировина відноситься до відновлювальних видів та є екологічно чистою у використанні.

Досить широке використання деревини зумовлене перевагами у порівнянні з іншими матеріалами, а саме:

- достатньо висока міцність;
- невелика щільність;
- достатня твердість;
- незначна деформівність;
- низька звукопроникність та теплопровідність;
- тривалий термін експлуатації;
- легко піддається обробці;
- приємний природний колір та відтінок;
- хімічна стійкість в порівнянні з аналогами з металу, залізобетону та іншими матеріалами.

Волокниста будова деревини істотно визначає особливості її практичного застосування. Деревина переважно утворена порожнистими подовженими клітинами веретеноподібної форми, які орієнтовані паралельно одна одній уздовж осі стовбура. Під час виготовлення пиломатеріалів та інших виробів із деревини властивості цих волокнистих клітин і характер їх просторового розміщення визначають такі показники, як міцність, усадка та загальна структура матеріалу.

Макроструктура деревини [6, 14, 37, 73, 103]. Зростаюче дерево складається з трьох основних частин: крони, стовбура та кореневої системи.

Крона є найбільш помітною та однією з ключових частин дерева. Вона являє собою верхню частину рослини, що включає гілки, листя та плоди. До основних функцій крони належать поглинання світлової енергії, засвоєння вуглекислого газу і виділення кисню в процесі фотосинтезу, вивільнення енергії під час дихання, а також транспірація – переміщення води в атмосферу.

Коріння представляє собою підземні подовжені відгалуження стовбура, які мають аналогічну йому шарувату будову тканин. Коренева система забезпечує механічне закріплення дерева в ґрунті та поглинання води разом із розчиненими мінеральними речовинами. Основні корені поділяються на дрібніші, які, у свою чергу, формують розгалужену систему найтонших корінців.

Стовбур виконує функцію опори для крони, з'єднує її з корінням і формує загальний вигляд дерева. Він складається з розгалуженої системи трубчастих елементів, що з'єднують кореневу частину з листям і виконують роль провідної системи. По цих каналах вода та мінеральні речовини транспортуються від коренів до листя, тоді як органічні сполуки, синтезовані в листі, переміщуються у зворотному напрямку. Частка стовбура в загальному об'ємі дерева перевищує 60 %.

Стовбур досліджують у трьох основних розрізах: поперечному, радіальному та тангенціальному. На поперечному розрізі виділяють такі складові елементи: серцевину, деревину, камбій, луб і кору (рис. 1.1).

У центральній частині стовбура розташована серцевина, найбільший об'єм займає деревина, яку ззовні послідовно оточують камбій, луб і кора. Саме деревина є основним об'єктом уваги під час проведення експериментальних досліджень.

Мікроструктура деревини [6, 14, 37, 73, 103]. Головними структурними елементами деревини є трахеїди, або волокнисті клітини. В одному кубічному сантиметрі деревини може

міститися понад 1,5 млн клітин, які в сукупності формують міцний композитний матеріал. Кожна окрема клітина має складну будову і являє собою багатошарову замкнену трубку, армовану внутрішнім каркасом, а не просту однорідну порожнисту структуру. Клітинна стінка складається з чотирьох окремих шарів, кожен з яких утворений поєднанням трьох основних хімічних полімерів: целюлози, геміцелюлози та лігніну.

Целюлоза формує довгі лінійні нерозгалужені ланцюги, тоді як геміцелюлоза складається з коротших розгалужених молекул. Лігнін, у свою чергу, заповнює простір між цими полімерними структурами, забезпечуючи їм додаткову жорсткість. Оскільки вуглеводні та фенольні складові деревини організовані у шарувато-трубчасту або коміркову структуру з великою внутрішньою порожниною клітин, щільність деревини може істотно змінюватися. Саме така будова робить деревину ефективним конструкційним матеріалом, оскільки вона поєднує значний об'єм порожнин із вигідним співвідношенням міцності до маси та має низку додаткових переваг, зокрема корозійну стійкість, витривалість, відносно низьку вартість і простоту обробки безпосередньо на будівельному майданчику.

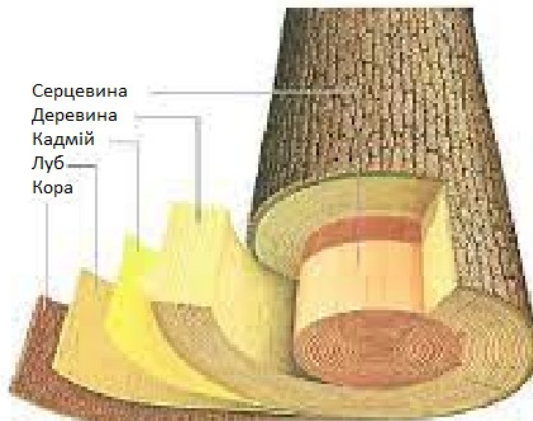


Рис.1.1. Будова деревини

Встановлено, що корозійна стійкість деревини значною мірою визначається породою дерева [7, 35, 37, 38, 79, 81, 105,

154]. Як зазначалося раніше, основними складовими всіх видів деревини є целюлоза та лігнін. У перерахунку на суху речовину вміст целюлози становить приблизно 40–60 %, а лігніну – близько 30 %. Окрім цього, до складу целюлозної частини входять вуглеводи, об'єднані загальною назвою геміцелюлоза. За рівнем хімічної стійкості ці компоненти дуже відрізняються між собою.

Целюлоза характеризується вищою хімічною стійкістю: на неї практично не впливають органічні кислоти, розбавлені мінеральні кислоти й луки, сольові розчини, а також більшість органічних розчинників, зокрема ацетон, спирт і ефір. Під дією концентрованих неорганічних кислот целюлоза набухає та зазнає часткового гідролізу, який у кінцевому підсумку призводить до утворення глюкози. Лігнін є менш стійким у хімічному відношенні порівняно з целюлозою: він здатний розчинятися в лугах, проте, на відміну від целюлози, не піддається гідролізу під впливом кислот.

На підставі численних експериментально-теоретичних досліджень, виконаних ученими різних країн, щодо впливу хімічно агресивних середовищ на механічні властивості деревини було прийнято класифікацію трьох основних видів її корозії: 1) дія води та лугів; 2) дія кислот; 3) дія солей. У природних умовах зазвичай одночасно проявляються кілька видів корозійних процесів, однак, як правило, домінує один із них, при цьому завжди простежується вплив другорядних чинників, характерних для конкретних умов експлуатації.

1.2. Область застосування деревини в умовах агресивних середовищ

Вироби, вузли, елементи та конструктивні системи з використанням деревини знаходять застосування у багатьох галузях економіки. У процесі експлуатації вони часто працюють як у сприятливих, так і в несприятливих умовах. При цьому деревина може піддаватися як опосередкованій, так і безпосередній дії хімічно активних чинників – вологи, лугів,

солей або кислот, що за певних умов призводить до розвитку корозійних процесів [78, 107, 111, 120–122, 136, 154, 157].

Разом з тим, результати численних експериментально-теоретичних досліджень свідчать, що деревина характеризується вищою хімічною стійкістю порівняно з матеріалами на основі металу та залізобетону [38, 98], тобто в агресивних середовищах вона часто демонструє кращі експлуатаційні показники.

Нижче наведено приклади роботи деревини в подібних умовах експлуатації та виконано їх аналіз.

Станом на сьогодні будівництво з використанням деревини є широко розповсюдженим у світі та продовжує динамічно розвиватися. Раціональність застосування дерев'яних конструкцій визначається типом будівель і споруд, а також конкретними умовами їх експлуатації. Дерев'яні конструкції ефективно використовуються в будівлях із зовнішнім відведенням води, без верхніх світлових ліхтарів, за сухого або нормального температурно-вологісного режиму. До таких об'єктів належать сільськогосподарські підсобно-виробничі будівлі (гаражі для автомобілів і тракторів, сараї та навіси для зберігання сільськогосподарської техніки, машиноремонтні майстерні, склади мінеральних добрив, зерносховища тощо), підсобно-допоміжні промислові споруди (ремонтно-механічні цехи, гаражі, склади), тимчасові збірно-розбірні будівлі для потреб будівельних майданчиків, а також літні театри, спортивні зали та басейни.

У ряді випадків використання дерев'яних конструкцій є доцільним у покриттях багатопролітних будівель, а також за умов експлуатації в агресивних середовищах і, інколи, при підвищеній вологості (рис. 1.2), коли застосування конструкцій з інших матеріалів потребує дорогих антикорозійних заходів або характеризується меншою довговічністю. Крім того, деревина ефективно використовується у будівлях хімічної, харчової та інших галузей промисловості, зокрема на підприємствах молочно-переробної промисловості (рис. 1.3), у насосних відділеннях виробництва різних кислот, цехах з випуску азотних добрив, відбілювальних відділеннях, а також у складах

мінеральних добрив і сировини для їх виготовлення (рис. 1.4) та в інших подібних об'єктах.



Рис. 1.2. Басейн з несучими дерев'яними конструкціями

Довговічність дерев'яних конструкцій у ряді агресивних середовищ у понад п'ять разів перевищує термін служби залізобетонних елементів [38, 98]. Під час дослідження причин аварійних ситуацій на виробничих об'єктах із хімічно агресивними умовами експлуатації було зафіксовано корозійне руйнування залізобетонних опор і металевих кріпильних елементів за майже повної відсутності корозійних ушкоджень деревини.

Водночас у роботах [38, 98] зазначається, що в практиці експлуатації дерев'яних конструкцій і споруд неодноразово мали місце випадки втрати несучої здатності дерев'яних покриттів у цехах хімічних підприємств, зумовлені хімічною перебудовою структури деревини. Такі зміни виникали внаслідок неврахування на стадії проектування характеру середовища, в якому мали працювати конструкції. Результатом структурних перетворень і руйнування деревини під дією чинників зовнішнього середовища є пошкодження хімічного походження.



Рис.1.3. Цех з виробництва молочно-переробної продукції з несучими дерев'яними конструкціями



Рис.1.4. Склад мінеральних добрив з несучими дерев'яними конструкціями

Часті порушення встановленого технологічного режиму, що супроводжуються виділенням шкідливих газів у повітря виробничих приміщень, нерідко спричиняють інтенсивне та прискорене руйнування дерев'яних конструкцій.

У різних країнах світу значна кількість калійних комбінатів зведена із застосуванням деревини. Після багаторічної експлуатації в сольовому середовищі дерев'яні елементи й конструкції, як правило, не виявляють суттєвих ознак пошкоджень. Водночас сталеві опори, на які потрапляють солі та атмосферні опади, потребують ремонтних робіт кожні три–чотири роки. Одним із недоліків використання в агресивному середовищі наскрізних решітчастих арок і ферм є наявність великої кількості конструктивних елементів малого перерізу та металомістких вузлів з'єднання. Проектувальникам необхідно враховувати, що на елементах з поверхнями, оберненими догори, відбувається накопичення солей, які призводять до додаткового навантаження на несучі конструкції та сприяють утворенню висококонцентрованих сольових розчинів за умов підвищеної вологості повітря.

Тривалий термін служби деревини також спостерігається в середовищі кислотних парів, зокрема на підприємствах сталепрокатної промисловості. Так, на одному зі сталепрокатних заводів у США термін експлуатації дерев'яних конструкцій становить від 18 до 36 років. Слід зазначити, що дерев'яні конструкції можуть працювати без спеціального захисту від агресивного середовища, тоді як металеві елементи в цехах змушені захищати лакофарбовими покриттями. Проте такий захист часто є малоефективним: металеві повітропроводи, розташовані в зоні покрівлі, через інтенсивне корозійне руйнування доводиться замінювати щороку.

Комплексні дослідження результатів і перспектив застосування дерев'яних конструкцій у різних галузях хімічної промисловості проводить Інститут фізичної технології деревини (Німеччина), де вивчається поведінка деревини в середовищах кислот, лугів, сольових розчинів і димових газів. У Німеччині рекомендації щодо використання деревини в хімічно активних середовищах включені до чинних нормативних документів.

Дерев'яні конструкції широко застосовуються на підприємствах хімічної промисловості, зокрема для перекриття будівельних цехів великих прольотів, у будівельній практиці таких

країн, як США, Канада, Японія, Китай та держави Європейського Союзу.

Наведені приклади свідчать про доцільність використання деревини як будівельного матеріалу в конструкціях і спорудах хімічної промисловості з агресивним середовищем, оскільки це дає змогу забезпечити значну довговічність як окремих конструкцій, так і будівель у цілому, а також досягти істотної економії фінансових ресурсів, що витрачаються на поточні та капітальні ремонти.

1.3. Вплив агресивних середовищ на фізико-механічні властивості деревини

Деревина – це анізотропний пружно-пластичний, капілярно-пористий матеріал природного походження [1, 4, 6, 51, 52, 56, 34, 51, 60, 63, 65, 69-72, 75, 80, 85, 95, 96, 101, 103, 106, 108, 116, 126-128, 130-132, 139, 146], що має більшу корозійну стійкість до хімічних середовищ у порівнянні з металом, бетоном, цеглою, азбестоцементом та іншими [38, 98].

Існує ряд експериментальних методів оцінки корозії будівельних матеріалів, кожен з яких має свої особливості. Вплив хімічних середовищ оцінюють за зовнішнім виглядом зразків, величиною відносних деформацій, зміною ваги, міцності, модуля пружності та щільності, глибиною корозійних руйнувань, зміною концентрацій хімічних компонентів та інші.

На відміну від інших капілярно-пористих матеріалів, деревина є природним полімерним конструкційним матеріалом. Хімічні реакції, які відбуваються в деревині при її взаємодії з хімічним середовищем, самі по собі досить складні. Однак наукові роботи [7, 35, 37, 38, 79, 81, 105, 154], в яких є дослідження природи і механізму хімічної корозії деревини, нечисленні. Детальні уточнення і вивчення природи всіх хімічних процесів корозії деревини, пов'язаних зі зміною міцності, деформівності, щільності, початкового модуля пружності, модуля деформації (січного модуля) і отриманням кількісних характеристик, практично відсутні. Є лише базування

на дуже обмеженій кількості випробуваних малих чистих зразків за міцністю [7, 35, 36, 55, 61, 76]. До того ж існуючі дослідження дуже різняться, їх досить складно узагальнити.

В подальшому нас буде цікавити робота деревини в кислотному середовищі за осьового стиску вздовж волокон та визначення основних фізико-механічних характеристик в докритичній та закритичній стадіях роботи матеріалу.

Як уже зазначалося вище, згідно міжнародної класифікації вплив агресивного середовища на матеріали розрізняють за трьома видами корозії [36]:

- 1) при впливі води або лугу;
- 2) при впливі кислот;
- 3) у розчинах солей.

В даному пункті проведемо аналіз існуючих експериментально-теоретичних досліджень згідно цієї класифікації.

1.3.1. Дійсні діаграми деформування «напруження σ_c – відносні деформації ϵ » за осьового стиску уздовж волокон

Для того, щоб встановити дійсну, реальну роботу будь-якого матеріалу, в тому числі і деревини, необхідно проводити експериментальні дослідження на сучасних випробувальних машинах та пресах за так званого «жорсткого режиму випробувань» [21, 34, 109, 143, 160]. Донедавна, а в багатьох випадках і в наш час, дослідження проводились і проводяться за «м'якого режиму» на гідравлічних пресах [4, 15, 51, 63, 68, 76, 80, 125, 127, 129, 132, 133, 139]. За таких умов можливо встановити тільки тимчасову граничну міцність матеріалу та його роботу до певних деформівних значень (максимально до $0,8f_{c,0,d}$) на висхідній вітці деформування.

Оскільки робота матеріалу продовжується і в закритичній стадії роботи, то необхідно використовувати таке устаткування, щоб визначити основні механічні властивості на спадній вітці. До таких випробувальних машин і пресів відносять електромеханічні та сервогідравлічні установки, як правило,

закордонного виробництва [34]. Це випробувальні машини відомих брендів INSTRON (рис.1.5), WDW (рис.1.6), LFM, STM та багато інших, які працюють за жорсткого режиму. Такі установки дозволяють будувати вище згадані повні діаграми (висхідна та спадна вітки діаграми) за стиску, розтягу, згину, в тому числі і деревини, та визначити повний спектр міцнісних та деформівних характеристик, як в докритичній стадії роботи матеріалу (висхідна вітка), так і закритичній (спадна вітка). Дане випробувальне обладнання дозволяє будувати такі діаграми з величезною кількістю точок в часі. Також можливо регулювати швидкість деформування та встановлювати різні режими завантаження (короткочасні, тривалі, малоциклові) [39].



Рис. 1.5. Універсальні випробувальні машини INSTRON



Рис. 1.6. Універсальна випробувальна розривна машина WDW-300E

Проаналізуємо дійсну роботу деревини з побудовою повних діаграм деформування, яку ми можемо знайти на даний час в літературі.

Розпочнемо аналіз експериментальних досліджень деревини за стандартної вологості 12%. Таких досліджень в світовій практиці є досить обмежена кількість.

Першим в Україні на початку XXI ст., кому вдалося отримати повні діаграми деформування деревини сосни конструкційних розмірів перерізом 45x45x200 мм за вологості 10%, був Гомон Св.Ст. [21]. Автор проводив експериментальні дослідження на вдосконаленій установці, яка дозволяє будувати повну діаграму деформування за осьового стиску уздовж волокон. Дослідник отримав спадну вітку діаграми (рис.1.7) та встановив певні механічні властивості деревини сосни в закритичній стадії роботи, зокрема критичні та граничні деформації.

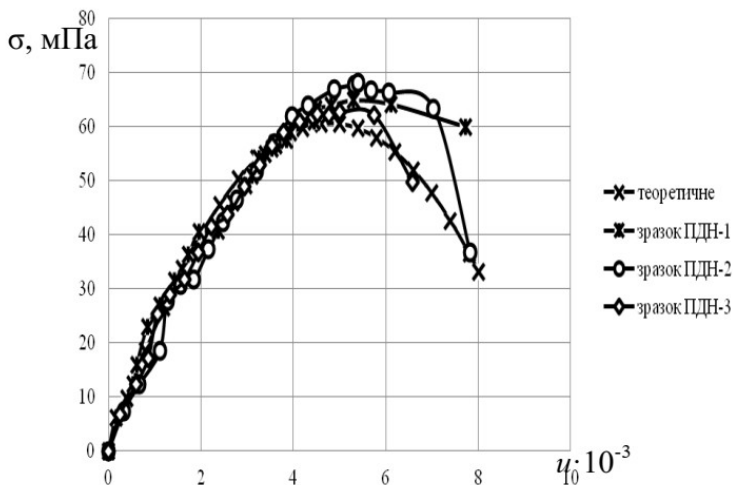


Рис.1.7. Реальна діаграма деформування деревини сосни «напруження – відносні деформації» з обмеженням в точці граничних деформацій [21]

Також схожими дослідженнями за жорсткого режиму випробувань різних порід деревини займалися ряд закордонних та українських вчених, зокрема Da Silva A. and Kyriakides S. [109], Zhou A. et al. [160], Saad K. et al. [143], Гомон Св.Св. та Ясній П.В. [34, 89-93, 158].

Проаналізуємо їхні здобутки по-порядку.

Da Silva A., Kyriakides S. [109] проводили експериментальні дослідження деревини бальзи на стиск вздовж волокон. За результатами досліджень автори побудували дійсні діаграми деформування деревини бальзи (рис.1.8) та експериментальним шляхом встановили закритичні механічні характеристики.

Zhou A. et al. [160] проводили експеримент композиційних матеріалів на основі деревини бамбука. Дослідники побудували реальну діаграму деформування (рис.1.9) за осьового стиску вздовж волокон та визначили відносні критичні деформації таких матеріалів.

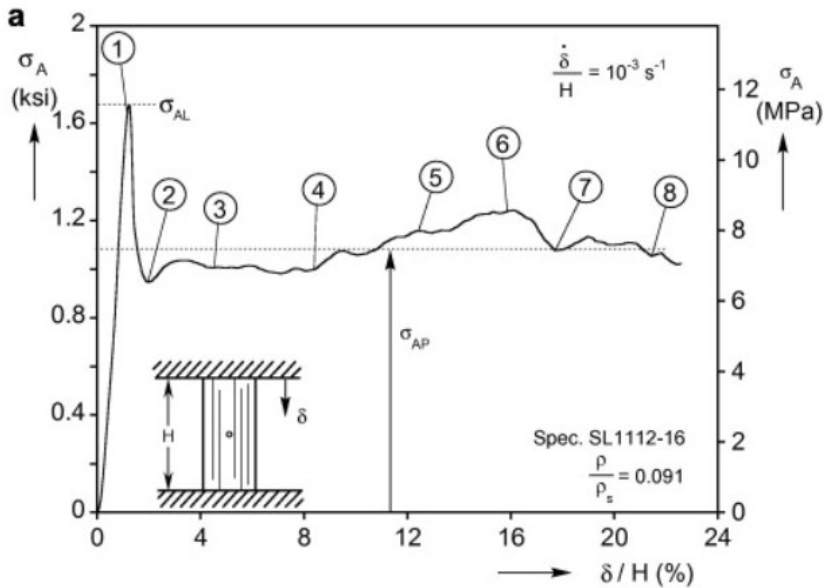


Рис.1.8. Дійсна діаграма деформування деревини бальзи [109]

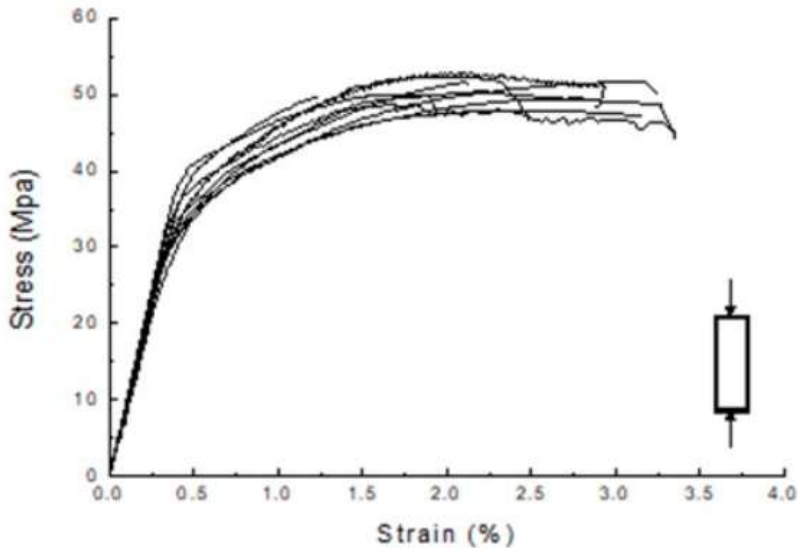


Рис.1.9. Реальна діаграма деформування композиційних матеріалів на основі деревини бамбука [160]

На основі проведеного експерименту деревини ялини Saad K. et al. [143] наводять повні діаграми деформування «напруження – відносні деформації» осьовим стиском вздовж волокон (рис.1.10). Дослідники встановили основні механічні характеристики в закритичній стадії роботи матеріалу.

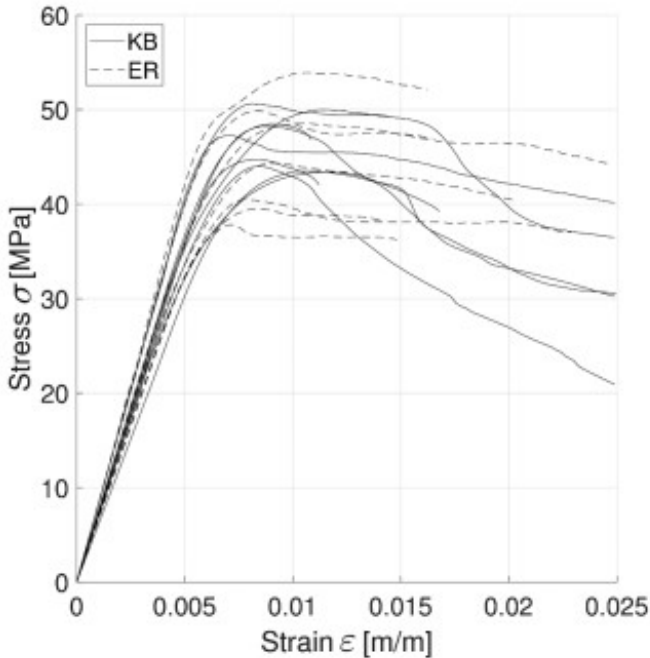


Рис.1.10. Повні діаграми деформування «напруження – відносні деформації» деревини ялини осьовим стиском вздовж волокон [143]

Вагомий вклад з експериментально-теоретичних досліджень механічних властивостей деревини в докритичній (висхідна вітка) та закритичній (спадна вітка) стадіях роботи матеріалу зробив український вчений Гомон Св.Св. [19, 22, 34, 89-93, 117, 158]. Автор провів цілеспрямовані широкомасштабні експериментальні дослідження суцільної, клеєної та модифікованої деревини за жорсткого режиму випробувань на

сучасній випробувальній машині СТМ-100 перерізом 30х30х120 мм. Загальна кількість випробуваних призм становила 418 шт. Гомон Св.Св. досліджував листяні (береза, вільха, ясен) та хвойні (модрина, сосна, ялина) породи деревини за різного віку, вологості та швидкості деформування. А також тих же порід – клеєної та модифікованої деревини.

Дуже важливим аспектом є те, що автор досліджував механічні властивості суцільної деревини під дією агресивного середовища (водного) за різної вологості – 30, 21 та за стандартної 12% [34, 89-91]. Вперше дослідником було побудовано повні діаграми деформування «напруження σ_c – відносні деформації u_c » за таких умов осьовим стиском вздовж волокон (рис.1.11) [34, 89-91] та з обмеженням в точці граничних деформацій (рис.1.12) [34, 91].

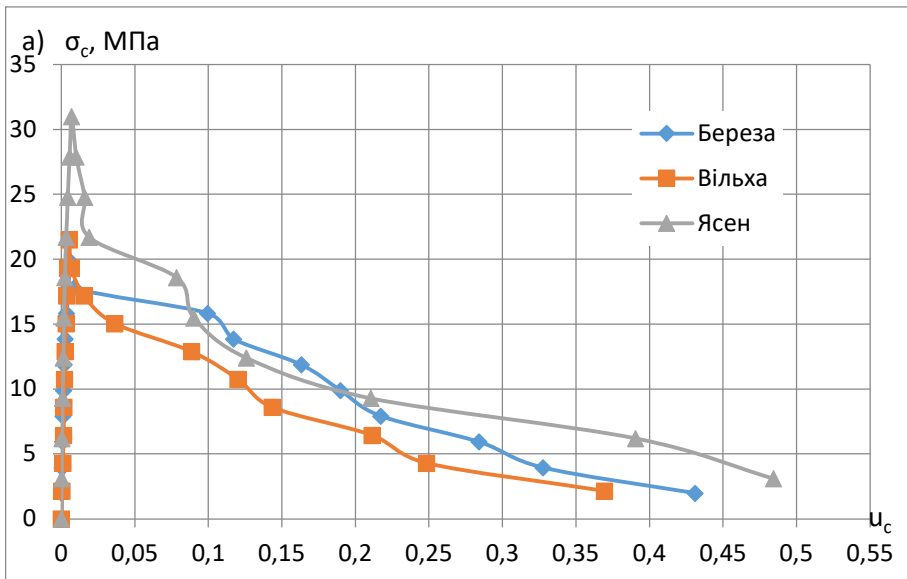


Рис. 1.11. Повні діаграми деформування «напруження σ_c – відносні деформації u_c » деревини листяних порід за вологості 30% [34]

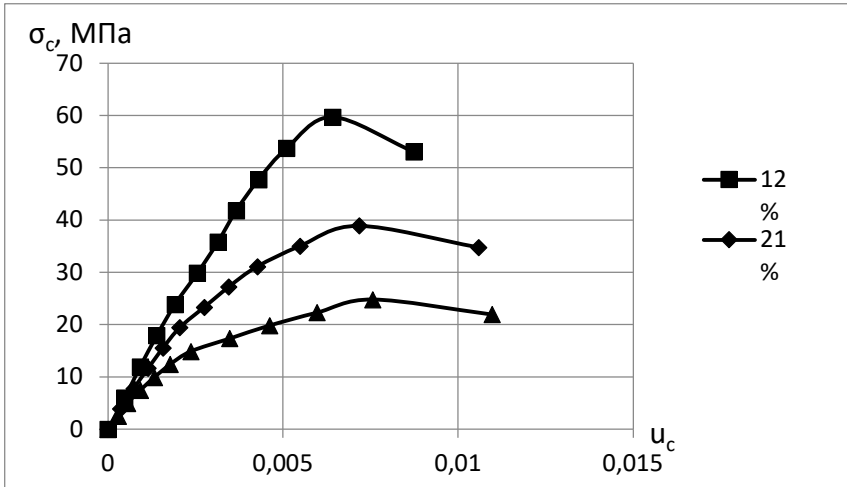


Рис. 1.12. Діаграми деформування «напруження σ_c – відносні деформації u_c » деревини модрина з обмеженням в точці граничних деформацій за різної вологості [91]

Гомон Св.Св. [19, 22, 34, 89-93, 117, 158] запропонував та обґрунтував численними своїми експериментальними дослідженнями та на основі експериментів інших авторів [21, 109, 160] класичну модель дійсної роботи суцільної деревини за короткочасного навантаження на стиск уздовж волокон від початку завантаження матеріалу і до його повного руйнування (рис.1.13).

Також автор запропонував описувати дану діаграму поліномом 4-го степеня [34, 158]:

$$\sigma_c = w_1 \cdot u_c + w_2 \cdot \frac{u_c^2}{u_{c,0,d}} + w_3 \cdot \frac{u_c^3}{u_{c,0,d}^2} + w_4 \cdot \frac{u_c^4}{u_{c,0,d}^3} = \sum_{i=1}^4 w_i \frac{u_c^i}{u_{c,0,d}^{i-1}}, (1.1)$$

де σ_c – нормальне напруження стиску уздовж волокон;

u_c – відносні деформації осьовому стиску уздовж волокон;

$u_{c,0,d}$ – відносні критичні деформації осьовому стиску уздовж волокон;

w_1, w_2, w_3, w_4 – коефіцієнти поліному.

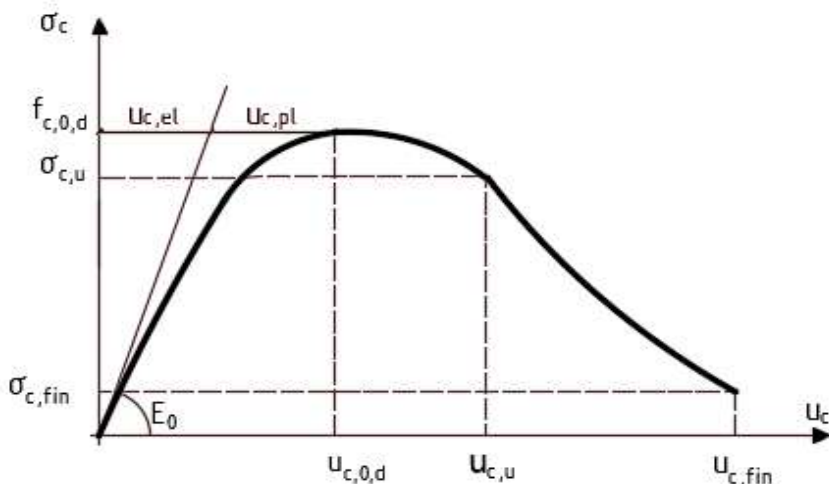


Рис. 1.13. Еталон повної діаграми деформування суцільної деревини «напруження σ_c – відносні деформації u_c » осьовим стиском вздовж волокон [34]

В подальшому ми також використаємо дану модель для аналізу роботи деревини під дією різних кислотних середовищ.

Отже, приходимо до висновку, що наукові праці пов'язані з роботою деревини осьовим стиском уздовж волокон під дією різних агресивних середовищ в закритичній стадії роботи матеріалу фактично відсутні, окрім досліджень Гомона Св.Св. у водному середовищі. А як наслідок відсутні дійсні діаграми деформування суцільної деревини під дією різних кислотних середовищ.

1.3.2. Вплив агресивних середовищ на міцнісні показники деревини

Розглянемо та проаналізуємо як впливають різні агресивні середовища на міцнісні показники деревини за вище наведеною класифікацією. Серед механічних характеристик таких досліджень проведено найбільше [7, 34-36, 55, 61, 76, 81, 91, 93, 99, 112, 120-125, 129, 133, 140, 147, 148, 150].

Корозія I виду (лужна корозія при впливі води або лугу).

Дія води навіть при кімнатній температурі викликає помітне вилуговування з деревини ряду найменш міцно зв'язаних з неї речовин, при цьому механічні властивості деревини, в тому числі міцнісні, значно знижуються.

Дослідженням міцнісних показників деревини листяних та хвойних порід під дією водного середовища (за різної вологості) на стиск уздовж волокон займалися ряд закордонних та вітчизняних вчених, зокрема, Báder M. and Németh R. [99], Benkerif R. [100], Gerhards C. [112], Kržišnik D. et al. [124], Kollmann F. [123], Kuffner M. [125], Madsen B. [129], Mårtensson A. [133], Roman K. et al. [141], Thygesen L. et al. [147], Treu A. et al. [148], Vasic S. and Stanzl-Tschegg S. [150], Wadso L. [152], Wang L.Y. et al. [153], Гомон Св.Св. [34, 89-91] та інші.

Дослідники встановили, що при збільшенні вологості деревини усіх порід тимчасова гранична міцність на стиск та розтяг уздовж волокон значно зменшується. За даними [34, 89-91, 123, 125] при збільшенні вологості від 12% до 30% міцність падає в 2-2,5 рази.

Гомон Св.Св. [34, 89-91] проводив ґрунтовні експериментальні дослідження деревини хвойних (модрина, сосни, ялини) та листяних (берези, вільхи, ясена) вологістю 12, 21 та 30% за осьового стиску вздовж волокон. Автор встановив значення граничної міцності досліджуваних порід деревини за таких умов експлуатації через 1% вологості в межах від 12 до 30% (рис.1.14). Дослідник також експериментальним шляхом встановив міцність деревини, що працює в закритичній стадії роботи, зокрема, параметри напружень, що відповідають граничним та залишковим деформаціям.

Сучасні вітчизняні норми наводять тільки показники міцності за стандартної вологості, за іншої вводяться перерахункові коефіцієнти [40]. В закордонних, зокрема американських та канадських, також і за вологості 30% [134].

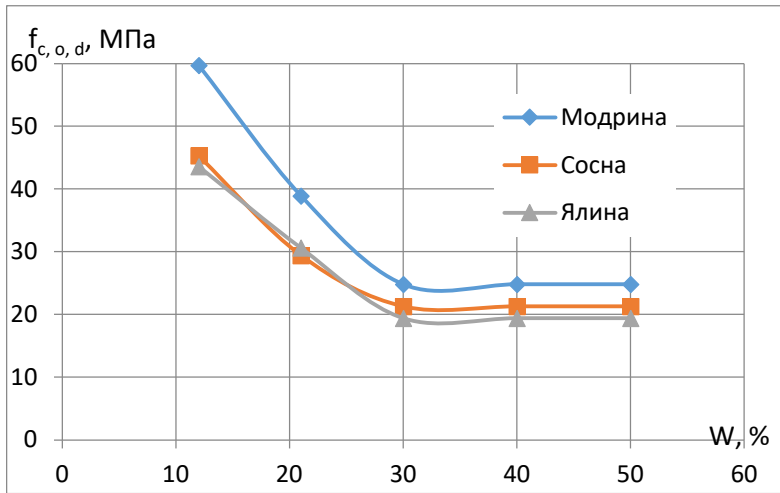


Рис.1.14. Залежність максимального напруження суцільної деревини хвойних порід від вологості [34]

Treu A. et al. [148], Roman K. et al. [141] досліджували вплив морського середовища на міцнісні показники деревини. Дослідники встановили, що вплив такого середовища зменшує міцність деревини.

В наукових працях [7, 36, 61, 76, 79, 81, 98, 122, 140, 154] представлені експериментальні дослідження, впливу агресивних лужних середовищ на міцнісні характеристики деревини.

Більшість відомих досліджень, присвячених впливу лужних середовищ на деревину, були орієнтовані насамперед на отримання целюлози та побічних продуктів процесу делігніфікації, при цьому об'єктом вивчення здебільшого слугувала подрібнена деревина. Луги взаємодіють з геміцелюлозою, розчиняючи її, а за підвищених концентрацій частково розчиняють і лігнін. Інтенсивність дії лужних середовищ зростає зі збільшенням температури та тиску. За малих концентрацій їдких лугів і низьких температур спостерігається незначне набухання деревини. Вуглекислі луги впливають на деревину подібно до їдких, однак їх дія є менш

інтенсивною. Розчини оксидів проявляють розчинювальну дію на деревину.

Таким чином, у працях [7, 81, 61, 36, 76, 122, 140, 154] зазначено, що лужні розчини, маючи хімічно гетерогенний характер, спричиняють розчинення смол і значної частини лігніну. Внаслідок цього порушується анатомічна структура деревини, послаблюються зв'язки між клітинними оболонками, що в підсумку призводить до зниження її міцнісних характеристик.

Автори робіт [7, 61] виконали експериментальні дослідження зразків берези розмірами $20 \times 20 \times 30$ мм за стиску вздовж волокон після витримання їх протягом шести місяців у розчинах гідроксиду натрію концентрацією 5% і 10%. Було встановлено, що зменшення міцності відбувається інтенсивно в перші два місяці дії лужних розчинів, після чого процес сповільнюється. Наприкінці шостого місяця перебування в 5%-му розчині NaOH міцність деревини на стиск уздовж волокон у середньому зменшується на 52%, тоді як у 10%-му розчині втрата міцності досягає 88%.

Корозія II виду (в розчинах кислот).

У наукових працях [7, 35, 36, 55, 76, 81, 122, 140, 154] наведено результати досліджень впливу кислот на фізичні та механічні властивості хвойних і листяних порід деревини за температури 15–20°C при різній тривалості дії агресивного середовища. Дослідження механічних властивостей деревини під впливом кислот проводилися за стиску вздовж волокон і при згині.

Дослідниками встановлено, що під дією кислотного середовища міцність деревини істотно знижується і залежить як від концентрації кислот, так і від тривалості просочення. Водночас у різних авторів результати подібних досліджень суттєво відрізняються.

Проаналізуємо праці тих дослідників, результати яких безпосередньо пов'язані з виконанням наших експериментальних досліджень. Так, у роботі [36] зазначено, що дія соляної кислоти (HCl) з концентрацією 2% протягом 30 днів знижує міцність

деревини перерізом $20 \times 20 \times 30$ мм при осьовому стиску вздовж волокон на 30%, а за 120 днів – на 44%. За концентрації 5% відповідні втрати становлять 31% за 30 днів і 49% за 120 днів. При концентрації 10% зниження міцності за 30 днів складає лише 10%, а за 120 днів – 28%.

У науковій праці [8] наведено дані, згідно з якими міцність деревини перерізом $30 \times 30 \times 30$ мм після 120 днів просочення 2%-ю соляною кислотою зменшується в межах 26–36%. За концентрації 5% зниження міцності за 30 днів становить 9–12%, а за 120 днів – 21–40%. При концентрації 10% за 30 днів втрата міцності складає 9–12%, а за 120 днів – 25–40%.

У роботі [76] автор зазначає, що при дії соляної кислоти концентрацією 10% на деревину сосни перерізом $20 \times 20 \times 30$ мм гранична міцність на стиск уздовж волокон зменшується на 26%, а при концентрації 20% – на 30%. Водночас у роботі не наведено інформації щодо тривалості просочення зразків у кислотному середовищі.

У працях [7, 36] показано, що дія 5%-ї оцтової кислоти призводить до незначного зниження міцності деревини: протягом 30 днів – на 8–10%, протягом 120 днів – на 14–19%. За концентрації оцтової кислоти 30% гранична міцність деревини зменшується на 5–12% за 30 днів просочення та на 18–25% – за 120 днів.

У роботі [35] наведено результати експериментальних досліджень деревини сосни та модрина перерізом $20 \times 20 \times 20$ мм і $40 \times 40 \times 50$ мм, які просочувалися 10%-ю оцтовою кислотою протягом 30 днів. Автор встановив, що гранична міцність деревини зменшилася в середньому на 29–34%.

З іншого боку, кислоти, проникаючи в деревину, спричиняють набухання целюлозних волокон, утворення в них розривів і перетворення целюлози на пухку гідроцелюлозу з формуванням певної кількості цукрів. Дуже концентровані кислоти – 70–90%-ва сірчана (H_2SO_4) та 50%-ва соляна (HCl) – викликають майже повне розчинення целюлози. Концентрована 96%-ва сірчана кислота призводить до повного обвуглення деревини, охоплюючи як лігнін, так і целюлозу. Подібний ефект

спостерігається і за нижчих концентрацій кислот у поєднанні з нагріванням деревини.

У межах даного дослідження також передбачається встановити вплив кислотних середовищ невеликої концентрації, зокрема молочної, оцтової та соляної кислот, на міцнісні характеристики деревини.

Корозія III виду (в розчинах солей).

Вплив сольової корозії на фізико-механічні властивості деревини вивчався значною кількістю дослідників, результати яких наведені у працях [7, 121, 136]. Автори підкреслюють, що в більшості випадків під дією сольових середовищ відбувається зниження міцності деревини.

1.3.3. Вплив агресивних середовищ на деформівні показники деревини

Таких експериментально-теоретичних досліджень, на жаль, проведена дуже обмежена кількість. Більшість з них стосуються деревини за стандартної вологості 12%. Проаналізуємо деякі з них. Нас будуть в основному цікавити відносні критичні та залишкові деформації (рис.1.13).

Відносні критичні деформації деревини різних порід, як правило, за стандартної вологості 12 % експериментальним шляхом були встановлені наступними вченими: Da Silva A., Kugiakides S. (деревини бальзи) (рис.1.8) [109], Zhou A. et al. (композитного матеріалу на основі деревини бамбуку) (рис.1.9) [160], Гомон Св.Ст. (деревини сосни за вологості 10%) (рис.1.7) [21], Saad K. et al. (рис.1.10) [143] (деревини ялини), Гомон Св.Св. (деревини берези, вільхи, ясена, модрина, сосни, ялини за вологості 12, 21 та 30%) (рис.1.10, рис.1.11) [19, 22, 34, 89-93, 117, 158].

Значення відносних залишкових деформацій знаходимо в роботах Гомона Св.Св. [34] для берези, вільхи, ясена, модрина, сосни, ялини.

Теоретичним шляхом визначення відносних критичних деформацій знаходимо в роботах Гринкруг Н.В. [36] та Гомона Св.Св. [34].

Окремі автори стверджують, що значення відносних критичних деформацій на основі прогнозування роботи деревини після проведення експериментальних досліджень за «м'якого режиму» випробувань знаходиться в інтервалі від 0,003 до 0,006 мм/мм.

Експериментальні дослідження з визначення відносних критичних та залишкових деформацій деревини під дією різних агресивних середовищ в літературі фактично відсутні, окрім досліджень Гомона Св.Св. [19, 22, 34, 89-93, 117, 158] під дією водних середовищ.

Автор [34] провів численні експериментальні дослідження деревини берези, вільхи, ясена, модрина, сосни, ялини перерізом 30x30x120 мм за вологості 30, 21 та 12%. Дослідник встановив, що при збільшенні вологості від 12 до 30% деформівність значно збільшується, а саме: відносні критичні деформації зростають на 16-22%, граничні на 9-30%, залишкові на 14-34%.

Інших експериментальних досліджень, які б дозволили встановити відносні критичні та залишкові деформації за інших агресивних середовищ (лужних, кислотних, сольових) немає.

Також Гомон Св.Св. [34] запропонував методика з визначення відносних критичних деформацій деревини, за допомогою якої можливо встановити значення відносних критичних деформацій деревини теоретичним шляхом за вологості від 12 до 30%. Така методика враховує пружно-пластичні властивості деревини, отже, формула має вигляд

$$u_{c,0,d} = u_{c,el} + u_{c,pl} \quad (1.2)$$

де $u_{c,el}$ – відносна пружна деформація деревини;

$u_{c,pl}$ – відносна пластична деформація деревини.

Остаточний вигляд формула (1.2), враховуючи $u_{c,el}$ та $u_{c,pl}$, матиме

$$u_{c,0,d} = f_{c,0,d}/E_0 + c_1 \cdot f_{c,0,d}^2 \quad (1.3)$$

де E_0 – початковий модуль пружності деревини;

c_1 – коефіцієнт, що залежить від вологості і віку деревини.

Формула (1.3) дозволяє не тільки встановлювати значення відносних критичних деформацій за різної вологості, але й окремо визначати пружну та пластичну складові. Вченим встановлено, що пластична складова відносних критичних деформацій збільшується при збільшенні вологості деревини від 12 до 30%, а пружна – навпаки зменшується. Дана методика була апробована для близько 100 листяних, хвойних та тропічних порід деревини.

Гринкруг Н.В. [36] запропонувала формулу для визначення відносних критичних деформацій з врахуванням фактору агресивності середовища

$$u_{c,0,d,agr} = (735,825 \cdot \sqrt{f_{c,0,d,agr}} - 3,902) \cdot 10^{-3}. \quad (1.4)$$

Гомон Св.Ст. [21] встановив залежність для визначення відносних граничних деформацій деревини сосни за вологості 10% через критичні

$$u_{c,u} = 1,45 \cdot u_{c,0,d}. \quad (1.5)$$

Гомон Св.Св. [34] запропонував методику для визначення відносних граничних деформацій деревини за вологості в межах від 12 до 30% та різного віку, а також встановив залежності з визначення граничних деформацій деревини через критичні для берези, вільхи, ясена, модрина, сосни, ялини за вологості 12, 21 та 30%.

Отже, бачимо, що кількість експериментально-теоретичних досліджень з визначення відносних критичних, граничних та остаточних деформацій за різних агресивних середовищ є дуже і дуже малою.

1.3.4. Вплив агресивних середовищ на початковий модуль пружності та модуль деформації деревини

Діючі стандарти [40] дозволяють визначити початковий модуль пружності деревини на стиск вздовж волокон за формулою

$$E_w = \frac{p \cdot l}{a \cdot b \cdot \Delta l}, \quad (1.6)$$

де p – навантаження, різниця між верхніми та нижніми межами навантаження;

l – база тензометра;

$a=20$ мм, $b=20$ мм – розміри поперечного перерізу досліджуваного зразка;

$\Delta l = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{2}$ – середня величина переміщення;

де $\Delta l_1, \Delta l_2$ – переміщення по кожному тензометру.

За стандартної вологості 12% $E_w = E_0$.

Тобто за даною методикою ми можемо визначити модуль пружності деревини тільки, коли змінюється її вологість. При дії інших агресивних середовищ це зробити буде майже неможливо.

Також існує методика запропонована Гомоном Св.Св. [34], яка враховує пружно-пластичні властивості деревини, та дозволяє визначати не тільки початковий модуль пружності, а й модуль деформацій, за різної вологості.

Автор [36] пропонує визначати початковий модуль пружності з врахуванням фактору агресивності середовища за наступним виразом

$$E_{0,agr} = \frac{f_{c,0,d,agr} \cdot 10^3}{0,06 \cdot f_{c,0,d,agr} + 0,999}. \quad (1.7)$$

В сучасних нормах [40, 110, 134], на жаль, не знаходимо зміну механічних властивостей під дією різних агресивних середовищ, в тому числі і кислотних.

Серед існуючих проведених експериментальних досліджень впливу різних агресивних середовищ, в тому числі кислотних, на механічні властивості деревини, на нашу думку, найбільш розповсюдженими були дослідження міцності за стиску, розтягу та згину. Але результати дуже різняться. Експериментально-теоретичні дослідження інших механічних властивостей (відносних критичних, граничних та залишкових деформацій, початкового модуля пружності та модуля деформацій) та побудова дійсних діаграм деформування осьовим стиском вздовж волокон за таких умов фактично відсутні (за винятком впливу вологості на деревину).

1.3.5. Вплив агресивних середовищ на щільність деревини

Згідно діючих нормативних документів щільність деревини визначається за стандартної вологості [6, 14, 47, 52, 53, 86, 103, 116]. В науковій літературі знаходимо тільки дані про зміну щільності деревини за різної вологості [103, 116, 123, 125].

Але практично відсутні дані про зміну щільності деревини, яка просочена в інших агресивних середовищах, в тому числі і кислотних.

1.4. Загальні відомості про вплив молочної, оцтової та соляної кислот на фізико-механічні властивості деревини

На основі проведеного аналізу наявних літературних джерел наведемо відомі факти про вплив досліджуваних кислотних середовищ, зокрема, соляної, оцтової та молочної кислот на зміну фізико-механічних властивостей деревини [7, 14, 16, 35-38, 55, 59, 79, 81, 98, 104, 105, 111, 120, 122, 140, 144, 154].

Молочна кислота може мати незначний негативний вплив на деревину через свої кислотні властивості. Зниження рН поверхні деревини може призвести до дестабілізації молекулярної структури целюлози та лігніну, основних компонентів деревини. Це може призвести до зменшення міцності дерева та його здатності переносити навантаження. Також зниження рН може збільшити вразливість деревини до атаки гнильцевих організмів, таких як грибки та бактерії. Це також може призвести до прискореного розкладу деревини та зменшення її тривалості служби. Молочна кислота може спричинити зміну фізичних властивостей деревини, таких як текстура, кольоровий відтінок та ін. Це може вплинути на зовнішній вигляд і якість дерев'яних конструкцій. В деяких випадках, якщо волога з навколишнього середовища проникає в деревину, може відбутися гідроліз молочної кислоти, в результаті чого утворюються глюкоза та молекули води. Ця реакція може змінити хімічний склад дерева та вплинути на його властивості.

Узагалі, вплив молочної кислоти на деревину може бути і значним, особливо при довготривалому впливі або в умовах високої концентрації.

Оцтова кислота може мати негативний вплив на деревину через свої властивості. Контакт оцтової кислоти з поверхнею дерева може призвести до зниження рН, особливо якщо вона знаходиться у вологому середовищі. Зниження рН може руйнувати молекулярну структуру деревини, зменшуючи її міцність та стійкість. Оцтова кислота може спричинити розклад целюлози – головного компонента деревини. Це може призвести до зміни фізичних та механічних властивостей дерева, зниження міцності та здатності переносити навантаження. Взаємодія оцтової кислоти з лігніном – іншим компонентом деревини, може призвести до зміни кольору та вигляду деревини. Це може вплинути на її зовнішній вигляд. Зниження міцності та стійкості деревини може збільшити його вразливість до гнильцевих організмів, таких як грибки та бактерії. Це може сприяти прискореному розкладу дерева.

Соляна кислота, особливо високої концентрації, має більш агресивні хімічні властивості в порівнянні з молочною та оцтовою кислотами, які можуть спричинити серйозні пошкодження деревини. Соляна кислота розщеплюється на H^+ і Cl^- іони у водному розчині. Контакт з дерев'яною поверхнею може призвести до зниження рН, що знижує алкалічність дерева. Це може спричинити дестабілізацію молекулярної структури деревини, зокрема целюлози та лігніну. Соляна кислота може взаємодіяти з компонентами дерева, зокрема з целюлозою та лігніном, викликаючи хімічні реакції розщеплення. Це призводить до руйнування молекулярних зв'язків та втрати міцності деревини. Взаємодія соляної кислоти може призвести до зміни фізичних характеристик дерева, таких як кольоровий відтінок, текстура та здатність поглинати та утримувати вологу. Якщо в дерев'яних конструкціях використовуються металеві компоненти, наприклад, цвяхи або гвинти, то взаємодія соляної кислоти з ними може спричинити корозію та послаблення з'єднань.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ. ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ДЕРЕВИНИ ЗА СТАНДАРТНОЇ ВОЛОГОСТІ. ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ ЩІЛЬНОСТІ ТА СТРУКТУРИ ДЕРЕВИНИ ПІСЛЯ ДІЇ НА НЕЇ КИСЛОТНИХ СЕРЕДОВИЩ

2.1. Вибір матеріалу для випробувань. Особливості виготовлення дослідних зразків. Об'єм експериментальних досліджень

Для виконання поставленої мети та задач програмою експериментальних досліджень передбачено виготовлення серії зразків 1 сорту деревини у вигляді дослідних призм [41], що відповідають класу міцності С30 [46]. Зразки перерізом 30x30x120 мм виготовлялись в столярному цеху. Параметри дослідних призм показано на рис.2.1. Таким чином для проведення експериментальних досліджень вибрані деревина берези та сосни у віці 60 ± 5 років, які є найбільш поширеними серед листяних та хвойних порід.

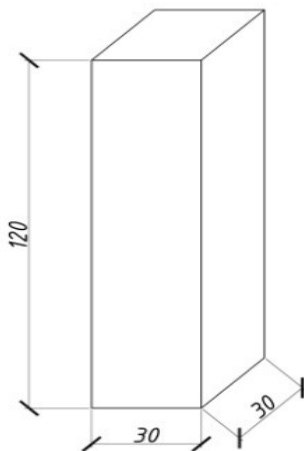


Рис.2.1. Параметри дослідних призм для проведення експериментальних досліджень

Кожна із отриманих призм (рис.2.2а, рис.2.2б), як і вимагається, була без видимих дефектів обробки та не мала сучків [41]. Зразки, які не відповідали даним вимогам, вибраковувались.

а)

б)



Рис. 2.2. Дослідні зразки деревини за стандартної вологості 12%: а) берези; б) сосни

Просочення дослідних зразків проводили наступними кислотами: соляною (15%), молочною (40%), оцтовою (9%). Отримані призми просочували природним шляхом на протязі відповідно 7, 14, 28 та 180 днів в лабораторних умовах за температури 18-20⁰С.

Проникнення рідин в товщу зразків виконували в посудинах в горизонтальному положенні при повному занурені в різні розчини (рис.2.3). При цьому забезпечувався доступ кожного розчину до всіх сторін досліджуваних зразків.



Рис. 2.3. Просочення дослідних зразків деревини у молочній (40%), соляній (15%) та оцтовій (9%) кислотах

Просочені призми деревини берези та сосни в соляній, оцтовій та молочній кислотах безпосередньо перед початком експериментальних досліджень показано на рис.2.4а, рис.2.4б, рис.2.4в, рис.2.4г, рис.2.4д, рис.2.4е.

Характеристики досліджуваних зразків наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1. Характеристики досліджуваних зразків

№ з/п	Порода деревини	Просочувальний розчин	Термін просочення, днів	Кількість зразків, шт.
1	Береза	-	-	3
2	Береза	Оцтова кислота (9%)	7, 14, 28, 180	12
3	Береза	Молочна кислота (40%)	7, 14, 28, 180	12
4	Береза	Соляна кислота (15%)	7, 14, 28, 180	12
5	Сосна	-	-	3
7	Сосна	Оцтова кислота (9%)	7, 14, 28, 180	12
8	Сосна	Молочна кислота (40%)	7, 14, 28, 180	12
6	Сосна	Соляна кислота (15%)	7, 14, 28, 180	12

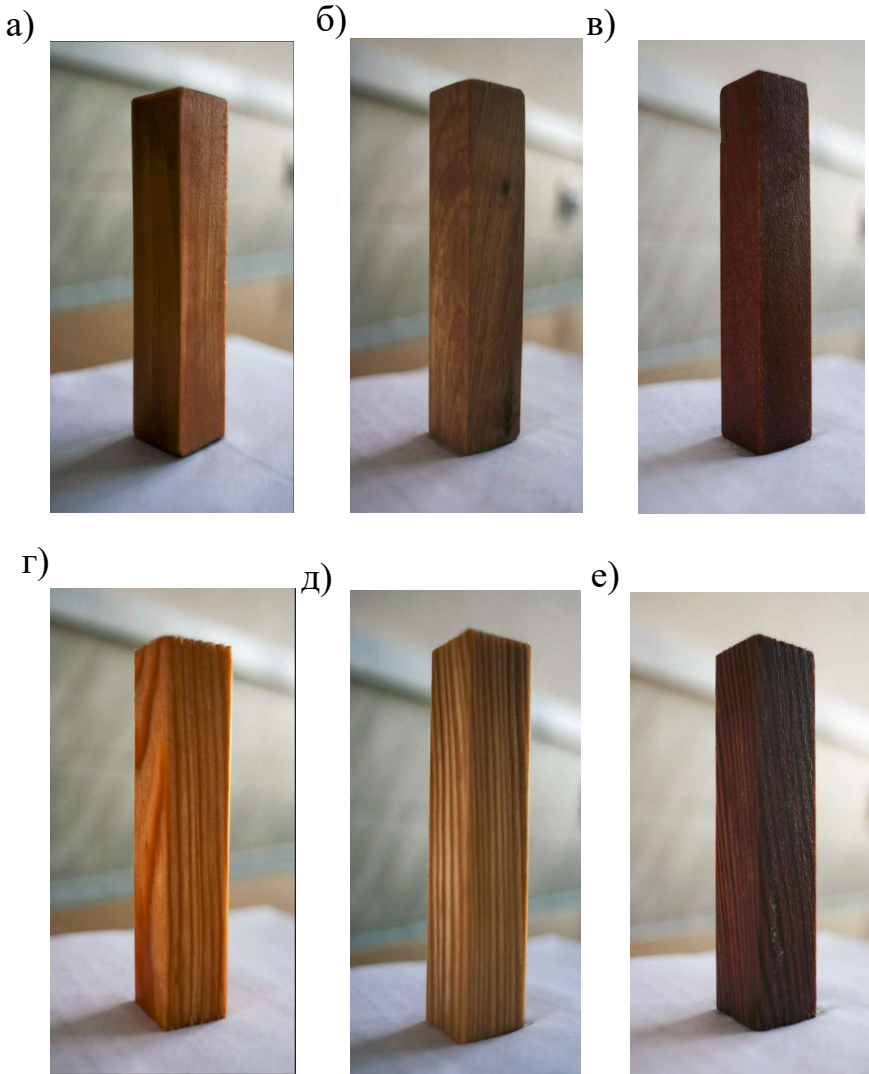


Рис. 2.4. Просочені зразки в різних кислотних середовищах (просочення 28 днів) безпосередньо перед початком експериментальних досліджень: а) берези в молочній кислоті; б) берези в оцтовій кислоті; в) берези в соляній кислоті; г) сосни в молочній кислоті; д) сосни в оцтовій кислоті; е) сосни в соляній кислоті

Загальна кількість виготовлених дослідних призм всіх досліджуваних просочених та непросочених порід деревини склала 78 шт.

2.2. Вибір кислотних середовищ

Вибір кислотних середовищ був зумовлений доступністю відповідних компонентів у роздрібній мережі супермаркетів і спеціалізованих магазинів, а також фактом безпосереднього впливу кислот на деталі, вироби, елементи й конструкції з деревини, що експлуатуються в подібних умовах.

Таким чином, для досліджень було обрано такі кислоти різної концентрації: оцтову (9%), молочну (40%) та соляну (15%).

Матеріали та вироби з деревини можуть працювати в зазначених агресивних кислотних середовищах, зокрема під дією молочної та оцтової кислот на підприємствах, де здійснюється їх виробництво та зберігання, а також на об'єктах молокопереробної промисловості, у їдальнях, кухнях тощо. Вплив соляної кислоти має місце під час її безпосереднього виробництва, а також при виготовленні інших продуктів, у технологічних процесах яких вона використовується, переважно на підприємствах хімічної промисловості, в автомайстернях та в інших сферах.

Наведемо окремі характеристики зазначених кислот [16].

Оцтова кислота [16, 59], відома як одноосновна карбонова кислота, є органічною сполукою з хімічною формулою CH_3COOH . Вона має важливе практичне значення та широко застосовується в різних галузях промисловості.

Основні характеристики оцтової кислоти:

а) фізичні властивості: оцтова кислота є безбарвною рідиною з різким характерним запахом, добре розчиняється у воді та етанолі;

б) хімічні властивості: належить до слабких кислот, здатних дисоціювати з утворенням іонів H^+ у водних розчинах, взаємодіє з лугами з утворенням продуктів нейтралізації;

в) утворення: може виникати внаслідок природних біологічних процесів (зокрема під час бродіння), а також у результаті хімічних реакцій окиснення етанолу або ацетальдегіду.

Молочна кислота є органічною сполукою з формулою $\text{CH}_3\text{--CH}(\text{OH})\text{--COOH}$ і відома також як одноосновна оксикарбонова оксипропіонова кислота. Вона відіграє важливу роль як хімічна сполука та є суттєвим компонентом багатьох біологічних процесів.

Основні характеристики молочної кислоти:

а) фізичні властивості: являє собою безбарвну або злегка жовтувату рідину з характерним кисломолочним запахом, добре розчинну у воді та етанолі;

б) хімічні властивості: належить до слабких кислот і здатна до дисоціації з утворенням іонів H^+ , проте менш активно, ніж сильні мінеральні кислоти, такі як сірчана або соляна;

в) утворення: формується в багатьох біологічних процесах, зокрема за участю молочнокислих бактерій у процесі ферментації цукрів; одним з основних шляхів її утворення є ферментація лактози – цукру, що міститься в молоці.

Соляна кислота (хлороводнева кислота) є хімічною сполукою з формулою HCl і належить до найпоширеніших та найважливіших мінеральних кислот.

Основні характеристики соляної кислоти:

а) фізичні властивості: соляна кислота – безбарвна рідина з різким запахом, що характеризується високою гігроскопічністю та утворенням парів, здатних подразнювати дихальні шляхи;

б) хімічні властивості: є сильною мінеральною кислотою, яка повністю дисоціює у водному середовищі з утворенням іонів H^+ і Cl^- , має низьке значення рН і високу агресивність, що зумовлює корозійне руйнування багатьох матеріалів;

в) утворення: утворюється в результаті хімічних реакцій за участю хлороводню та хлору; в промислових умовах її отримують шляхом взаємодії хлоридів з воднем або кисневодневим газом.

2.3. Обладнання для проведення експериментальних досліджень

Для проведення експериментів просочених та непросочених порід деревини берези та сосни за осьового стиску вздовж волокон короткочасним одноразовим навантаженням за жорсткого режиму була використана *сервогідролічна випробувальна машина СТМ-100* (рис.2.5) [19, 22, 34, 88-94, 117, 158]. Застосовується для встановлення механічних властивостей різноманітних матеріалів і виробів, в тому числі зразків з деревини. Максимальне навантаження до 100 кН.

Випробувальна машина характеризується значним ходом траверси та широким діапазоном робочих швидкостей, що забезпечує можливість випробування різноманітних деталей, матеріалів, виробів і конструкцій за умов стиску, розтягу та згину. Увесь комплекс експериментальних досліджень реалізується із застосуванням спеціалізованого програмного забезпечення.

Інструментарій програмного забезпечення містить стандартну бібліотеку методик випробувань, сформовану на основі чинних нормативних документів різних країн світу, зокрема України, країн Європейського Союзу, США, Канади та інших [41, 48, 49, 97, 110, 134]..

Випробувальна машина СТМ-100 має наступні характеристики [19, 22, 34, 88-94, 117, 158]:

- можливе максимальне навантаження 100 кН;
- діапазон допустимих вимірювань – 400 Н – 100 кН;
- клас точності тензодатчика – 0,5;
- діапазон вимірювання деформації зразка – від 2 до 100%;
- точність вимірювання деформації зразка - $\pm 0,2\%$;
- точність переміщення траверси випробувальної машини 0,015 мкм;
- повторюваність переміщення 1 мкм;
- діапазон швидкості переміщення траверси випробувальної машини 0,0005... 1000 мм/хв;



Рис.2.5. Випробувальна машина СТМ-100

- максимальне переміщення траверси випробувальної машини за осевого стиску 600 мм;
- максимальне переміщення траверси випробувальної машини за осевого розтягу 600 мм;
- напруга живлення 380 В.

Програмне забезпечення до випробувальної машини СТМ-100, яке було розроблене відповідно до існуючого стандарту ISO 68921:2009, дозволяє проводити експериментальні дослідження зразків відповідно до сучасних нормативів і стандартів різних країн світу [41, 48, 49, 97, 110, 134].

Програмне забезпечення, яким оснащена випробувальна машина, забезпечує побудову графіків випробувань і відображення всіх поточних параметрів на екрані комп'ютера в режимі реального часу безпосередньо під час проведення експерименту. Воно дозволяє виконувати автоматизовану обробку результатів експериментальних досліджень із подальшою можливістю їх друку, здійснювати експорт отриманих даних у програмні середовища EXCEL та WORD,

обирати методики випробувань зі стандартних бібліотек відповідно до чинних нормативних документів, а також забезпечує автоматичну зупинку випробувань у разі руйнування зразка або досягнення заздалегідь заданих умов.

Вологомір LASERLINER DampFinder Home (рис. 2.5) являє собою багатофункціональний електромагнітний прилад для визначення вологості матеріалів, який дає змогу вимірювати та обчислювати вміст води в деревині та багатьох інших будівельних матеріалах. Показники, що відображаються на дисплеї приладу, відповідають вологості матеріалу у відсотках відносно його сухої маси.

Перелік матеріалів, для яких передбачені режими вимірювання, наведено в таблицях інструкції з експлуатації приладу. Різні породи деревини згруповані за категоріями А та В, при цьому перед початком вимірювань необхідно встановити прилад у режим, що відповідає групі досліджуваної породи. Згідно з інструкцією, деревина берези та сосни належить до групи В. Діапазон вимірювань приладу є досить широким і становить від 5 до 95 %. Похибка вимірювань у межах вологості 5...30 % складає ± 1 %, а при значеннях понад 30 % – ± 2 %. Вимірювання виконуються за температури навколишнього середовища від 0 до 40 °С та відносної вологості повітря, що не перевищує 85 %.



Рис.2.5. Вологомір LASERLINER DampFinder Home (Німеччина)

Місце виміру має бути необробленим, на ньому не повинно бути сучків, забруднень або смоли. Виміри не слід проводити на

торцях, так як тут деревина висихає особливо швидко, а це може призвести до спотворення результатів вимірів. Необхідно виконати не менше трьох вимірів. Слід почекати, поки символ % не перестане блимати і не почне горіти постійно. Тільки після цього показання вимірів будуть правильними.

Для вимірювання ваги деревини в обробленому та необробленому стані використовувалися *вимірювальні ваги* фірми *Radwag (Польща)* з досить високою точністю 0,01г (рис.2.6).

Для встановлення розмірів зразків використовувалися *штангенциркуль та лінійка*.

Для дослідження структури деревини використовувався *стереоскопічний мікроскоп МБС-10* (рис.2.7). Мікроскоп МБС-10 призначений для спостереження як об'ємних предметів, так і тонких плівкових та прозорих об'єктів, а також препарувальних робіт.

Спостереження мікроскопом МБС-10 може проводитися як за штучного, так і за природного освітлення.



Рис.2.6. Вимірювальна вага фірми Radwag (Польща)



Рис.2.7. Мікроскоп МБС-10

Область застосування стереоскопічного мікроскопа МБС-10 досить різноманітна: ботаніка, біологія, медицина, мінералогія, археологія, машинобудування, приладобудування, матеріалознавство та інші галузі науки і техніки.

Технічні характеристики оптичного мікроскопа МБС-10 (рис.2.7):

- діапазон збільшення 4х-100х;
- лінійне поле зору в межах 39-2,4 мм;
- робоча відстань не менше 95 мм;
- джерело світла галогенна лампа 8В/20Вт;
- загальні габаритні розміри приладу 265х160х475 мм;
- маса до 8 кг.

Все обладнання для проведення експериментальних досліджень протароване та пройшло повірку у науково-

виробничих центрах стандартизації, метрології та сертифікації України у встановлені терміни згідно діючих стандартів.

2.4. Підготовка дослідних призм до випробувань. Методика експериментальних досліджень

Перед початком експериментальних досліджень кожного просоченого та непросоченого зразка з визначення міцнісних та деформівних параметрів в докритичній та закритичній стадіях роботи деревини в журнал випробувань та на монітор комп'ютера будуть записуватись наступні дані:

- порядковий номер зразка;
- порода деревини (просочена яким саме розчином та термін просочення або непросочена)
- наявний поперечний переріз та висота зразка-призми;
- масу зразка;
- день і час проведення випробувань;
- вологість та температуру в лабораторії.

Всі експериментальні дослідження проводилися на сучасній сервогідравлічній випробувальній машині СТМ-100 за жорсткого режиму прикладення навантажень (рис.2.4) [21, 23, 35, 103, 106, 148]. Дана машина має автоматизовану систему керування. Її технічні характеристики детально наведено в п.2.3.

Проведення експериментальних досліджень просочених та непросочених зразків деревини берези та сосни відбувалося за осьового стиску вздовж волокон одноразовим короткочасним навантаженням за жорсткого режиму прикладання навантаження в лабораторних умовах згідно діючих стандартів та нормативних документів [43-45, 47-52, 54].

До початку випробувань кожна з призм була відцентрована спочатку за геометричними, а згодом і за фізичними осями на плиті випробувальної машини СТМ-100.

Навантаження зразків здійснювалося та контролювалося безпосередньо за допомогою комп'ютера та встановленого на ньому програмного забезпечення.

Спочатку були випробувані зразки деревини берези та сосни за стандартної вологості 12%, а згодом і просочені. Призми з деревини були згруповані за терміном просочення 7, 14, 28 та 180 днів. Швидкість деформування зразків була прийнята 1,5 мм/хв. Всі випробування досліджуваних призм проводилися з контролем приросту переміщення плити випробувальної машини. До початку проведення кожного експерименту проводилося вимірювання перерізу та висоти зразків, оскільки в процесі просочення деревини відбувається збільшення її об'єму.

На рис.2.8 показано дослідні зразки деревини берези та сосни просочені соляною кислотою (15%) на протязі 7 днів, які знаходяться в робочому положенні перед початком випробувань.

За результатами експериментальних досліджень побудовані повні діаграми деформування деревини «напруження-відносні деформації» під впливом різних кислотних середовищ за осьового стиску уздовж волокон короткочасним навантаженням та визначені основні міцнісні та деформівні параметри в докритичній та закритичній стадіях роботи матеріалу.

а)



б)



Рис. 2.8. Дослідні зразки деревини просочені соляною кислотою (15%), які знаходяться в робочому положенні перед початком випробувань з терміном просочення 7 днів: а) берези; б) сосни

Окрім основних механічних властивостей деревини досліджувались і деякі фізичні, зокрема, зміна її щільності, структури, кольору внаслідок просочення в запропонованих кислотних середовищах за різного терміну просочення.

Методика експериментальних досліджень зміни щільності, структури та кольору досліджуваних порід деревини під дією кислотних середовищ буде описано в п.2.6, п.2.7 даного розділу.

2.5. Дослідження механічних властивостей конструкційної деревини стандартної вологості 12% за жорсткого режиму випробувань

2.5.1. Аналіз дійсних діаграм деформування конструкційної деревини берези та сосни за стандартної вологості 12%

На основі проведеного експерименту та обробки результатів досліджень було побудовано усереднені дійсні діаграми деформування «напруження σ_c – відносні деформації u_c » деревини берези та сосни стандартної вологості 12% за осьового стиску вздовж волокон одноразовим короткочасним навантаженням (рис.2.9).

Аналіз усереднених дійсних діаграм «напруження σ_c – відносні деформації u_c » деревини берези та сосни за стандартної вологості 12% (рис.1.13) проводився за пропозиціями [34, 92] для чотирьох ділянок.

Отже, на кінець I ділянки були зафіксовані наступні показники відносних деформацій для деревини берези $u_{c1} = 0,00063$, сосни – $u_{c1} = 0,00057$; напруження для берези $\sigma_{c1} = 9,2$ МПа, для сосни – $\sigma_{c1} = 8,6$ МПа.

На II ділянці (верхня точка діаграми) відносні критичні деформації значно зростають для берези до відмітки $u_{c,0,d} = 0,00521$, сосни – $u_{c,0,d} = 0,00491$; тимчасова гранична міцність зафіксована для берези на відмітці $f_{c,0,d} = 47,6$ МПа, сосни – $f_{c,0,d} = 44,2$ МПа.

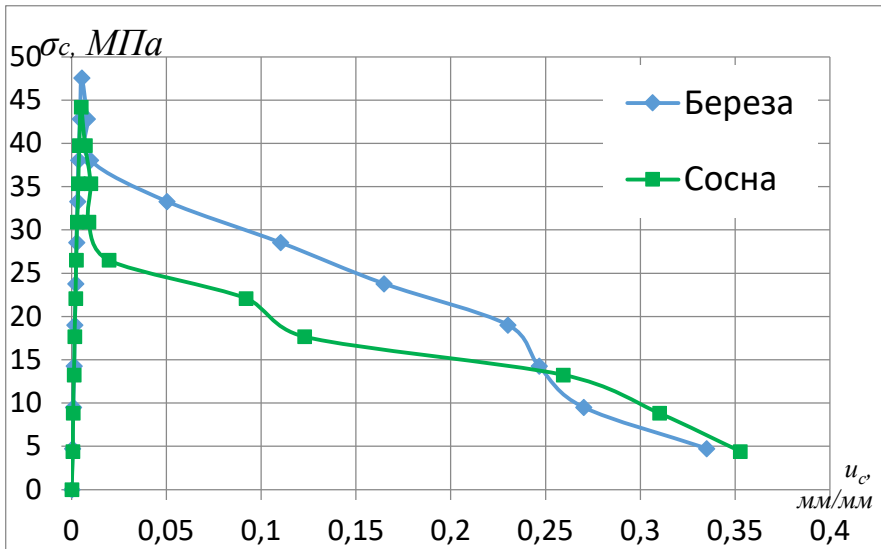


Рис.2.9. Усереднені дійсні діаграми «напруження σ_c – відносні деформації u_c » деревини берези та сосни за стандартної вологості 12%

Граничні деформації деревини знаходяться на спадній вітці діаграми деформування (рис.1.13) (кінець III ділянки). Експериментальним шляхом такі значення встановити практично неможливо. Тому граничні деформації деревини берези та сосни стандартної вологості 12% визначимо за пропозиціями [34] (залежності (2.1) та (2.2)):

– для деревини берези

$$u_{c,u} = 1,48 \cdot u_{c,o,d} = 1,48 \cdot 0,00521 = 0,00771; \quad (2.1)$$

– для деревини сосни

$$u_{c,u} = 1,38 \cdot u_{c,o,d} = 1,38 \cdot 0,00491 = 0,00678; \quad (2.2)$$

Таким чином, усереднене значення граничних деформацій для деревини берези становить $u_{c,u} = 0,00771$ за відповідних напружень $\sigma_{c,u} = 43,2$ МПа для деревини сосни – $u_{c,u} = 0,00678$ за відповідних напружень $\sigma_{c,u} = 40,7$ МПа (кінець III ділянки).

Залишкові відносні деформації (кінець IV ділянки) були на наступних відмітках для берези $u_{c,fin} = 0,3349$ за напружень $\sigma_{c,fin} = 4,8$ МПа, для сосни – $u_{c,fin} = 0,3526$ за напружень $\sigma_{c,fin} = 4,4$ МПа.

Апроксимацію отриманих діаграм деформування «напруження σ_c – відносні деформації u_c » деревини берези та сосни за стандартної вологості 12% (рис.2.9) можна виконувати за пропозиціями [34, 158] за допомогою полінома 4-го степеня – формула (1.1).

2.5.2. Визначення початкового модуля пружності та модуля деформації деревини за стандартної вологості 12%

Згідно пропозицій [21, 34, 71, 90, 117] модуль деформації (січний) конструкційної деревини листяних та хвойних порід за стандартної вологості можливо встановити за наступною формулою

$$E' = E_o(1 \pm \lambda_{f_{c,o,d}}\eta), \quad (2.3)$$

де E_o – початковий модуль пружності деревини;

$\lambda_{f_{c,o,d}}$ – коефіцієнт пластичності деревини за осьового стиску уздовж волокон;

η – рівень напружень в деревині.

Згідно проведених експериментальних досліджень та використовуючи залежність (2.3) були побудовані усереднені діаграми «модуль деформації E' – рівень напружень η » конструкційної деревини берези та сосни за стандартної вологості 12 % (рис. 2.10) .

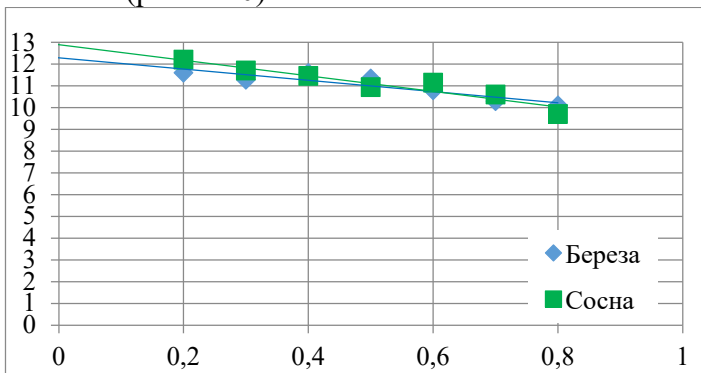


Рис.2.10. Усереднені діаграми «модуль деформації E' – рівень напружень η » берези та сосни за стандартної вологості 12%

Основні параметри і статистики кореляційних рівнянь регресії « $E' - \eta$ » деревини берези та сосни наведено в табл.2.2.

Таблиця 2.2. Основні параметри і статистики кореляційних рівнянь регресії « $E' - \eta$ » деревини берези та сосни

Матеріал зразка	Кореляційне рівняння	r	m_r	$\frac{r}{m_r}$	$V, \%$
Береза	$E' = 12,292 \cdot (1 - 0,213 \cdot \eta)$	0,917	0,060	15	2,0
Сосна	$E' = 12,893 \cdot (1 - 0,282 \cdot \eta)$	0,954	0,034	28	3,1

Отже, початковий модуль пружності за стандартної вологості 12% згідно рис.2.10 та табл.2.2: для деревини берези становить $E_0 = 12300$ МПа, а для деревини сосни – $E_0 = 12900$ МПа.

2.6. Дослідження зміни щільності деревини під впливом кислотних середовищ

Згідно діючих нормативних документів щільність деревини визначається за формулою (2.4) згідно [47]

$$\rho_d = \frac{m_d}{V_d}, \quad (2.4)$$

де m_d – маса зразка;

V_d – об'єм зразка.

Для визначення щільності деревини використовувались ті ж просочені і непросочені дерев'яні призми, що і для натурних випробувань. Даний показник досліджуваних порід деревини знаходили для непросочених зразків за стандартної вологості 12% та для просочених після 1 год, 3 год, 7 год, 1 дня, 3 днів, 7 днів, 14 днів, 21 дня, 28 днів та 180 днів знаходження в різних кислотних середовищах. Призми після просочення 1 год, 3 год, 7 год, 1 день, 3 дні зважували і назад опускали в рідину, а після просочення 7 днів, 14 днів, 21 день, 28 днів та 180 днів зважували безпосередньо перед початком натурних випробувань з дослідження механічних характеристик деревини.

Отже, для знаходження даного показника необхідно визначити масу зразка за допомогою вимірювальних ваг (рис.2.6), встановити його об'єм та за формулою (2.4) безпосередньо визначити його щільність. Щільність знаходилась за середніми показниками 3-х зразків.

На основі проведеного експерименту було отримано дані про зміну щільності деревини за різного терміну просочення та без (табл.2.3), а також побудовані графіки зміни щільності деревини берези та сосни під дією оцтової (рис.2.11), молочної (рис.2.12) та соляної (рис.2.13) кислот за таких умов експлуатації.

Просочення оцтовою кислотою (9%) (рис.2.11, табл.2.3). Щільність деревини сосни за першу годину просочення оцтовою кислотою збільшилась на 9,6% в порівнянні з початковою та досягла позначки $\rho = 599,2 \text{ кг/м}^3$, а деревини берези – на 11,0% та становить $\rho = 693,4 \text{ кг/м}^3$.

Таблиця 2.3. Зміна щільності деревини під впливом кислотних середовищ

Час просочення	Оцтова кислота		Молочна кислота		Соляна кислота	
	Сосна	Береза	Сосна	Береза	Сосна	Береза
	Щільність, кг/м ³	Щільність, кг/м ³	Щільність, кг/м ³	Щільність, кг/м ³	Щільність, кг/м ³	Щільність, кг/м ³
0	546,8	624,5	546,8	624,5	546,8	624,5
1 год	599,2	693,4	597,1	703,8	580,7	697,6
3 год	607,2	713,4	611,8	727,5	582,8	708,8
7 год	613,4	733,4	622,2	747,5	586,1	718,8
1 доба	639,5	788,2	645,7	792,5	598,2	743,8
3 доби	671,9	861,3	672,5	846,2	623,9	796,8
7 діб	706,9	917,4	702,0	903,0	805,4	1007,3
14 діб	748,1	964,7	731,0	967,3	861,1	1072,2
21 доба	779,2	992,9	750,7	1016,7	875,9	1120,3
28 діб	814,2	1020,6	772,6	1071,0	892,3	1161,6
180 діб	847,4	1044,3	780,9	1119,8	912,6	1186,5

За 3 години просочення щільність деревини сосни зросла на 11,0% від початкової та становить при цьому $\rho = 607,2 \text{ кг/м}^3$, а берези – на 14,2% ($\rho = 713,4 \text{ кг/м}^3$).

За 7 годин щільність деревини сосни продовжувала зростати до позначки $\rho=613,4 \text{ кг/м}^3$, що на 12,2% більше за початкову; в той же час щільність деревини берези також збільшилась до відмітки $\rho = 733,4 \text{ кг/м}^3$, що на 17,4% більше.

За 1 день щільність деревини сосни збільшилася на 17,0% від початкової та досягла позначки $\rho = 639,5 \text{ кг/м}^3$, а деревини берези – на 26,2% і становить $\rho=788,2 \text{ кг/м}^3$.

За 3 дні просочення щільність деревини сосни зросла на 22,7% від початкової та становить при цьому $\rho = 671,9 \text{ кг/м}^3$, а берези – на 37,9% ($\rho=861,3 \text{ кг/м}^3$).

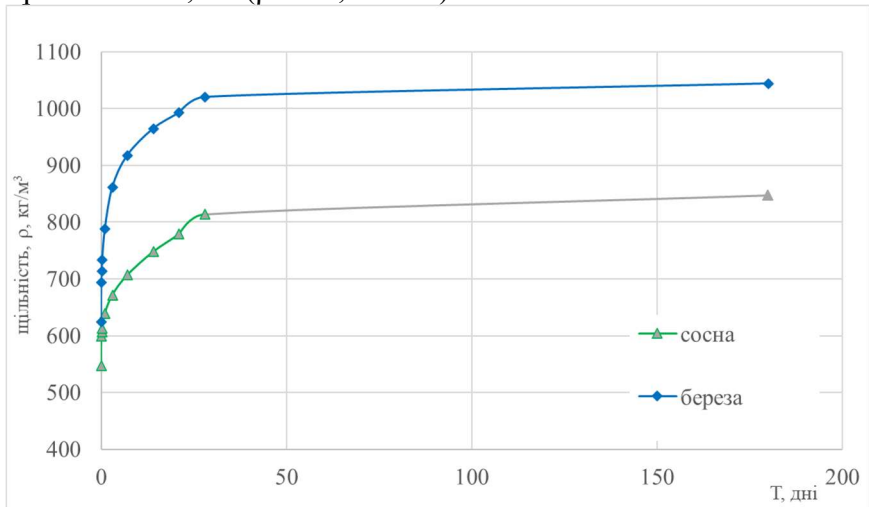


Рис. 2.11. Діаграми зміни щільності деревини сосни та берези під дією оцтової кислоти (9%)

За 7 днів щільність деревини сосни продовжувала зростати до позначки $\rho=706,9 \text{ кг/м}^3$, що на 29,3% більше за початкову; в той же час щільність деревини берези також збільшилась до відмітки $\rho = 917,4 \text{ кг/м}^3$, що на 46,9% більше.

За 14 днів щільність деревини сосни збільшилася на 36,8% від початкової та досягла позначки $\rho = 748,1 \text{ кг/м}^3$, а деревини берези – на 54,5% ($\rho = 964,7 \text{ кг/м}^3$).

За 21 день просочення щільність деревини сосни зросла на 42,5% від початкової та становить при цьому $\rho = 779,2 \text{ кг/м}^3$, а берези – на 59,0% ($\rho = 992,9 \text{ кг/м}^3$).

За 28 днів щільність деревини сосни продовжувала зростати до позначки $\rho = 814,2 \text{ кг/м}^3$, що на 48,9% більше за початкову; в той же час щільність деревини берези також збільшилась до відмітки $\rho = 1020,6 \text{ кг/м}^3$, що на 63,4% більше.

Отже, внаслідок впливу оцтової кислоти (9%) за 180 днів просочення щільність сосни збільшилася на 55,0% ($\rho = 847,4 \text{ кг/м}^3$), а щільність берези на 67,2% ($\rho = 1044,3 \text{ кг/м}^3$).

Просочення молочною кислотою (40%) (рис.2.12, табл.2.3). Щільність деревини сосни за першу годину просочення молочною кислотою збільшилась на 9,2% в порівнянні з початковою та досягла позначки $\rho = 597,1 \text{ кг/м}^3$, а деревини берези – на 12,7% та становить $\rho = 703,8 \text{ кг/м}^3$.

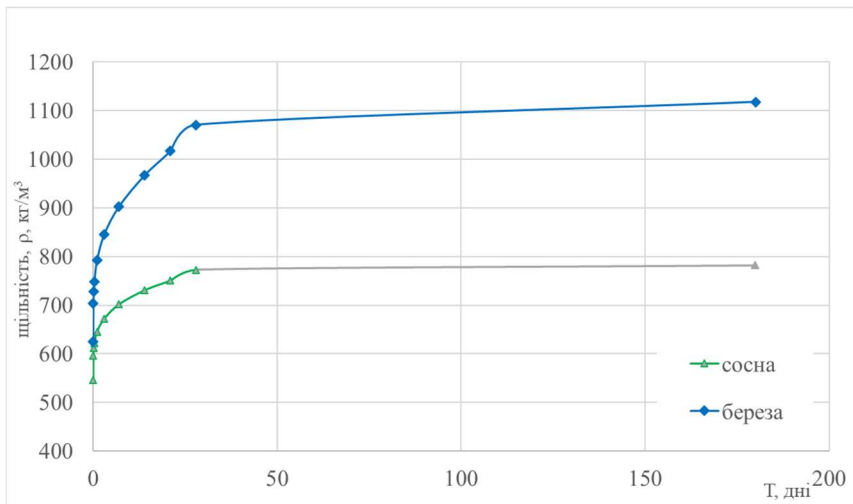


Рис. 2.12. Діаграми зміни щільності деревини сосни та берези під дією молочної кислоти (40%)

За 3 години просочення щільність деревини сосни зросла на 11,9% від початкової та становить при цьому $\rho = 611,8 \text{ кг/м}^3$, а берези – на 16,5% ($\rho=727,5 \text{ кг/м}^3$).

За 7 годин щільність деревини сосни продовжувала зростати до позначки $\rho=622,2 \text{ кг/м}^3$, що на 13,8% більше за початкову; в той же час щільність деревини берези також збільшилась до відмітки $\rho = 747,5 \text{ кг/м}^3$, що на 19,7% більше.

За 1 день щільність деревини сосни збільшилася на 18,1% від початкової та досягла позначки $\rho = 645,7 \text{ кг/м}^3$, а деревини берези – на 26,9% і становить $\rho=792,5 \text{ кг/м}^3$.

За 3 дні просочення щільність деревини сосни зросла на 23,0% від початкової та становить при цьому $\rho = 672,5 \text{ кг/м}^3$, а берези – на 35,5% ($\rho=846,2 \text{ кг/м}^3$).

За 7 днів щільність деревини сосни продовжувала зростати до позначки $\rho=702,0 \text{ кг/м}^3$, що на 28,4% більше за початкову; в той же час щільність деревини берези також збільшилась до відмітки $\rho = 903,0 \text{ кг/м}^3$, що на 44,6% більше.

За 14 днів щільність деревини сосни збільшилася на 33,7% від початкової та досягла позначки $\rho = 731,0 \text{ кг/м}^3$, а деревини берези – на 54,9% і становить $\rho=967,3 \text{ кг/м}^3$.

За 21 день просочення щільність деревини сосни зросла на 37,3% від початкової та становить при цьому $\rho = 750,7 \text{ кг/м}^3$, а берези – на 62,8% ($\rho=1016,7 \text{ кг/м}^3$).

За 28 днів щільність деревини сосни продовжувала зростати до позначки $\rho=772,6 \text{ кг/м}^3$, що на 41,3% більше за початкову; в той же час щільність деревини берези також збільшилась до відмітки $\rho = 1071,0 \text{ кг/м}^3$, що на 71,5% більше.

Отже, внаслідок впливу молочної кислоти (40%) за 180 днів просочення щільність деревини сосни збільшилася на 42,8% ($\rho = 780,9 \text{ кг/м}^3$), а щільність деревини берези – на 79,3% ($\rho = 1119,8 \text{ кг/м}^3$).

Просочення соляною кислотою (15%) (рис.2.13, табл.2.3). Щільність деревини сосни за першу годину просочення соляною кислотою збільшилась на 6,2% в порівнянні з початковою та досягла позначки $\rho = 580,7 \text{ кг/м}^3$, а деревини берези – на 11,7% та становить $\rho = 697,6 \text{ кг/м}^3$.

За 3 години просочення щільність сосни зросла на 6,6% від початкової та становить при цьому $\rho = 582,8 \text{ кг/м}^3$, а берези – на 13,5% ($\rho = 708,8 \text{ кг/м}^3$).

За 7 годин щільність деревини сосни продовжувала зростати до позначки $\rho = 586,1 \text{ кг/м}^3$, що на 7,2% більше за початкову; в той же час щільність деревини берези також збільшилась до відмітки $\rho = 718,8 \text{ кг/м}^3$, що на 15,1% більше.

За 1 день щільність деревини сосни збільшилася на 9,5% від початкової та досягла позначки $\rho = 598,2 \text{ кг/м}^3$, а деревини берези – на 19,1% і становить $\rho = 743,8 \text{ кг/м}^3$.

За 3 дні просочення щільність деревини сосни зросла на 14,1% від початкової та становить при цьому $\rho = 623,9 \text{ кг/м}^3$, а берези – на 27,6% ($\rho = 796,8 \text{ кг/м}^3$).

В період з 3 по 7 день просочення відбувається різке зростання щільності деревини сосни на 47,3% від початкової та досягає позначки $\rho = 805,4 \text{ кг/м}^3$, а берези – на 61,3% і становить $\rho = 1007,3 \text{ кг/м}^3$.

Після цього темпи зростання щільності для обох зразків деревини знову сповільнюються. На 14 день просочення щільність зразків деревини незначно зросла для сосни на 57,5% від початкової ($\rho = 861,1 \text{ кг/м}^3$) та для берези – на 71,7% ($\rho = 1072,2 \text{ кг/м}^3$).

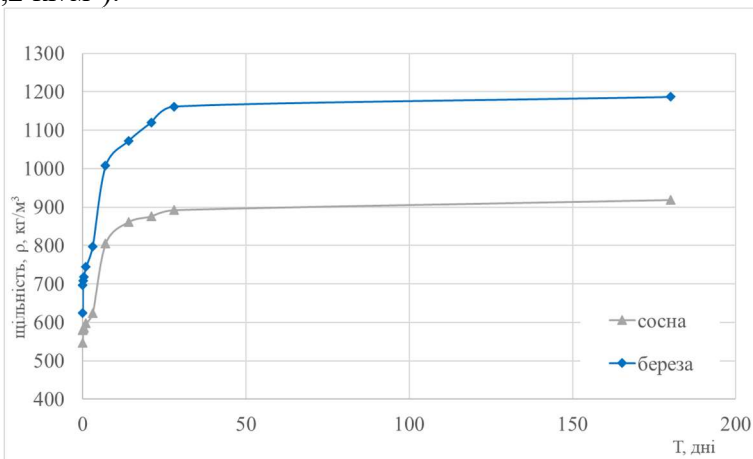


Рис. 2.13. Діаграми зміни щільності деревини сосни та берези під дією соляної кислоти (15%)

За 21 день просочення щільність деревини сосни зросла на 60,2% від початкової та становить при цьому $\rho = 875,9 \text{ кг/м}^3$, а берези – на 79,4% ($\rho=1120,3 \text{ кг/м}^3$).

За 28 днів щільність деревини сосни продовжувала зростати до позначки $\rho=892,3 \text{ кг/м}^3$, що на 63,2% більше за початкову; в той же час щільність деревини берези також збільшилась до відмітки $\rho = 1161,6 \text{ кг/м}^3$, що на 86,0% більше.

Отже, внаслідок впливу *соляної кислоти (15 %)* за 180 днів просочення щільність деревини сосни збільшилась на 66,9% ($\rho = 912,6 \text{ кг/м}^3$), а берези – на 89,2% ($\rho = 1181,5 \text{ кг/м}^3$).

Аналізуючи рис.2.11, рис.2.12, рис.2.13в та табл.2.3, можна зробити висновок, що вплив кислотного середовища значно збільшує щільність деревини берези та сосни. Це свідчить про те, що деревина під дією кислотних середовищ вбирає вологу та збільшується в масі та об'ємі. Проте ці зміни у різних кислотних середовищах відбуваються дещо відмінно.

Таким чином, щільність деревини внаслідок просочення різними кислотами постійно зростає, але значне зростання спостерігається лише протягом 28 днів просочення деревини. Протягом наступних п'яти місяців щільність зразків просочених порід деревини сосни та берези збільшилась лише в межах від 1,5% до 7,8%. Це пояснюється тим, що за перший місяць просочення деревина практично повністю насичується вологою, і надалі майже її не поглинає.

2.7. Дослідження зміни структури та кольору деревини під впливом кислотних середовищ

Під час тривалої дії кислотних середовищ у деревині відбуваються певні зміни, зокрема на мікроструктурному рівні, що безпосередньо позначається на її фізико-механічних властивостях [7, 36].

З метою вивчення трансформацій мікроструктури деревини під впливом кислотних середовищ було проведено дослідження зразків деревини сосни та берези за дії соляної, оцтової та молочної кислот.

Призматичні зразки деревини сосни й берези перерізом 30×30×120 мм занурювалися у розчини соляної (15%), оцтової (9%) та молочної (40%) кислот на термін 28 діб [2]. Після завершення експозиції висушені зразки піддавалися мікроскопічному аналізу. Досліджувалися як зміни на поверхні призм, так і структурні перетворення у внутрішніх шарах матеріалу, для чого зразки розпилювали вздовж по середині.

Мікроструктурні дослідження виконувалися з використанням стереоскопічного мікроскопа МБС-10 (рис. 2.7).

На першому етапі під мікроскопом аналізувалися вихідні зразки деревини сосни та берези зі стандартною вологістю 12% (рис. 2.14а, рис. 2.14б).

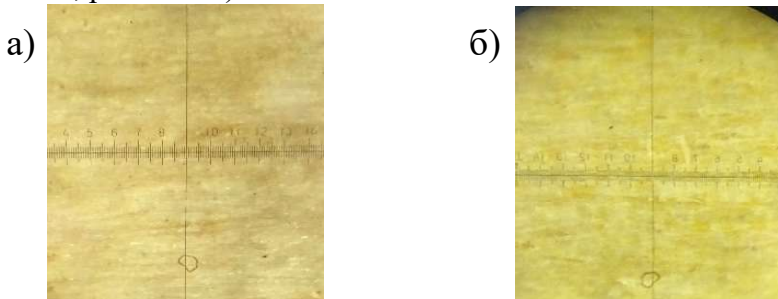


Рис.2.14. Поверхня вихідних зразків деревини під мікроскопом без просочення за стандартної вологості 12%: а) сосни; б) берези

Після цього досліджувалися просочені кислотами зразки на поверхні та всередині призм. В результаті досліджень нами отримано зображення зразків деревини сосни та берези на поверхні та всередині призм просочених розчинами соляної (15%), молочної (40%) та оцтової (9%) кислот протягом 28 днів (рис.2.15а, рис.2.15б, рис.2.15в, рис.2.16а, рис.2.16б, рис.2.16в, рис.2.17а, рис.2.17б, рис.2.17в, рис.2.18а, рис.2.18б, рис.2.18в).

На отриманих зображеннях чітко простежуються зміни, що відбулися як на поверхні, так і у внутрішній частині призм порівняно з вихідними зразками. Насамперед це стосується зміни забарвлення деревини внаслідок процесу просочення. Такі трансформації тією чи іншою мірою спостерігаються як на зовнішній поверхні, так і в середині досліджуваних зразків.

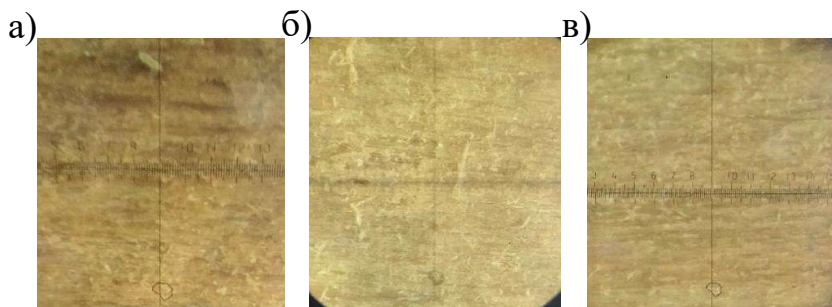


Рис. 2.15. Зовнішня поверхня зразків деревини сосни під мікроскопом з терміном просочення 28 днів: а) соляною кислотою (15%); б) молочною кислотою (40%); в) оцтовою кислотою (9%)

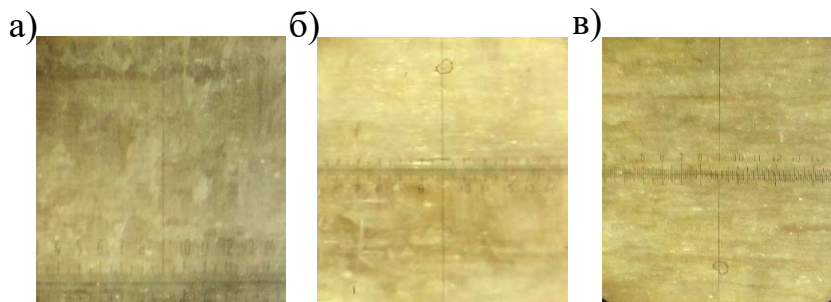


Рис. 2.16. Внутрішня поверхня зразків сосни під мікроскопом з терміном просочення 28 днів: а) соляною кислотою (15%); б) молочною кислотою (40%); в) оцтовою кислотою (9%)

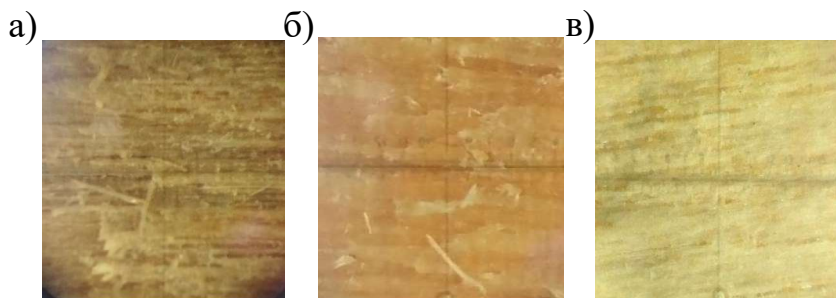


Рис. 2.17. Зовнішня поверхня зразків деревини берези під мікроскопом з терміном просочення 28 днів: а) соляною кислотою (15%); б) молочною кислотою (40%); в) оцтовою кислотою (9%)

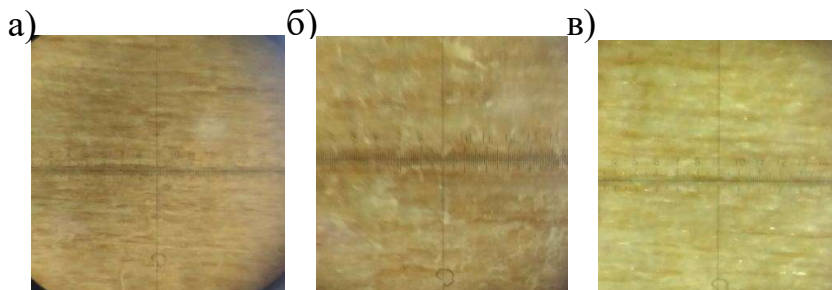


Рис. 2.18. Внутрішня поверхня зразків деревини берези під мікроскопом з терміном просочення 28 днів: а) соляною кислотою (15%); б) молочною кислотою (40%); в) оцтовою кислотою (9%)

Найбільш виражені зміни зафіксовано після просочення зразків деревини соляною кислотою: матеріал набув темного забарвлення з наявністю дрібних полігональних включень світлішого відтінку, що особливо чітко проявляється у зразках берези. Внутрішня поверхня досліджуваних призм також потемніла, проте менш інтенсивно, і при цьому світлі включення в ній практично відсутні. Зміна кольору деревини під впливом соляної кислоти пояснюється тим, що вона належить до неорганічних кислот і характеризується досить значною агресивністю щодо деревини. Проникаючи в її структуру, соляна кислота спричиняє набухання целюлозних волокон, утворення в них розривів і перетворення целюлози на пухку гідроцелюлозу з формуванням певної кількості цукрів. У результаті дії соляної кислоти целюлоза частково розчиняється. Менш виражені зміни у внутрішніх шарах деревини зумовлені швидкістю проникнення кислотного розчину в глибину зразків, яка, своєю чергою, залежить від концентрації соляної кислоти.

Дія молочної та оцтової кислот, що належать до органічних, переважно обмежується розчиненням окремої частини деревини без істотної хімічної перебудови її структури і супроводжується лише незначним гідролізом целюлозної складової. Зміни кольору деревини внаслідок просочення молочною та оцтовою кислотами є значно менш помітними порівняно з дією соляної кислоти.

Зовнішня поверхня зразків сосни після обробки молочною та оцтовою кислотами дещо потемніла з приблизно однаковою інтенсивністю, при цьому внутрішня поверхня змінила забарвлення аналогічним чином. Це пояснюється близькою швидкістю просочення деревини сосни зазначеними кислотами.

Для зразків берези характер змін забарвлення після просочення молочною та оцтовою кислотами відрізнявся. Так, зразок, оброблений молочною кислотою, набув світло-коричневого відтінку з незначним жирним блиском і дрібними полігональними включеннями світлішого кольору, тоді як зразок, просочений оцтовою кислотою, став більш тьмяним. Внутрішня поверхня зразка берези після дії молочної кислоти також набула світло-коричневого забарвлення, однак без блиску та світлих включень. Внутрішня поверхня зразка берези, обробленого оцтовою кислотою, характеризується тьмяним кольором, близьким до забарвлення зовнішньої поверхні.

РОЗДІЛ 3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЗМІНИ МІЦНІСНИХ І ДЕФОРМІВНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦІЙНОЇ ДЕРЕВИНИ ПІСЛЯ ДІЇ НА НЕЇ КИСЛОТНИХ СЕРЕДОВИЩ В ДОКРИТИЧНІЙ І ЗАКРИТИЧНІЙ СТАДІЯХ РОБОТИ

3.1. Аналіз дійсних діаграм деформування «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » конструкційної деревини після дії на неї кислотних середовищ з різним терміном просочення

В даному розділі проаналізуємо роботу конструкційної деревини берези та сосни осьовим стиском вздовж волокон одноразовим короткочасним навантаженням за жорсткого режиму випробувань після дії кислотних середовищ з різним терміном просочення.

Аналіз проводився за усередненими значеннями.

Аналіз усереднених дійсних діаграм «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » деревини берези та сосни просочених в кислотних середовищах проводили за пропозиціями [34, 92] для чотирьох ділянок (рис.1.13) та отримані результати порівнювали з результатами експериментальних досліджень призм, які випробувані за стандартної вологості 12% в підпункті 2.5.1 розділу 2. В даному розділі аналізуватиметься I, II та IV ділянки (рис.1.13), а III ділянка – в розділі 4.

Таким чином буде аналізуватися робота деревини у віці 60 років після дії оцтової кислоти концентрацією 9%, молочної – 40%, соляної – 15% з терміном просочення 7, 14, 28 та 180 днів.

3.1.1. Після дії оцтової кислоти

На основі проведеного експерименту отримано дійсні діаграми деформування деревини берези та сосни «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » після дії оцтової кислоти з терміном просочення відповідно 7, 14, 28 та 180 днів (рис.3.1., рис.3.2, рис.3.3, рис.3.4).

Просочення терміном 7 днів (рис.3.1). За просочення оцтовою кислотою на протязі 7 днів відносні деформації деревини берези в кінці I ділянки досягли значення $u_{c1,agr}=0,00071$ (зросли в 1,13 рази в порівнянні з призмами за стандартної вологості 12%); деревини сосни $u_{c1,agr}=0,00061$ (зросли в 1,07 рази). При цьому напруження зразків берези зменшилися в 1,11 рази ($\sigma_{c1,agr}= 8,3$ МПа), а сосни – в 1,1 рази ($\sigma_{c1,agr}= 7,8$ МПа).

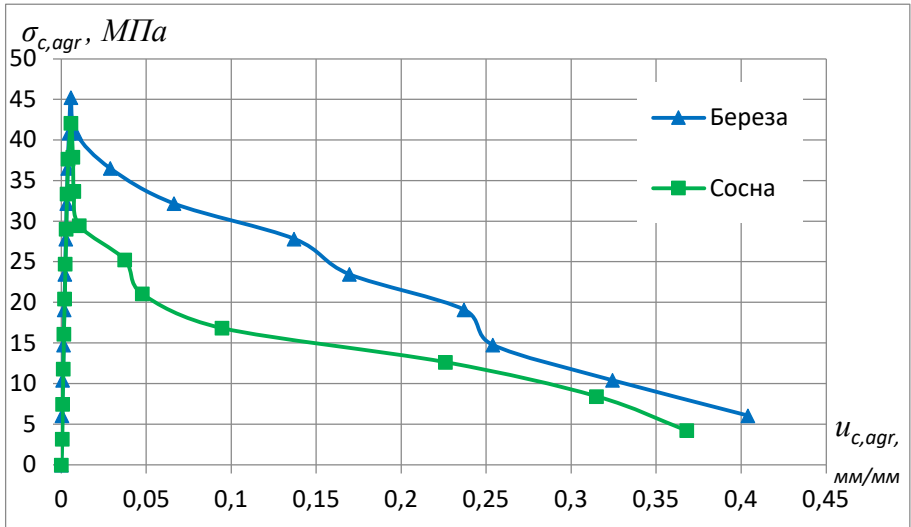


Рис.3.1. Дійсні діаграми «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » берези та сосни після дії оцтової кислоти (9 %) з терміном просочення 7 днів

На II ділянці (вершина діаграми) відносні критичні деформації призм берези збільшилися в 1,09 рази ($u_{c,0,d,agr} = 0,00568$), а при цьому максимальні напруження навпаки зменшилися в 1,05 рази ($f_{c,0,d,agr} = 45,2$ МПа). Відносні критичні деформації сосни аналогічно зросли в 1,14 рази ($u_{c,0,d,agr} = 0,00559$), максимальні напруження впали з такою ж інтенсивністю ($f_{c,0,d,agr} = 42,1$ МПа).

Залишкові відносні деформації деревини берези (кінець IV ділянки) були зафіксовані на відмітці $u_{c,fin,agr} = 0,4046$ (зросли в 1,21 рази), а сосни – $u_{c,fin,agr}=0,3681$ (зросли в 1,04 рази).

Просочення терміном 14 днів (рис.3.2). На кінець I ділянки відносні деформації зразків деревини берези досягли значення $u_{c1,agr} = 0,00076$, що в 1,21 рази більше від призми за стандартної вологості 12%, в той же час відносні деформації призми деревини сосни збільшились в 1,18 рази до позначки $u_{c1,agr}=0,00067$. Напруження деревини берези зафіксовані на відмітці $\sigma_{c1,agr} = 7,4$ МПа (зменшились в 1,24 рази), а сосни до $\sigma_{c1,agr} = 6,7$ МПа (в 1,28 рази).

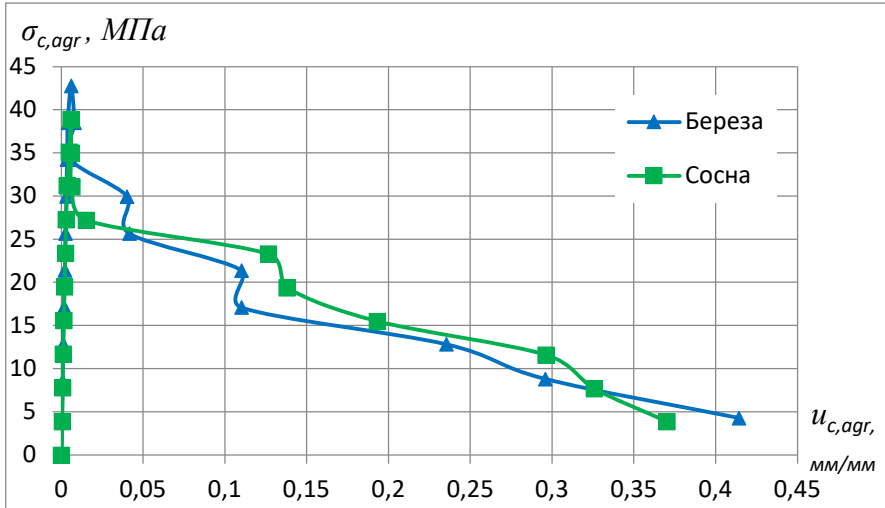


Рис.3.2. Дійсні діаграми «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » берези та сосни після дії оцтової кислоти (9 %) з терміном просочення 14 днів

Критичні відносні деформації деревини берези (кінець II ділянки) збільшилися в 1,13 рази ($u_{c,0,d,agr} = 0,00589$), а сосни – в 1,18 рази ($u_{c,0,d,agr} = 0,00578$). Тимчасова гранична міцність деревини зменшується, зокрема, для зразків берези в 1,17 рази ($f_{c,0,d,agr} = 40,8$ МПа), сосни в 1,07 рази ($f_{c,0,d,agr} = 41,3$ МПа).

В кінці IV ділянки зафіксовані наступні показники залишкових деформацій деревини берези $u_{c,fin,agr} = 0,4142$ (зросли в 1,24 рази), а сосни незначно збільшились $u_{c,fin,agr} = 0,3703$ (зросли в 1,05 рази).

Просочення терміном 28 днів (рис.3.3). На кінець I ділянки відносні деформації обох порід деревини берези і сосни збільшились, зокрема, берези досягли відмітки $u_{c1,agr} = 0,00072$ (в 1,14 рази) , сосни – $u_{c1,agr} = 0,00064$ (в 1,12 рази) в порівнянні з призмами, які випробувані за стандартної вологості 12%. Напруження призм деревини берези зменшились в 1,16 рази ($\sigma_{c1,agr} = 7,9$ МПа), а сосни – в 1,13 рази ($\sigma_{c1,agr} = 7,6$ МПа).

В кінці II ділянки відносні критичні деформації призм деревини берези зросли до відмітки $u_{c,0,d,agr} = 0,00597$ (в 1,15 рази), а сосни – до $u_{c,0,d,agr} = 0,00582$ (в 1,19 рази). При цьому максимальні напруження зразків берези зменшились в 1,25 рази ($f_{c,0,d,agr} = 38,1$ МПа); сосни – в 1,28 рази ($f_{c,0,d,agr} = 34,5$ МПа).

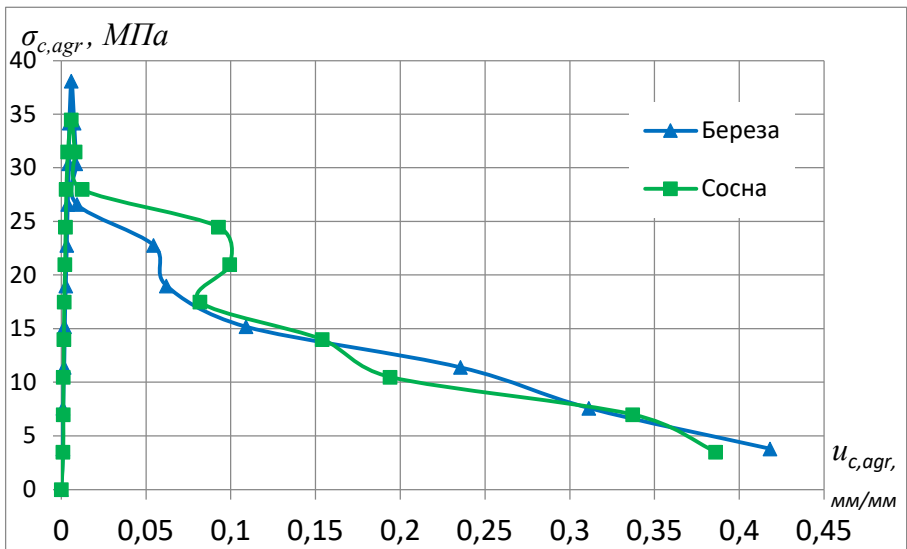


Рис.3.3. Дійсні діаграми «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » берези та сосни після дії оцтової кислоти (9 %) з терміном просочення 28 днів

На кінець IV ділянки відносні залишкові деформації деревини берези досягли значення $u_{c,fin,agr} = 0,4180$ (зросли в 1,25 рази), сосни $u_{c,fin,agr} = 0,3867$ (зросли в 1,27 рази).

Просочення терміном 180 днів (рис.3.4). На кінець I ділянки відносні деформації обох деревини берези незначно збільшились, зокрема, берези досягли відмітки $u_{c1,agr} = 0,00073$, а сосни фактично залишились на тих же позначках – $u_{c1,agr} = 0,00064$ в порівнянні з призмами, які випробувані з терміном просочення 28 днів під дією оцтової кислоти. Напруження призм деревини берези незначно зменшились $\sigma_{c1,agr} = 7,8$ МПа, а сосни – $\sigma_{c1,agr} = 7,4$ МПа.

В кінці II ділянки відносні критичні деформації призм деревини берези зросли до відмітки $u_{c,0,d,agr} = 0,00606$ (в 1,16 рази) в порівнянні зі зразками за стандартної вологості 12%, а сосни – до $u_{c,0,d,agr} = 0,00584$ (в 1,19 рази). При цьому максимальні напруження зразків берези зменшились в 1,33 рази ($f_{c,0,d,agr} = 35,7$ МПа); сосни – в 1,30 рази ($f_{c,0,d,agr} = 34,0$ МПа).

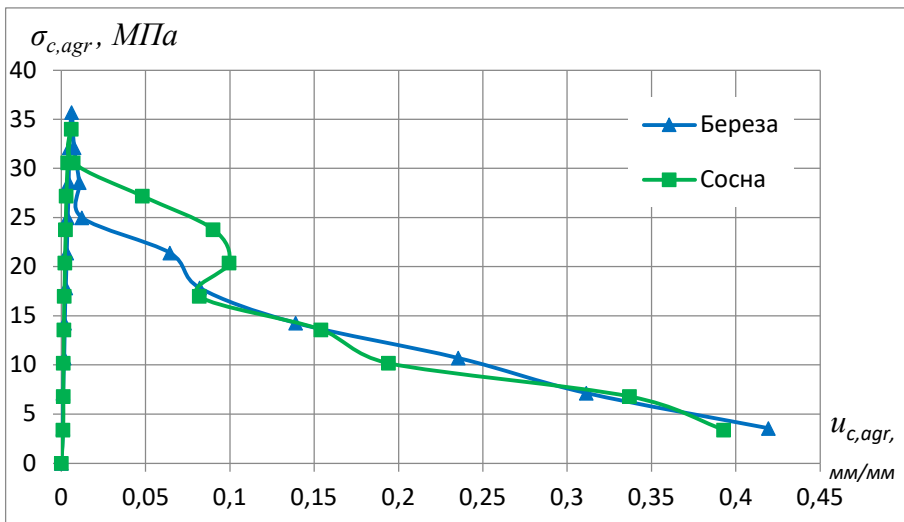


Рис.3.4. Дійсні діаграми «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » берези та сосни після дії оцтової кислоти (9%) з терміном просочення 180 днів

На кінець IV ділянки відносні залишкові деформації деревини берези досягли значення $u_{c,fin,agr} = 0,4193$ (зросли в 1,25 рази), сосни – $u_{c,fin,agr} = 0,3928$ (зросли в 1,11 рази).

3.1.2. Після дії молочної кислоти

На основі результатів проведених експериментальних досліджень зразків деревини берези та сосни на стиск уздовж волокон після дії молочної кислоти з терміном просочення 7, 14, 28 та 180 днів отримано дійсні діаграми деформування «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » (рис.3.5, рис.3.6, рис.3.7, рис.3.8).

Просочення терміном 7 днів (рис.3.5). На I ділянці для призм деревини берези були зафіксовані наступні усереднені показники відносних деформацій на рівні $u_{c1,agr} = 0,00074$ і вони зростають в 1,17 рази в порівнянні зі зразками без просочення (за стандартної вологості 12%); для деревини сосни $u_{c1,agr} = 0,00062$ зростають в 1,09 рази. Напруження на цій же ділянці деревини берези були $\sigma_{c1,agr} = 8,8$ МПа (зменшилися в 1,05 рази), а деревини сосни залишилися практично незмінними $\sigma_{c1,agr} = 8,5$ МПа.

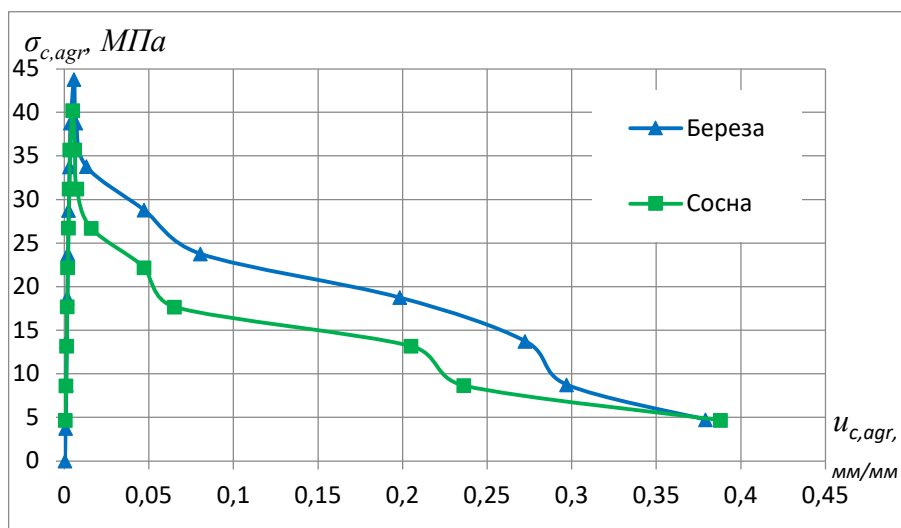


Рис.3.5. Дійсні діаграми «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » берези та сосни після дії молочної кислоти (40%) з терміном просочення 7 днів

На II ділянці за цього ж терміну просочення для деревини берези критичні відносні деформації збільшились в 1,10 рази

($u_{c,0,d,agr} = 0,00572$), а для сосни – практично не змінилися ($u_{c,0,d,agr} = 0,00493$). Максимальні напруження дещо зменшились відповідно для берези в 1,09 рази ($f_{c,0,d} = 43,8$ МПа), а для сосни – в 1,10 рази ($f_{c,0,d} = 40,2$ МПа).

На IV ділянці залишкові відносні деформації для деревини берези досягли позначки $u_{c,fin,agr} = 0,3796$ (збільшились в 1,13 рази), для сосни – $u_{c,fin,agr} = 0,3859$ (збільшились в 1,09 рази).

Просочення терміном 14 днів (рис.3.6). В кінці I ділянки усереднені відносні деформації призм берези мали значення $u_{c1,agr} = 0,00077$ (збільшились в 1,22 рази в порівнянні з непросоченими зразками), а сосни – зросли в 1,16 рази та були зафіксовані на позначці $u_{c1,agr} = 0,00066$. При цьому напруження зразків берези в кінці I ділянки впали в 1,12 рази ($\sigma_{c1,agr} = 8,2$ МПа), сосни – в 1,10 рази до рівня $\sigma_{c1,agr} = 7,8$ МПа.

Відносні критичні деформації деревини берези (вершина діаграми, кінець II ділянки) збільшились в 1,12 рази до позначки $u_{c,0,d,agr} = 0,00584$; сосни – в 1,08 рази ($u_{c,0,d,agr} = 0,00531$). Максимальні напруження продовжували зменшуватись, зокрема, для деревини берези в 1,25 рази ($f_{c,0,d} = 37,0$ МПа); для деревини сосни в 1,27 рази ($f_{c,0,d} = 34,7$ МПа).

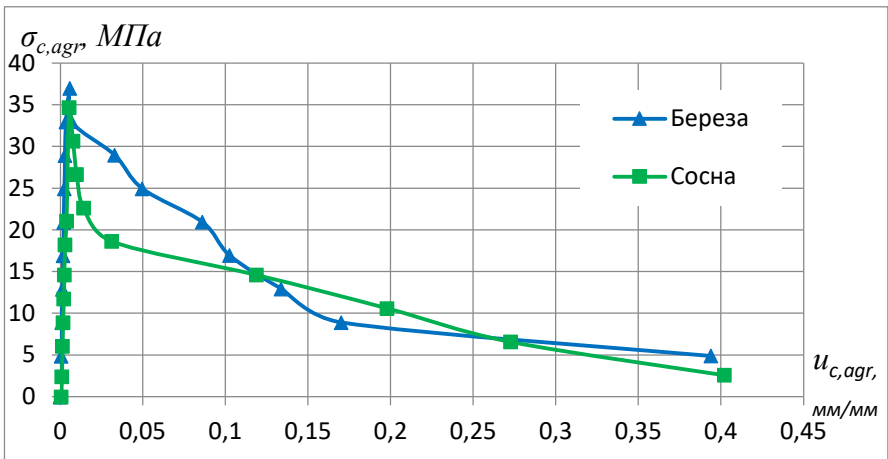


Рис.3.6. Дійсні діаграми «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » берези та сосни після дії молочної кислоти (40%) з терміном просочення 14 днів

В кінці IV ділянки спостерігалось для обох порід подальше збільшення залишкових відносних деформацій призм деревини берези до значення $u_{c,fin,agr} = 0,3940$ (в 1,17 рази); сосни – $u_{c,fin,agr} = 0,4025$ (в 1,14 рази).

Просочення терміном 28 днів (рис.3.7). За такого терміну просочення відносні деформації в кінці I ділянки зросли в порівнянні зі зразками, які досліджувалися за стандартної вологості 12%, для деревини берези до рівня $u_{c1,agr} = 0,00079$ (в 1,25 рази); сосни $u_{c1,agr} = 0,00068$ (в 1,19 рази). Напруження також продовжили зменшуватися для призм деревини берези до позначки $\sigma_{c1,agr} = 7,8$ МПа (в 1,18 рази), а сосни – $\sigma_{c1,agr} = 7,6$ МПа (в 1,13 рази).

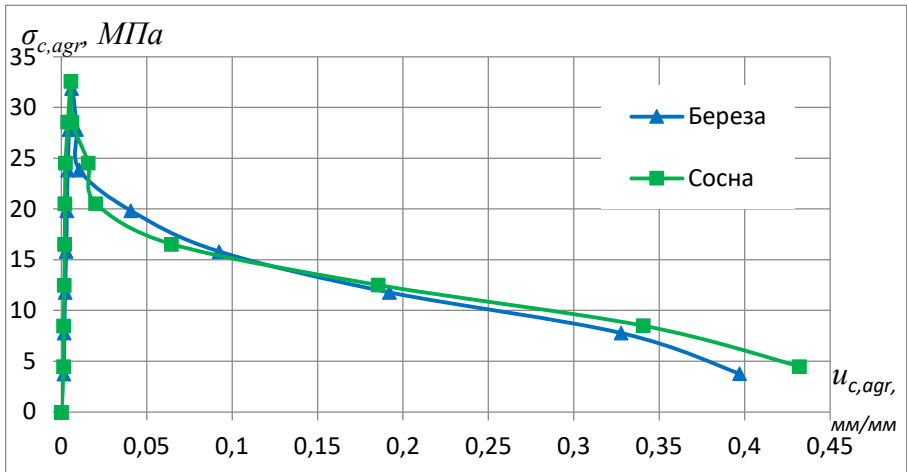


Рис.3.7. Дійсні діаграми «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » берези та сосни після дії молочної кислоти (40%) з терміном просочення 28 днів

На кінець II ділянки відносні критичні деформації зразків деревини берези збільшилися в 1,17 рази до значення $u_{c,0,d,agr} = 0,00611$, а сосни – в 1,14 рази до $u_{c,0,d,agr} = 0,00558$. Тимчасова гранична міцність деревини берези зафіксована на позначці $f_{c,0,d} = 31,9$ МПа (впала в 1,49 рази), сосни – $f_{c,0,d} = 32,6$ МПа (в 1,36 рази).

Залишкові відносні деформації деревини берези (кінець IV ділянки) продовжували зростати до відмітки $u_{c,fin,agr} = 0,3972$ (в 1,19 рази); сосни – $u_{c,fin,agr} = 0,4237$ (в 1,20 рази).

Просочення терміном 180 днів (рис.3.8). За такого терміну просочення відносні деформації в кінці I ділянки незначно зросли в порівнянні зі зразками, які просочені молочною кислотою на протязі 28 днів, для деревини берези до рівня $u_{c1,agr} = 0,00080$; сосни – $u_{c1,agr} = 0,00069$. Напруження також продовжили незначно падати для призм деревини берези до позначки $\sigma_{c1,agr} = 8,0$ МПа, а сосни – $\sigma_{c1,agr} = 7,7$ МПа.

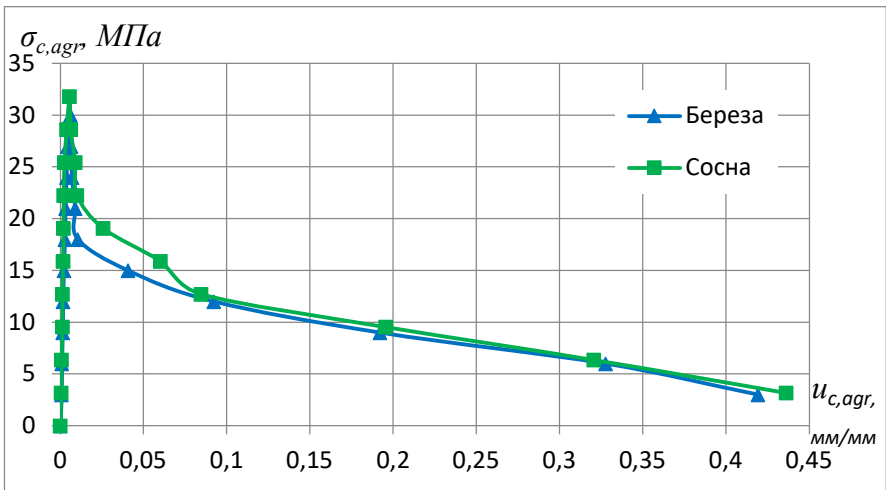


Рис.3.8. Дійсні діаграми «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » берези та сосни після дії молочної кислоти (40%) з терміном просочення 180 днів

На кінець II ділянки відносні критичні деформації зразків деревини берези збільшилися в 1,19 рази до значення $u_{c,0,d,agr} = 0,00620$ в порівнянні із непросоченими зразками за стандартної вологості 12%, а сосни – в 1,15 рази до $u_{c,0,d,agr} = 0,00564$. Тимчасова гранична міцність деревини берези зафіксована на позначці $f_{c,0,d} = 30,0$ МПа (впала в 1,59 рази), сосни – $f_{c,0,d} = 31,8$ МПа (в 1,39 рази).

Залишкові відносні деформації деревини берези (кінець IV ділянки) збільшилися до відмітки $u_{c,fin,agr} = 0,3972$ (в 1,20 рази); сосни – $u_{c,fin,agr} = 0,4237$ (в 1,24 рази).

3.1.3. Після дії соляної кислоти

За результатами експерименту побудовано дійсні діаграми деформування деревини берези та сосни «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » від початку завантаження і до руйнування під дією соляної кислоти з різним терміном просочення зразків (рис.3.9, рис.3.10, рис.3.11, рис.3.12).

Просочення терміном 7 днів (рис.3.9). В кінці I ділянки було отримано наступні показники відносних деформацій, зокрема, для деревини берези $u_{c1,agr} = 0,00070$ і вони зростають в 1,11 рази в порівнянні зі зразками без просочення (за стандартної вологості 12%); для деревини сосни $u_{c1,agr} = 0,00065$ зростають в 1,14 рази. Напруження при цьому зменшується для берези в 1,08 рази ($\sigma_{c1,agr} = 8,5$ МПа), а для сосни – в 1,05 рази ($\sigma_{c1,agr} = 8,2$ МПа).

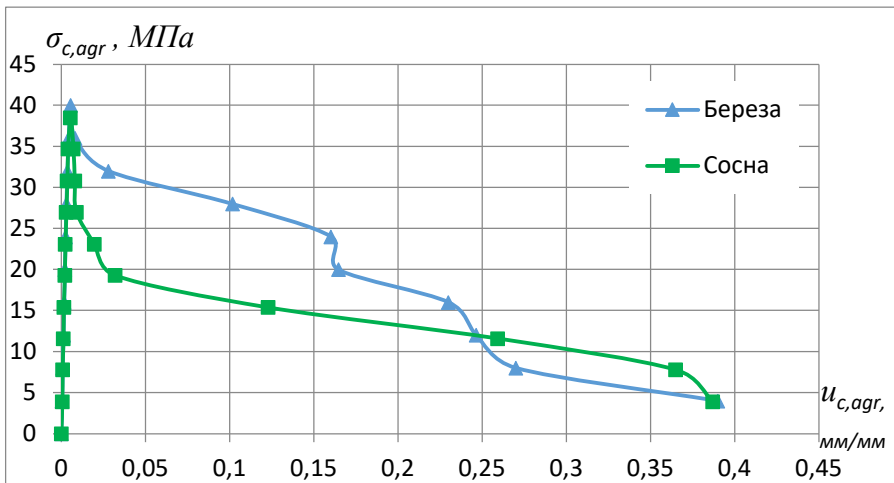


Рис. 3.9. Дійсні діаграми «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » берези та сосни після дії соляної кислоти (15%) з терміном просочення 7 днів

На II ділянці тенденція залишилася такою ж, тільки з іншими показниками. Отже, критичні відносні деформації деревини берези були зафіксовані на позначці $u_{c,0,d,agr} = 0,00551$, що в 1,06 рази більше; сосни – $u_{c,0,d,agr} = 0,00540$, що в 1,1 рази більше. Тимчасова гранична міцність деревини берези була $f_{c,0,d,agr} = 40,1$ МПа (впала в 1,19 рази), а сосни – $f_{c,0,d,agr} = 38,5$ МПа (в 1,15 рази).

На кінець IV ділянки спостерігалось зменшення залишкових відносних деформацій, зокрема, деревини берези в 1,17 рази ($u_{c,fin,agr} = 0,3903$), сосни – в 1,1 рази ($u_{c,fin,agr} = 0,3870$).

Просочення терміном 14 днів (рис.3.10). На I ділянці відносні деформації деревини берези зазнали певних змін, отже, збільшились в 1,20 рази в порівнянні з непросоченими зразками до позначки $u_{c1,agr} = 0,00076$; для деревини сосни – в 1,28 рази до $u_{c1,agr} = 0,00073$. Напруження для деревини берези були зафіксовані $\sigma_{c1,agr} = 8,0$ МПа (зменшились в 1,15 рази), а для сосни – $\sigma_{c1,agr} = 7,1$ МПа (в 1,21 рази).

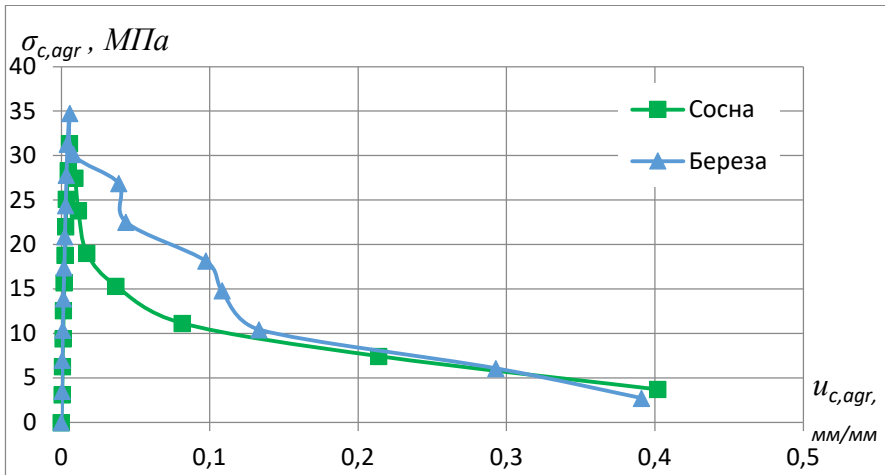


Рис. 3.10. Дійсні діаграми «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » берези та сосни після дії соляної кислоти (15%) з терміном просочення 14 днів

В кінці II ділянки критичні деформації зразків берези ще збільшилися в 1,09 рази до позначки $u_{c,0,d,agr} = 0,00569$; сосни – в 1,14 рази до $u_{c,0,d,agr} = 0,00561$. Максимальні напруження призм деревини берези досягли $f_{c,0,d,agr} = 34,8$ МПа (зменшилися в 1,37 рази), а сосни $f_{c,0,d,agr} = 31,4$ МПа (зменшилися в 1,41 рази).

Залишкові відносні деформації зросли для деревини берези в 1,17 рази ($u_{c,fin,agr} = 0,3916$), а для сосни збільшилися в 1,14 рази ($u_{c,fin,agr} = 0,4023$) (кінець IV ділянки).

Просочення терміном 28 днів (рис.3.11). На кінець I ділянки відносні критичні деформації деревини берези збільшилися в порівнянні з призмами випробуваними за стандартної вологості 12% до значення $u_{cl,agr} = 0,00078$ (зросли в 1,24 рази), для деревини сосни також зросли до $u_{cl,agr} = 0,00074$ (зросли в 1,30 рази). Напруження зразків берези були зафіксовані на позначці $\sigma_{cl,agr} = 7,7$ МПа (зменшилися в 1,19 рази), а сосни – $\sigma_{cl,agr} = 6,7$ МПа (впали в 1,28 рази).

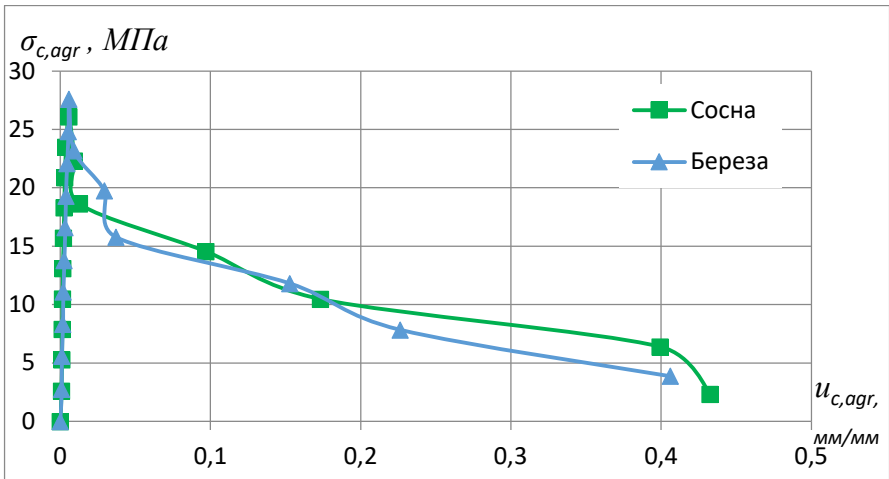


Рис.3.11. Дійсні діаграми «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » берези та сосни після дії соляної кислоти (15%) з терміном просочення 28 днів

В кінці II ділянки відносні критичні деформації деревини призм берези продовжували збільшуватись до відмітки $u_{c,0,d,agr} =$

0,00581 (зросли в 1,12 рази), в той же час зразки сосни також збільшилися до $u_{c,0,d,agr} = 0,00574$ (зросли в 1,17 рази). Тимчасова гранична міцність деревини берези значно зменшилась та досягли значень $f_{c,0,d,agr} = 27,4$ МПа (зменшились в 1,74 рази), а сосни – $f_{c,0,d,agr} = 26,1$ МПа (в 1,69 рази).

На IV ділянці спостерігалось збільшення залишкових відносних деформацій для обох порід деревини, зокрема, для зразків берези зафіксовано на позначці $u_{c,fin,agr} = 0,4068$ (зросли в 1,21 рази), в той же час для сосни – $u_{c,fin,agr} = 0,4325$ (в 1,23 рази).

Просочення терміном 180 днів (рис.3.12). На кінець I ділянки відносні критичні деформації деревини берези незначно збільшилися в порівнянні з просоченням терміном 28 днів до значення $u_{c1,agr} = 0,00079$, приблизно в тому ж діапазоні зафіксовано зростання для деревини сосни до $u_{c1,agr} = 0,00076$. Напруження зразків берези були зафіксовані на позначці $\sigma_{c1,agr} = 7,8$ МПа, а сосни – $\sigma_{c1,agr} = 6,8$ МПа.

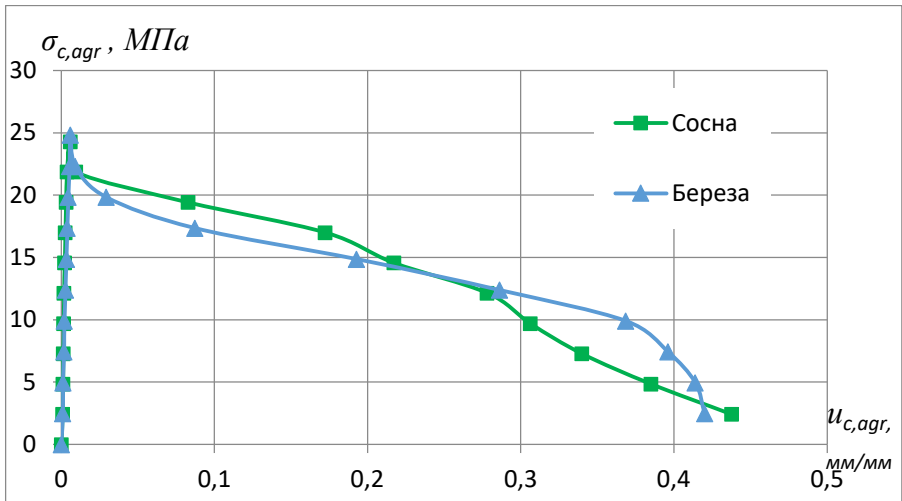


Рис.3.12. Дійсні діаграми «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » берези та сосни після дії соляної кислоти (15%) з терміном просочення 180 днів

В кінці II ділянки відносні критичні деформації деревини призм берези продовжували збільшуватись до відмітки $u_{c,0,d,agr} = 0,00594$ (зросли в 1,14 рази) в порівнянні з непросоченими призмами, в той же час зразки сосни також збільшились до $u_{c,0,d,agr} = 0,00578$ (зросли в 1,18 рази). Тимчасова гранична міцність деревини берези зменшилась та досягла значень $f_{c,0,d,agr} = 24,8$ МПа (зменшились в 1,92 рази), а сосни $f_{c,0,d,agr} = 24,3$ МПа (в 1,82 рази).

На IV ділянці спостерігалось збільшення залишкових відносних деформацій для обох порід деревини, зокрема, для зразків берези зафіксовано на позначці $u_{c,fin,agr} = 0,4200$ (зросли в 1,25 рази), в той же час для сосни $u_{c,fin,agr} = 0,4325$ (в 1,23 рази).

3.2. Тимчасова гранична міцність конструкційної деревини після дії на неї кислотних середовищ з різним терміном просочення

За результатами проведених експериментальних досліджень та їх детальної обробки і аналізу встановлено тимчасову граничну міцність конструкційної деревини берези та сосни (верхня точка діаграм деформування «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ ») (рис.3.1 – рис.3.12) після дії кислотних середовищ з різним терміном просочення (табл.3.1).

Також наведемо зміну тимчасової граничної міцності деревини за таких умов експлуатації в залежності від терміну просочення після дії органічних та неорганічних кислотних середовищ в порівнянні з непросоченими зразками за стандартної вологості 12% $f_{c,o,d,agr}/f_{c,o,d}$ (табл.3.2).

За результатами проведеного експерименту було побудовано графіки зміни тимчасової граничної міцності конструкційної деревини від терміну просочення « $f_{c,o,d,agr} - T$ » після дії оцтової (9%) (рис.3.13а), молочної (40%) (рис.3.13б) та соляної кислот (15%) (рис.3.13в).

Таблиця 3.1. Тимчасова гранична міцність деревини після дії на неї кислотних середовищ з різним терміном просочення

№ з/п	Порода деревини	Тимчасова гранична міцність деревини, МПа				
		Просочення, дні				
		Непросочена	7	14	28	180
Оцтова кислота CH_3COOH (9%)						
1	Береза	47,6	45,2	40,8	38,1	35,7
2	Сосна	44,2	42,1	41,3	34,5	34,0
Молочна кислота $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ (40%)						
1	Береза	47,6	43,8	37,0	31,9	30,0
2	Сосна	44,2	40,2	34,7	32,6	31,8
Соляна кислота HCl (15%)						
1	Береза	47,6	40,1	34,8	27,4	24,8
2	Сосна	44,2	38,5	31,4	26,1	24,3

Таблиця 3.2. Зміна тимчасової граничної міцності деревини після дії кислотних середовищ

№ з/п	Порода деревини	Зміна граничної міцності деревини, $f_{c,o,d,agr}/f_{c,o,d}$				
		Просочення, дні				
		Непросочена	7	14	28	180
Оцтова кислота CH_3COOH (9%)						
1	Береза	47,6	0,95	0,85	0,80	0,75
2	Сосна	44,2	0,95	0,93	0,78	0,77
Молочна кислота $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_3$ (40%)						
1	Береза	47,6	0,92	0,77	0,67	0,63
2	Сосна	44,2	0,91	0,78	0,74	0,72
Соляна кислота HCl (15%)						
1	Береза	47,6	0,84	0,73	0,58	0,52
2	Сосна	44,2	0,87	0,71	0,59	0,55

За допомогою функції полінома 4-го степеня встановлено теоретичні залежності зміни тимчасової граничної міцності

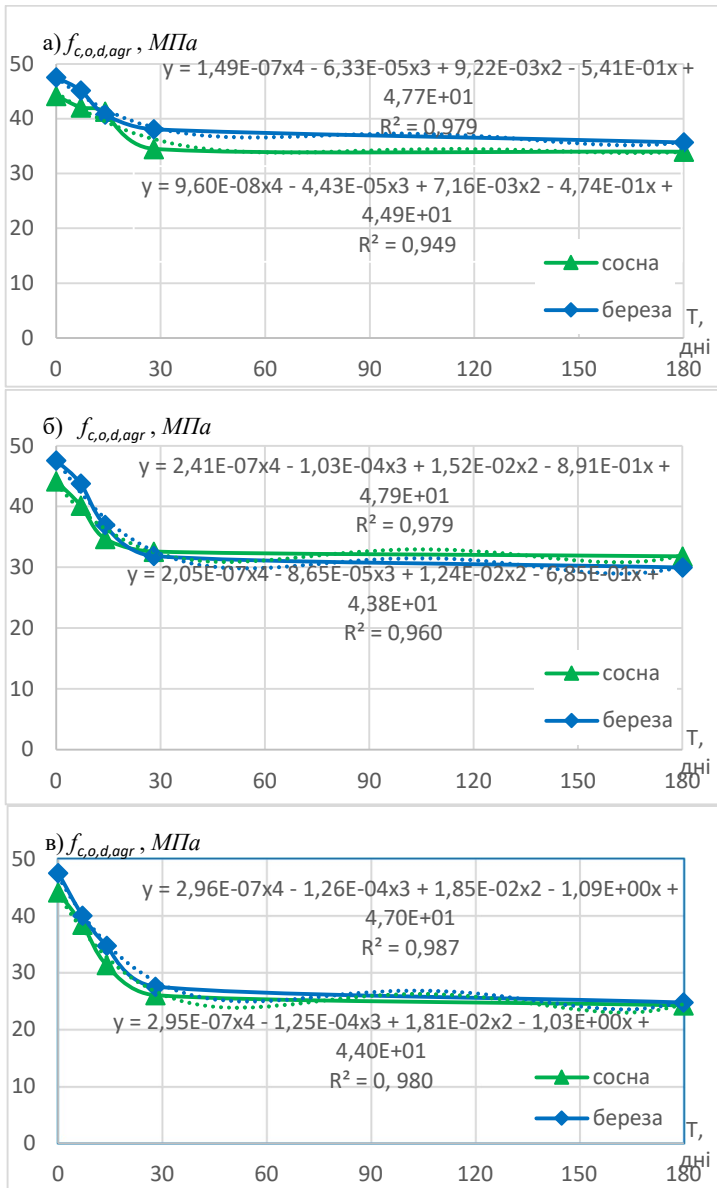


Рис. 3.13. Графіки зміни тимчасової граничної міцності деревини сосни та берези з різним терміном просочення під впливом різних кислот:

а) оцтової (9%), б) молочної (40%), в) соляної (15%)

деревини (змінна y) після дії на неї різних кислотних середовищ $f_{c.o.d.agr}$ від терміну просочення T (змінна x):

- після дії оцтової кислоти для берези

$$y = 1,49 \cdot 10^{-7} \cdot x^4 - 6,33 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 + 9,22 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 5,41 \cdot 10^{-1} \cdot x + 4,77 \cdot 10^1; \quad (3.1)$$

- після дії оцтової кислоти для сосни

$$y = 9,60 \cdot 10^{-8} \cdot x^4 - 4,43 \cdot 10^{-5} \cdot x^3 + 7,16 \cdot 10^{-3} \cdot x^2 - 4,74 \cdot 10^{-1} \cdot x + 4,49 \cdot 10^1; \quad (3.2)$$

- після дії молочної кислоти для берези

$$y = 2,41 \cdot 10^{-7} \cdot x^4 - 1,03 \cdot 10^{-4} \cdot x^3 + 1,52 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 - 8,91 \cdot 10^{-1} \cdot x + 4,79 \cdot 10^1; \quad (3.3)$$

- після дії молочної кислоти для сосни

$$y = 2,05 \cdot 10^{-7} \cdot x^4 - 1,26 \cdot 10^{-4} \cdot x^3 + 1,24 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 - 6,85 \cdot 10^{-1} \cdot x + 4,38 \cdot 10^1; \quad (3.4)$$

- після дії соляної кислоти для берези

$$y = 2,96 \cdot 10^{-7} \cdot x^4 - 1,26 \cdot 10^{-4} \cdot x^3 + 1,85 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 - 1,09 \cdot x + 4,70 \cdot 10^1; \quad (3.5)$$

- після дії соляної кислоти для сосни

$$y = 2,95 \cdot 10^{-7} \cdot x^4 - 1,25 \cdot 10^{-4} \cdot x^3 + 1,81 \cdot 10^{-2} \cdot x^2 - 1,03 \cdot x + 4,40 \cdot 10^1; \quad (3.6)$$

За формулами (3.1-3.6) можливо встановити тимчасову граничну міцність досліджуваних порід деревини під дією різних кислотних середовищ з терміном просочення в межах від 1 до 180 днів включно (Додаток А).

В додатку Б наведено динаміку зміни тимчасової граничної міцності деревини сосни та берези під дією соляної, оцтової, та молочної кислот.

Аналізуючи табл.3.1 та табл. 3.2, графіки (рис.3.13а, рис.3.13б, рис.3.13в), гістограми (Додаток Б) приходимо до висновку, що вплив кислотного середовища значно зменшує міцнісні показники деревини листяних та хвойних порід. Зокрема внаслідок впливу соляної кислоти (15%) за 28 днів тимчасова гранична міцність призм зменшується до 42,0% в порівнянні з міцністю зразків за стандартної вологості; оцтової – до 21,9%; молочної – до 32,7%. За 180 днів просочення тимчасова гранична міцність призм зменшується до 48,0% в порівнянні з міцністю зразків за стандартної вологості для соляної кислоти; оцтової – до 25,0%; молочної – до 37,0%

3.3. Визначення початкового модуля пружності та модуля деформацій після дії кислотних середовищ з різним терміном просочення

Модуль деформації (січний) конструкційної деревини після дії кислотних середовищ з різним терміном просочення можливо записати у наступному вигляді

$$E'_{agr} = E_{o,agr}(1 \pm \lambda_{f_{c,o,d,agr}}\eta_{agr}), \quad (3.7)$$

де $E_{o,agr}$ – початковий модуль пружності деревини після дії кислотних середовищ з різним терміном просочення;

$\lambda_{f_{c,o,d,agr}}$ – коефіцієнт пластичності деревини за осьового стиску уздовж волокон після дії кислотних середовищ з різним терміном просочення;

η_{agr} – рівень напружень в деревині після дії кислотних середовищ з різним терміном просочення.

За запропонованою методикою можливо встановити початковий модуль пружності $E_{o,agr}$ та модуль деформацій E'_{agr} в межах $(0,2 \dots 0,8)\eta_{agr}$.

Порівняння отриманих результатів будемо проводити з результатами, які були визначені за стандартної вологості 12%.

3.3.1. Після дії оцтової кислоти

На основі проведеного експерименту призм з конструкційної деревини берези та сосни та використовуючи запроповану формулу (3.7) отримано діаграми «січний модуль E'_{agr} – рівень напружень η_{agr} » після дії оцтової кислоти (9%) (рис.3.14а, рис.3.14б, рис.3.14в, рис.3.14г) за терміну просочення 7, 14, 28 та 180 днів відповідно.

Також було встановлено кореляційні рівняння регресії для кожної з досліджуваних порід конструкційної деревини після дії оцтової кислоти (9%) з різним терміном просочення (табл.3.3.)

Отже, за результатами проведеного експерименту та за допомогою запропонованої методики були встановлені початкові

модулі пружності конструкційної деревини берези та сосни після дії оцтової кислоти (9%) з різним терміном просочення (табл.3.4).

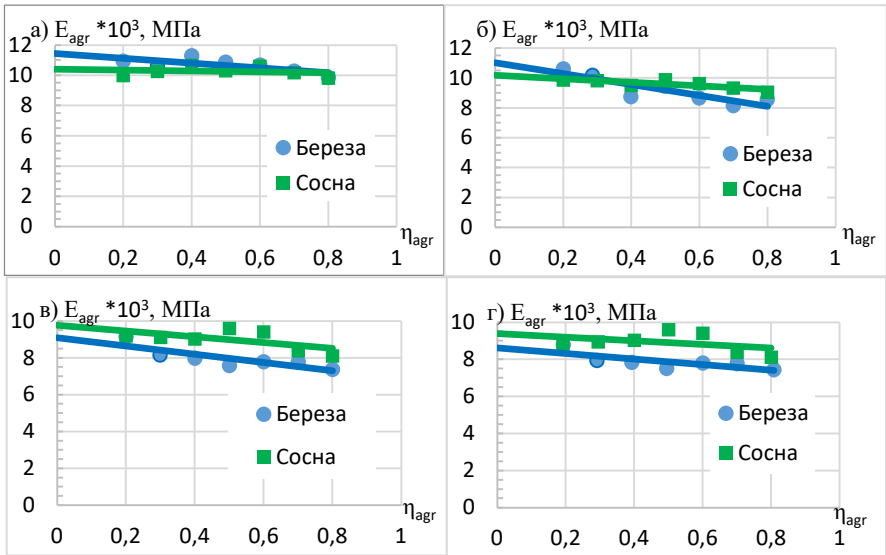


Рис.3.14. Діаграми « $E'_{agr} - \eta_{agr}$ » берези та сосни після дії оцтової кислоти (9%) з терміном просочення: а) 7 днів; б) 14 днів; в) 28 днів; г) 180 днів

Таблиця 3.3. Основні параметри і статистики кореляційних рівнянь регресії деревини берези та сосни після дії на неї оцтової кислоти (9%) з різним терміном просочення

Порода деревини	Термін просочення	Кореляційне рівняння	r	m_r	r/m_r	$V, \%$
Береза	7	$E' = 11,502 \cdot (1 - 0,141 \cdot \eta)$	0,728	0,141	5	7,97
Сосна	7	$E' = 10,391 \cdot (1 - 0,029 \cdot \eta)$	0,798	0,158	5	6,43
Береза	14	$E' = 11,012 \cdot (1 - 0,330 \cdot \eta)$	0,871	0,091	10	6,75
Сосна	14	$E' = 10,582 \cdot (1 - 0,114 \cdot \eta)$	0,816	0,126	6	7,09
Береза	28	$E' = 9,098 \cdot (1 - 0,240 \cdot \eta)$	0,839	0,112	7	6,58
Сосна	28	$E' = 9,769 \cdot (1 - 0,162 \cdot \eta)$	0,923	0,075	12	3,52
Береза	180	$E' = 8,627 \cdot (1 - 0,240 \cdot \eta)$	0,759	0,160	5	8,31
Сосна	180	$E' = 9,398 \cdot (1 - 0,162 \cdot \eta)$	0,802	0,131	6	6,74

Таблиця 3.4. Початковий модуль пружності деревини після дії на неї оцтової кислоти з різним терміном просочення

№ з/п	Порода деревини	Початковий модуль пружності, МПа				
		Просочення, дні				
		Непросочена	7	14	28	180
1	Береза	12300	11500	11000	9100	8600
2	Сосна	12900	10400	10200	9700	9400

Просочення терміном 7 днів (рис.3.14а, табл.3.4). Таким чином початковий модуль пружності деревини берези зменшився в 1,07 рази та складає $E_{o,agr} = 11500$ МПа в порівнянні з початковим модулем пружності, отриманим за стандартної вологості 12% без просочення, а для деревини сосни також зменшився в 1,24 рази та зафіксований на позначці $E_{o,agr} = 10400$ МПа.

Просочення терміном 14 днів (рис.3.14б, табл.3.4). За даного терміну просочення початковий модуль пружності продовжив спадати, зокрема, для деревини берези зменшився в 1,12 рази ($E_{o,agr} = 11000$ МПа), а для сосни – в 1,26 рази ($E_{o,agr} = 10200$ МПа).

Просочення терміном 28 днів (рис.3.14в, табл.3.4). За таких умов експлуатації початковий модуль пружності продовжував зменшуватися і для деревини берези склав $E_{o,agr} = 9100$ МПа (спав в 1,35 рази), а для сосни – $E_{o,agr} = 9700$ МПа (в 1,33 рази).

Просочення терміном 180 днів (рис.3.14г, табл.3.4). Після тривалого просочення на протязі 180 днів початковий модуль пружності незначно зменшився в порівнянні з терміном просочення на протязі 28 днів та для деревини берези досяг позначки $E_{o,agr} = 8600$ МПа, а для сосни – $E_{o,agr} = 9400$ МПа. Отже, в порівнянні з непросоченими призмами спав відповідно для берези в 1,43 рази, а для сосни в 1,37 рази.

Можна констатувати той факт, що початковий модуль пружності суттєво зменшується після просочення на протязі перших 28 днів в межах 1,33 та 1,35 раз, а на протязі 180 днів зменшується незначно в порівнянні з терміном просочення 28 днів.

Отже, можна зробити висновок, що початковий модуль пружності значно зменшується протягом перших 28 днів просочення оцтовою кислотою (9%). В подальшому даний показник фактично стабілізується.

В табл.3.5 наведено зміну початкового модуля пружності конструкційної деревини берези та сосни після дії на неї оцтової кислоти $E_{0,agr} / E_0$ в порівнянні з деревиною, яка випробувана за стандартної вологості 12%.

Таблиця 3.5. Зміна початкового модуля пружності конструкційної деревини після дії на неї оцтової кислоти (9%)

№ з/п	Порода деревини	Зміна початкового модуля пружності, $E_{0,agr} / E_0$				
		Просочення, дні				
		Непросочена	7	14	28	180
1	Береза	12300	0,94	0,89	0,74	0,7
2	Сосна	12900	0,81	0,79	0,75	0,73

В результаті експериментальних досліджень було побудовано графіки залежності початкового модуля пружності в залежності від терміну просочення « $E_{0,agr} - T$ » після дії оцтової кислоти (9%) (рис.3.15).

Також встановлено залежності зміни початкового модуля пружності деревини (змінна y) після дії на неї оцтової кислоти (9%) $E_{0,agr}$ від терміну просочення T (змінна x):

- для деревини берези

$$y = 3,63 \cdot 10^{-5} \cdot x^4 - 1,63 \cdot 10^{-2} \cdot x^3 + 2,53 \cdot x^2 - 1,62 \cdot 10^2 \cdot x + 1,24 \cdot 10^4; \quad (3.8)$$

- для деревини сосни

$$y = 5,85 \cdot 10^{-5} \cdot x^4 - 2,42 \cdot 10^{-2} \cdot x^3 + 3,36 \cdot x^2 - 1,77 \cdot 10^2 \cdot x + 1,23 \cdot 10^4; \quad (3.9)$$

В додатку Г наведено динаміку зміни початкового модуля пружності деревини сосни та берези після дії оцтової кислоти (9%) з різним терміном просочення.

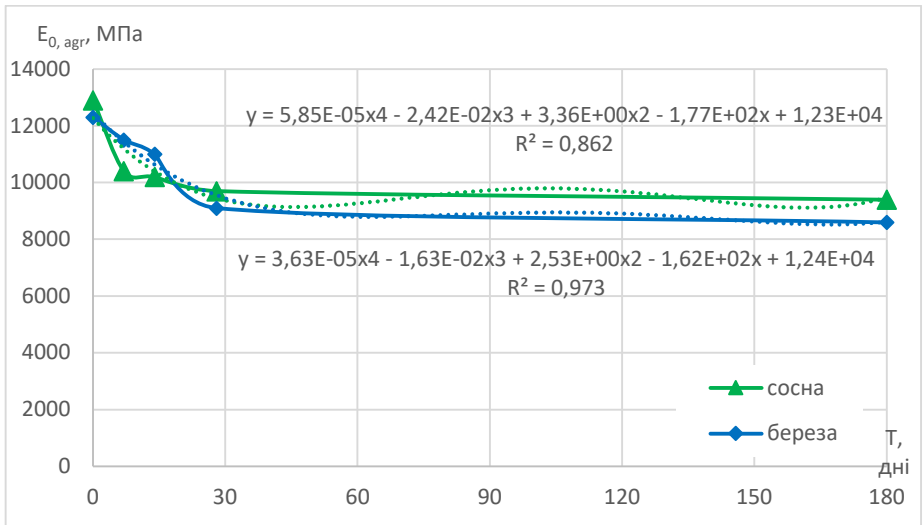


Рис. 3.15. Графіки зміни початкового модуля пружності в залежності від терміну просочення « $E_{0,agr} - T$ » берези та сосни після дії оцтової кислоти (9%)

3.3.2. Після дії молочної кислоти

На основі проведених експериментальних досліджень призм конструкційної деревини берези і сосни та використовуючи запропоновану методику формула (3.7) отримано діаграми «січний модуль E'_{agr} – рівень напружень η_{agr} » після дії молочної кислоти (40%) (рис.3.16а, рис.3.16б, рис.3.16в, рис.3.16г) за терміну просочення 7, 14, 28 та 180 днів відповідно.

Також було встановлено кореляційні рівняння регресії для кожної з досліджуваних порід конструкційної деревини після дії на неї молочної кислоти з різним терміном просочення (табл.3.6.)

Отже, за результатами проведеного експерименту та за допомогою запропонованої методики були встановлені початкові модулі пружності конструкційної деревини берези та сосни після дії молочної кислоти (40%) з різним терміном просочення (табл.3.7).

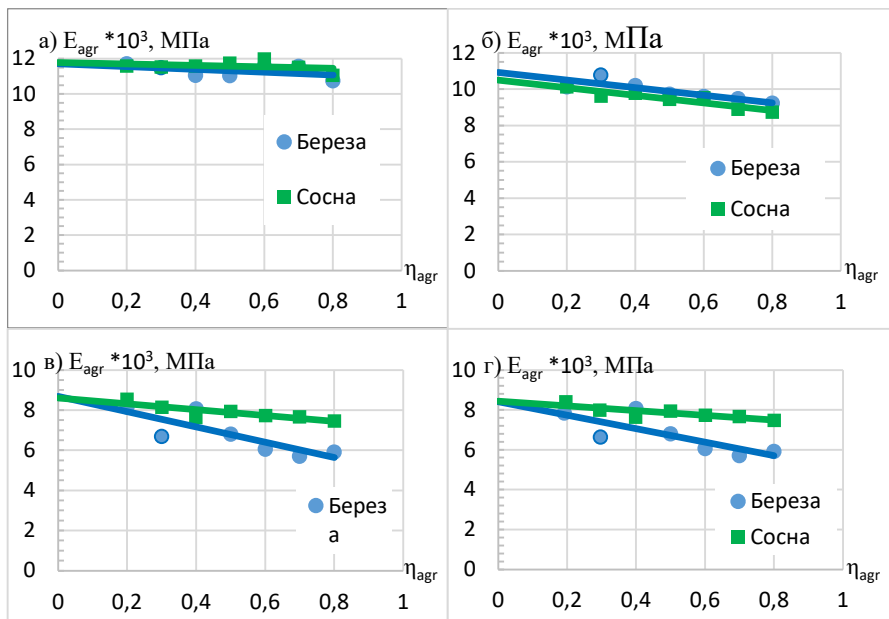


Рис.3.16. Діаграми « $E'_{agr} - \eta_{agr}$ » берези та сосни після дії молочної кислоти з терміном просочення: а) 7 днів; б) 14 днів; в) 28 днів; г) 180 днів

Таблиця 3.6. Основні параметри і статистики кореляційних рівнянь регресії деревини берези та сосни після дії молочної кислоти (40%) з різним терміном просочення

Порода деревини	Термін просочення	Кореляційне рівняння	r	m_r	r/m_r	$V, \%$
Береза	7	$E' = 11,715 \cdot (1 - 0,065\eta)$	0,472	0,029	16	7,04
Сосна	7	$E' = 11,796 \cdot (1 - 0,042\eta)$	0,327	0,038	9	4,60
Береза	14	$E' = 10,929 \cdot (1 - 0,187 \cdot \eta)$	0,866	0,094	9	2,45
Сосна	14	$E' = 10,511 \cdot (1 - 0,192 \cdot \eta)$	0,931	0,050	18	1,86
Береза	28	$E' = 8,686 \cdot (1 - 0,240 \cdot \eta)$	0,825	0,121	8	3,79
Сосна	28	$E' = 8,620 \cdot (1 - 0,162 \cdot \eta)$	0,859	0,099	9	5,17
Береза	180	$E' = 8,374 \cdot (1 - 0,272 \cdot \eta)$	0,847	0,142	7	5,22
Сосна	180	$E' = 8,406 \cdot (1 - 0,183 \cdot \eta)$	0,882	0,114	8	4,29

Таблиця 3.7. Початковий модуль пружності деревини після дії на неї молочної кислоти (40%) з різним терміном просочення

№ з/п	Порода деревини	Початковий модуль пружності, МПа				
		Просочення, дні				
		Непросочена	7	14	28	180
1	Береза	12300	11700	11000	8700	8400
2	Сосна	12900	11800	10500	8600	8400

Просочення терміном 7 днів (рис.3.16а, табл.3.7). Таким чином початковий модуль пружності деревини берези зменшився в 1,05 рази та складає $E_{o,agr} = 11700$ МПа в порівнянні з початковим модулем пружності, отриманим за стандартної вологості 12% без просочення, а для деревини сосни також зменшився в 1,09 рази та зафіксований на позначці $E_{o,agr} = 11800$ МПа.

Просочення терміном 14 днів (рис.3.16б, табл.3.7). За даного терміну просочення початковий модуль пружності продовжив спадати, зокрема, для деревини берези зменшився в 1,12 рази ($E_{o,agr} = 11000$ МПа), а для сосни – в 1,23 рази ($E_{o,agr} = 10500$ МПа).

Просочення терміном 28 днів (рис.3.16в, табл.3.7). За таких умов експлуатації початковий модуль пружності продовжував зменшуватися і для деревини берези склав $E_{o,agr} = 8700$ МПа (спав в 1,41 рази), а для сосни – $E_{o,agr} = 8600$ МПа (в 1,50 рази).

Просочення терміном 180 днів (рис.3.16г, табл.3.7). Після тривалого просочення на протязі 180 днів початковий модуль пружності незначно зменшився в порівнянні з терміном просочення на протязі 28 днів та для деревини берези досяг позначки $E_{o,agr} = 8400$ МПа, для сосни мав аналогічні показники – $E_{o,agr} = 8400$ МПа. Отже, в порівнянні з непросоченими призмами спав відповідно для берези в 1,46 рази, а для сосни в 1,54 рази.

Спостерігаємо ту ж тенденцію, що і для оцтової кислоти, початковий модуль пружності суттєво зменшується після просочення на протязі перших 28 днів в межах 1,41 та 1,50 раз, а на протязі 180 днів зменшується незначно в порівнянні з терміном просочення 28 днів.

Таким чином приходимо до висновку, що початковий модуль пружності значно зменшується протягом перших 28 днів просочення молочною кислотою (40%). В подальшому даний показник також стабілізується.

В табл.3.8 наведено зміну початкового модуля пружності конструкційної деревини берези та сосни після дії молочної кислоти (40%) $E_{0,agr} / E_o$ в порівнянні з деревиною, яка випробувана за стандартної вологості 12%.

Таблиця 3.8. Зміна початкового модуля пружності конструкційної деревини після дії на неї молочної кислоти (40%)

№ з/п	Порода деревини	Зміна початкового модуля пружності, $E_{0,agr} / E_o$				
		Просочення, дні				
		Непросочена	7	14	28	180
1	Береза	12300	0,95	0,89	0,71	0,68
2	Сосна	12900	0,92	0,82	0,67	0,65

В результаті експериментальних досліджень було побудовано графіки залежності початкового модуля пружності в залежності від терміну просочення « $E_{0,agr} - T$ » після дії молочної кислоти (40%) (рис.3.17).

Також встановлено залежності зміни початкового модуля пружності деревини (змінна y) після дії молочної кислоти (40%) $E_{0,agr}$ від терміну просочення T (змінна x):

- для деревини берези

$$y = 5,92 \cdot 10^{-5} \cdot x^4 - 2,59 \cdot 10^{-2} \cdot x^3 + 3,90 \cdot x^2 - 2,34 \cdot 10^2 \cdot x + 1,30 \cdot 10^4; \quad (3.10)$$

- для деревини сосни

$$y = 3,78 \cdot 10^{-5} \cdot x^4 - 1,73 \cdot 10^{-2} \cdot x^3 + 2,77 \cdot x^2 - 1,82 \cdot 10^2 \cdot x + 1,26 \cdot 10^4; \quad (3.11)$$

В додатку Г наведено динаміку зміни початкового модуля пружності деревини сосни та берези після дії молочної кислоти (40%) з різним терміном просочення.

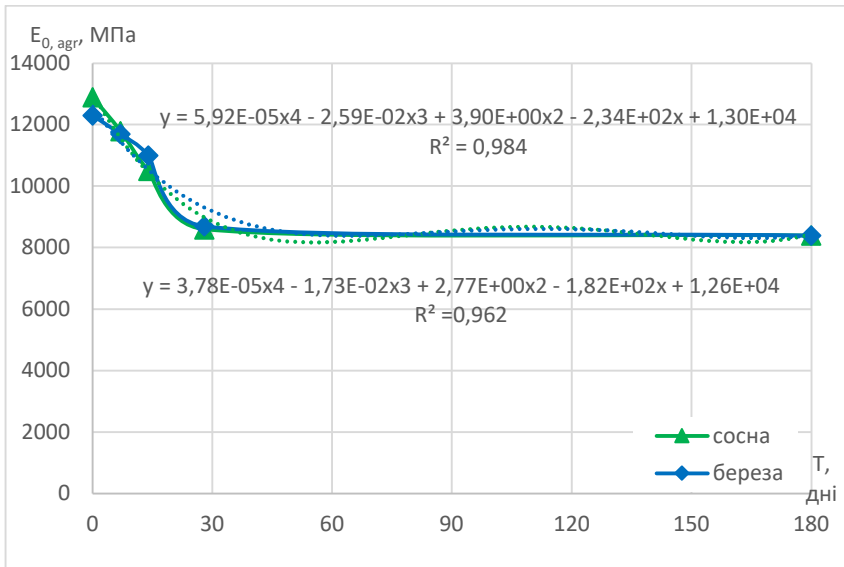


Рис. 3.17. Графіки зміни початкового модуля пружності в залежності від терміну просочення « $E_{0,agr} - T$ » конструкційної деревини берези та сосни після дії на неї молочної кислоти (40%)

3.3.3. Після дії соляної кислоти

На основі проведених експериментальних досліджень призм конструкційної деревини берези і сосни та використовуючи запропоновану формулу (3.7) отримано діаграми «січний модуль E'_{agr} – рівень напружень η_{agr} » після дії соляної кислоти (15%) (рис.3.18а, рис.3.18б, рис.3.18в, рис.3.18г) за терміну просочення 7, 14, 28 та 180 днів відповідно.

Також було встановлено кореляційні рівняння регресії для кожної з досліджуваних порід конструкційної деревини після дії на неї соляної кислоти (15%) з різним терміном просочення (табл.3.9).

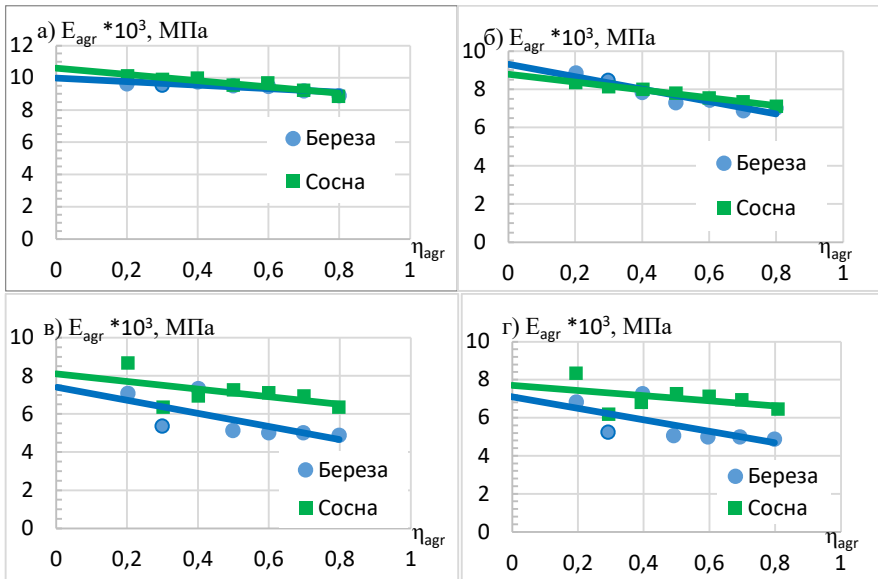


Рис.3.18. Діаграми « $E'_{agr} - \eta_{agr}$ » берези та сосни після дії соляної кислоти (15%) з терміном просочення: а) 7 днів; б) 14 днів; в) 28 днів; г) 180 днів

Отже, за результатами проведеного експерименту та за допомогою запропонованої методики було встановлено початкові модулі пружності деревини берези та сосни після дії соляної кислоти (15%) з різним терміном просочення (табл.3.10).

Просочення терміном 7 днів (рис.3.18а, табл.3.10). Таким чином початковий модуль пружності деревини берези зменшився в 1,23 рази та складає $E_{o,agr} = 10000$ МПа в порівнянні з початковим модулем пружності, отриманим за стандартної вологості 12% без просочення, а для деревини сосни також зменшився в 1,22 рази та зафіксований на позначці $E_{o,agr} = 10600$ МПа.

Просочення терміном 14 днів (рис.3.18б, табл.3.10). За даного терміну просочення початковий модуль пружності продовжив спадати, зокрема, для деревини берези зменшився в 1,32 рази ($E_{o,agr} = 9300$ МПа), а для сосни – в 1,47 рази ($E_{o,agr} = 8800$ МПа).

Таблиця 3.9. Основні параметри і статистики кореляційних рівнянь регресії деревини берези та сосни після дії соляної кислоти (15%) з різним терміном просочення

Порода деревини	Термін просочення	Кореляційне рівняння	r	m_r	r/m_r	$V, \%$
Береза	7	$E' = 9,985 \cdot (1 - 0,110 \cdot \eta)$	0,833	0,116	8	4,28
Сосна	7	$E' = 10,594 \cdot (1 - 0,181 \cdot \eta)$	0,933	0,049	19	7,04
Береза	14	$E' = 9,310 \cdot (1 - 0,350 \cdot \eta)$	0,947	0,039	24	5,81
Сосна	14	$E' = 8,797 \cdot (1 - 0,234 \cdot \eta)$	0,998	0,002	588	1,19
Береза	28	$E' = 7,413 \cdot (1 - 0,449 \cdot \eta)$	0,800	0,193	4	8,24
Сосна	28	$E' = 10,707 \cdot (1 - 0,256 \cdot \eta)$	0,953	0,026	37	3,60
Береза	180	$E' = 7,084 \cdot (1 - 0,513 \cdot \eta)$	0,824	0,187	4	6,37
Сосна	180	$E' = 7,692 \cdot (1 - 0,277 \cdot \eta)$	0,932	0,089	11	2,81

Таблиця 3.10. Початковий модуль пружності деревини після дії на неї соляної кислоти (15%) з різним терміном просочення

№ з/п	Порода деревини	Початковий модуль пружності, МПа				
		Просочення, дні				
		Непросочена	7	14	28	180
1	Береза	12300	10000	9300	7400	7100
2	Сосна	12900	10600	8800	8100	7700

Просочення терміном 28 днів (рис.3.18в, табл.3.10). За таких умов експлуатації початковий модуль пружності продовжував зменшуватися і для деревини берези склав $E_{o,agr} = 7400$ МПа (спав в 1,66 рази), а для сосни – $E_{o,agr} = 8100$ МПа (в 1,59 рази).

Просочення терміном 180 днів (рис.3.18г, табл.3.10). Після тривалого просочення на протязі 180 днів початковий модуль пружності незначно зменшився в порівнянні з терміном просочення на протязі 28 днів та для деревини берези досяг позначки $E_{o,agr} = 7100$ МПа, для сосни мав аналогічні показники – $E_{o,agr} = 7700$ МПа. Отже, в порівнянні з непросоченими призмами спав відповідно для берези в 1,73 рази, а для сосни в 1,68 рази.

Аналізуючи результати експерименту можна зробити висновок, що початковий модуль пружності суттєво зменшується після просочення на протязі перших 28 днів в межах 1,66 та 1,59 раз, а на протязі 180 днів зменшується незначно в порівнянні з терміном просочення 28 днів.

Таким чином приходимо до висновку, що початковий модуль пружності значно зменшується протягом перших 28 днів просочення соляною кислотою (15%). В подальшому даний показник фактично стабілізується.

Але якщо порівнювати показники зі зразками, які просочені органічними кислотами, то початковий модуль пружності після дії соляною кислотою за 28 днів просочення зменшується суттєвіше.

В табл.3.11 наведено зміну початкового модуля пружності конструкційної деревини берези та сосни після дії на неї соляної кислоти (15%) $E_{o,agr} / E_o$ в порівнянні з деревиною, яка випробувана за стандартної вологості 12%.

Таблиця 3.11. Зміна початкового модуля пружності конструкційної деревини після дії на неї соляної кислоти (15%)

№ з/п	Порода деревини	Зміна початкового модуля пружності, $E_{o,agr} / E_o$				
		Просочення, дні				
		Непросочена	7	14	28	180
1	Береза	12300	0,81	0,76	0,60	0,58
2	Сосна	12900	0,82	0,68	0,63	0,60

В результаті експериментальних досліджень було побудовано графіки залежності початкового модуля пружності в залежності від терміну просочення « $E_{o,agr} - T$ » після дії соляної кислоти (40%) (рис.3.19).

Також встановлено залежності зміни початкового модуля пружності деревини (змінна y) після дії соляної кислоти (40%) $E_{o,agr}$ від терміну просочення T (змінна x):

- для деревини берези

$$y = 7,28 \cdot 10^{-5} \cdot x^4 - 3,12 \cdot 10^{-2} \cdot x^3 + 4,56 \cdot x^2 - 2,62 \cdot 10^2 \cdot x + 1,20 \cdot 10^4; \quad (3.12)$$

- для деревини сосни

$$y = 8,93 \cdot 10^{-5} \cdot x^4 - 3,72 \cdot 10^{-2} \cdot x^3 + 5,22 \cdot x^2 - 2,82 \cdot 10^2 \cdot x + 1,25 \cdot 10^4; \quad (3.13)$$

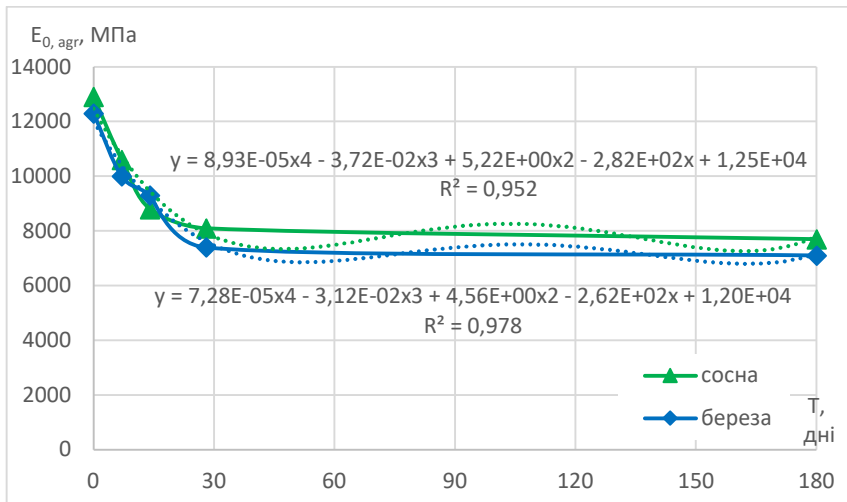


Рис. 3.19. Графіки зміни початкового модуля пружності в залежності від терміну просочення « $E_{0,agr} - T$ » конструкційної деревини берези та сосни після дії соляної кислоти (15%)

За формулами (3.8-3.13) можливо визначити початковий модуль пружності досліджуваних порід деревини після дії на них різних кислотних середовищ з терміном просочення в межах від 1 до 180 днів включно (Додаток В).

В додатку Г наведено динаміку зміни початкового модуля пружності деревини сосни та берези після дії на неї соляної кислоти (15%) з різним терміном просочення.

Проаналізувавши отримані результати, а також таблиці 3.3 – 3.11, діаграми та графіки (рис.3.14 – 3.19), гістограми (Додаток Г) приходимо до висновку, що вплив агресивного кислотного середовища значно зменшує початковий модуль пружності деревини листяних та хвойних порід. Зокрема внаслідок впливу соляної кислоти (15%) за 28 днів початковий модуль пружності деревини листяних та хвойних порід призм зменшується в 1,59 - 1,66 рази в порівнянні з початковим модулем пружності зразків за стандартної вологості 12%; оцтової – в 1,33 - 1,35 рази; молочної – в 1,41 - 1,5 рази. Показники модуля пружності за 180 днів просочення соляною кислотою зменшуються в 1,68 - 1,73

рази в порівнянні з початковим модулем пружності зразків за стандартної вологості 12%; оцтовою – в 1,37 - 1,43 рази; молочною – в 1,46 - 1,54 рази. Таким чином спостерігаємо, що показники модуля пружності після першого місяця просочення кислотами надалі стабілізуються та лише незначно зменшуються.

3.4. Дослідження деформівних показників деревини встановлених експериментальним шляхом

Не менш важливою механічною характеристикою деревини є її деформівність. Під час проведення випробувань були встановлені деформівні показники всіх досліджуваних порід деревини після дії на них різних кислотних середовищ з різним терміном просочення, зокрема критичні $u_{c,0,d, agr}$ (верхня точка діаграми деформування) та залишкові деформації $u_{c,fin, agr}$ (найнижча точка діаграм деформування на спадній вітці) (рис.3.1 - рис.3.12).

Отже, були отримані наступні значення критичних деформацій $u_{c,0,d, agr}$, які встановлені експериментальним шляхом та наведені в табл.3.12.

В табл.3.13 наведено зміну критичних деформацій деревини берези та сосни після дії різних кислотних середовищ $u_{c,0,d, agr} / u_{c,0,d}$ в порівнянні з деревиною, яка випробувана за стандартної вологості 12%.

На основі отриманих результатів експериментальних досліджень (табл.3.12) побудуємо графіки зміни критичних деформацій деревини $u_{c,0,d, agr}$ після дії кислотних середовищ від терміну просочення « $u_{c,0,d, agr} - T$ » (рис.3.20а, рис.3.20б, рис.3.20в).

Також встановлено залежності зміни критичних деформацій деревини (змінна y) берези та сосни після дії різних кислотних середовищ $u_{c,0,d, agr}$ від терміну просочення T (змінна x):

- після дії оцтової кислоти для деревини берези

$$y = -1,36 \cdot 10^{-11} \cdot x^4 + 5,65 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 - 7,85 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 + 4,19 \cdot 10^{-5} \cdot x + 5,35 \cdot 10^{-3}; \quad (3.14)$$

Таблиця 3.12. Критичні деформації деревини $u_{c,0,d,agr}$ після дії на неї різних кислотних середовищ

№ з/п	Порода деревини	Критичні деформації $u_{c,0,d,agr}$				
		Просочення, дні				
		Непросочена	7	14	28	180
Оцтова кислота CH_3COOH (9%)						
1	Береза	0,00521	0,00568	0,00589	0,00597	0,00606
2	Сосна	0,00491	0,00559	0,00578	0,00582	0,00584
Молочна кислота $C_3H_6O_3$ (40%)						
1	Береза	0,00521	0,00572	0,00584	0,00611	0,00620
2	Сосна	0,00491	0,00493	0,00531	0,00558	0,00564
Соляна кислота HCl (15%)						
1	Береза	0,00521	0,00551	0,00569	0,00581	0,00594
2	Сосна	0,00491	0,0054	0,00561	0,00574	0,00578

Таблиця 3.13. Зміна критичних деформацій деревини $u_{c,0,d,agr} / u_{c,0,d}$ після дії різних кислотних середовищ

№ з/п	Порода деревини	Зміна критичних деформацій деревини, $u_{c,0,d,agr} / u_{c,0,d}$				
		Просочення, дні				
		Непросочена	7	14	28	180
Оцтова кислота CH_3COOH (9%)						
1	Береза	0,00521	1,090	1,131	1,146	1,164
2	Сосна	0,00491	1,138	1,177	1,185	1,189
Молочна кислота $C_3H_6O_3$ (40%)						
1	Береза	0,00521	1,100	1,121	1,173	1,190
2	Сосна	0,00491	1,004	1,081	1,136	1,148
Соляна кислота HCl (15%)						
1	Береза	0,00521	1,058	1,092	1,115	1,141
2	Сосна	0,00491	1,100	1,143	1,169	1,177

- після дії оцтової кислоти для деревини сосни
 $y = -1,89 \cdot 10^{-11} \cdot x^4 + 7,73 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 - 1,05 \cdot 10^{-6} \cdot x^2 + 5,36 \cdot 10^{-5} \cdot x + 5,09 \cdot 10^{-3}$; (3.15)

- після дії молочної кислоти для деревини берези
 $y = -1,37 \cdot 10^{-11} \cdot x^4 + 5,76 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 - 8,27 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 + 4,66 \cdot 10^{-5} \cdot x + 5,33 \cdot 10^{-3}$; (3.16)

- після дії молочної кислоти для деревини сосни
 $y = -9,30 \cdot 10^{-12} \cdot x^4 + 4,10 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 - 6,26 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 + 3,83 \cdot 10^{-5} \cdot x + 4,84 \cdot 10^{-3}$; (3.17)

- після дії соляної кислоти для деревини берези
 $y = -9,38 \cdot 10^{-12} \cdot x^4 + 3,92 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 - 5,55 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 + 3,14 \cdot 10^{-5} \cdot x + 5,29 \cdot 10^{-3}$; (3.18)

- після дії соляної кислоти для деревини сосни
 $y = -1,57 \cdot 10^{-11} \cdot x^4 + 6,49 \cdot 10^{-9} \cdot x^3 - 9,04 \cdot 10^{-7} \cdot x^2 + 4,79 \cdot 10^{-5} \cdot x + 5,01 \cdot 10^{-3}$; (3.19)

За формулами (3.14-3.19) можливо визначити критичні деформації досліджуваних порід деревини після дії на них різних кислотних середовищ з терміном просочення в межах від 1 до 180 днів включно (Додаток Д).

В додатку Е наведено динаміку зміни критичних деформацій деревини сосни та берези під дією соляної, оцтової та молочної кислот.

Аналізуючи (рис.3.1 – рис.3.12, додаток Д, додаток Е) приходимо до висновку, що вплив кислотного середовища значно збільшує деформівні показники деревини берези та сосни. Зокрема, внаслідок впливу соляної кислоти (15%) за 28 днів просочення критичні деформації деревини берези збільшуються в 1,15 рази в порівнянні з критичними деформаціями, які визначені за стандартної вологості, а сосни – в 1,17 рази; оцтової (9%) – берези в 1,15 рази, а сосни – в 1,19 рази; молочної (40%) – берези в 1,17 рази, а сосни – в 1,14 рази. Після 180 днів просочення кислотами ці показники практично не змінилися.

За результатами експериментальних досліджень (рис.3.1 - рис.3.12) також було встановлено залишкові деформації деревини $u_{c,fin,agr}$ після дії кислотних середовищ за різного терміну просочення (нижня точка спадної вітки діаграм деформування) (табл.3.14).

В табл.3.15 наведено зміну залишкових деформацій деревини берези та сосни після дії різних кислотних середовищ $u_{c,fin,agr} / u_{c,fin}$ в порівнянні з деревиною, яка випробувана за стандартної вологості 12%.

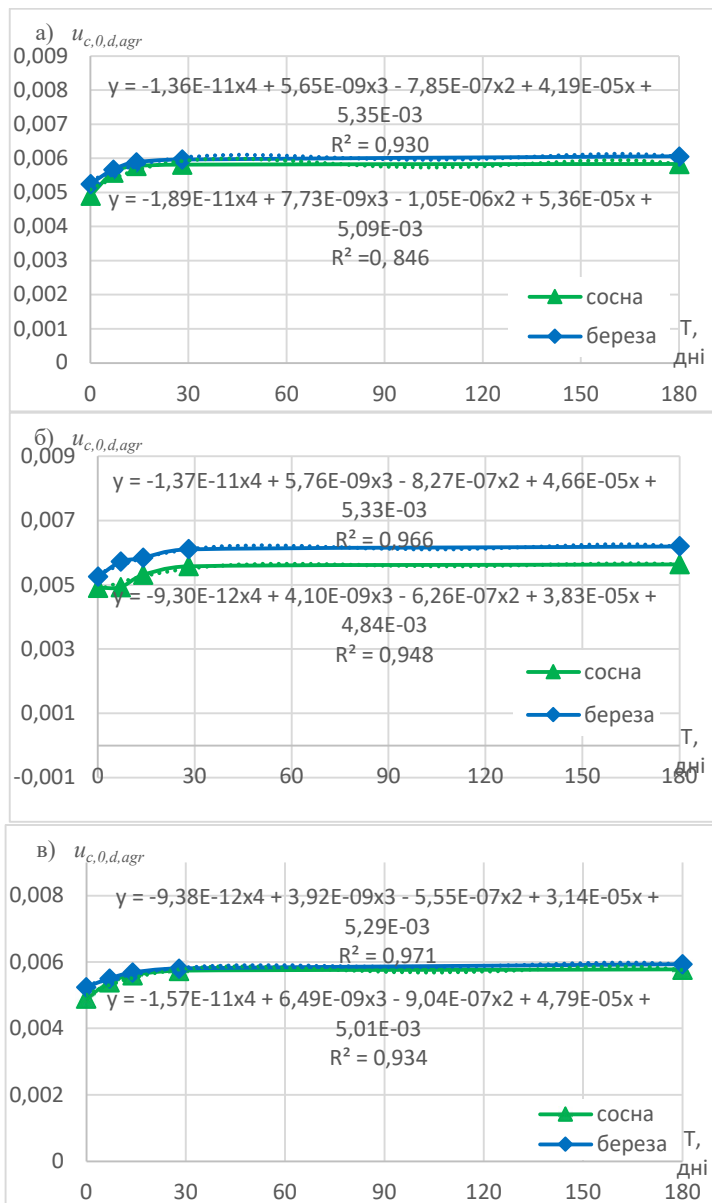


Рис. 3.20. Графіки зміни критичних деформацій деревини сосни та берези з різним терміном просочення після дії різних кислот: а) оцтової (9%), б) молочної (40%), в) соляної (15%)

Таблиця 3.14. Залишкові відносні деформації деревини $u_{c,fin, agr}$ після дії на неї різних кислотних середовищ

№ з/п	Порода деревини	Залишкові деформації $u_{c,fin, agr}$				
		Просочення, дні				
		Непросочена	7	14	28	180
Оцтова кислота CH_3COOH (9%)						
1	Береза	0,3349	0,4046	0,4142	0,4180	0,4193
2	Сосна	0,3526	0,3681	0,3703	0,3867	0,3928
Молочна кислота $C_3H_6O_3$ (40%)						
1	Береза	0,3349	0,3796	0,3940	0,3972	0,4022
2	Сосна	0,3526	0,3859	0,4025	0,4317	0,4362
Соляна кислота HCl (15%)						
1	Береза	0,3349	0,3903	0,3916	0,4068	0,4200
2	Сосна	0,3526	0,3870	0,4023	0,4325	0,4376

Таблиця 3.15. Зміна залишкових деформацій деревини $u_{c,fin, agr} / u_{c,fin}$ після дії на неї різних кислотних середовищ

№ з/п	Порода деревини	Зміна залишкових деформацій деревини, $u_{c,fin, agr} / u_{c,fin}$				
		Просочення, дні				
		Непросочена	7	14	28	180
Оцтова кислота CH_3COOH (9%)						
1	Береза	0,3349	1,208	1,237	1,248	1,252
2	Сосна	0,3526	1,044	1,050	1,097	1,114
Молочна кислота $C_3H_6O_3$ (40%)						
1	Береза	0,3349	1,133	1,176	1,186	1,201
2	Сосна	0,3526	1,094	1,141	1,224	1,237
Соляна кислота HCl (15%)						
1	Береза	0,3349	1,165	1,169	1,215	1,254
2	Сосна	0,3526	1,098	1,141	1,227	1,241

На основі отриманих результатів експериментальних досліджень (табл.3.14) побудуємо графіки зміни критичних

деформацій деревини $u_{c,0,d,agr}$ після дії кислотних середовищ від терміну просочення « $u_{c,0,d,agr} - T$ » (рис.3.21а, рис.3.21б, рис.3.21в).

Також встановлено залежності зміни залишкових деформацій деревини берези та сосни (змінна y) після дії різних кислотних середовищ $u_{c,0,d,agr}$ від терміну просочення T (змінна x):

- після дії оцтової кислоти для деревини берези

$$y = -1,73 \cdot 10^{-9} \cdot x^4 + 7,06 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 - 9,58 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 4,82 \cdot 10^{-3} \cdot x + 3,54 \cdot 10^{-1}; \quad (3.20)$$

- після дії оцтової кислоти для деревини сосни

$$y = -4,35 \cdot 10^{-10} \cdot x^4 + 1,89 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 - 2,82 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 1,71 \cdot 10^{-3} \cdot x + 3,54 \cdot 10^{-1}; \quad (3.21)$$

- після дії молочної кислоти для деревини берези

$$y = -1,27 \cdot 10^{-9} \cdot x^4 + 5,19 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 - 7,10 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 3,66 \cdot 10^{-3} \cdot x + 3,46 \cdot 10^{-1}; \quad (3.22)$$

- після дії молочної кислоти для деревини сосни

$$y = -1,18 \cdot 10^{-9} \cdot x^4 + 5,06 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 - 7,42 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 4,28 \cdot 10^{-3} \cdot x + 3,57 \cdot 10^{-1}; \quad (3.23)$$

- після дії соляної кислоти для деревини берези

$$y = -1,19 \cdot 10^{-9} \cdot x^4 + 4,95 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 - 6,95 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 3,81 \cdot 10^{-3} \cdot x + 3,48 \cdot 10^{-1}; \quad (3.24)$$

- після дії соляної кислоти для деревини сосни

$$y = -1,19 \cdot 10^{-9} \cdot x^4 + 5,09 \cdot 10^{-7} \cdot x^3 - 7,46 \cdot 10^{-5} \cdot x^2 + 4,31 \cdot 10^{-3} \cdot x + 3,56 \cdot 10^{-1}; \quad (3.25)$$

За формулами (3.20-3.25) можна визначити залишкові деформації досліджуваних порід деревини після дії на них різних кислотних середовищ з терміном просочення в межах від 1 до 180 днів включно (додаток Є).

В додатку Ж наведено динаміку зміни залишкових деформацій деревини сосни та берези після дії соляної, оцтової та молочної кислот.

Провівши ретельний аналіз (рис.3.1 – рис.3.12, табл.3.8, табл.3.9, додаток Є, додаток Ж) приходимо до висновку, що після дії кислотних середовищ зростають остаточні деформації досліджуваних порід деревини в порівнянні з призмами, які випробувані за стандартної вологості 12%. Зокрема, внаслідок впливу соляної кислоти на протязі 28 днів – берези в 1,22 рази, а сосни в 1,23 рази; оцтової – берези в 1,25 рази, а сосни – в 1,1 рази; молочної – берези в 1,19 рази, а сосни в 1,22 рази. В наступні 5 місяців просочення ці показники, як і попередні незначно змінилися.

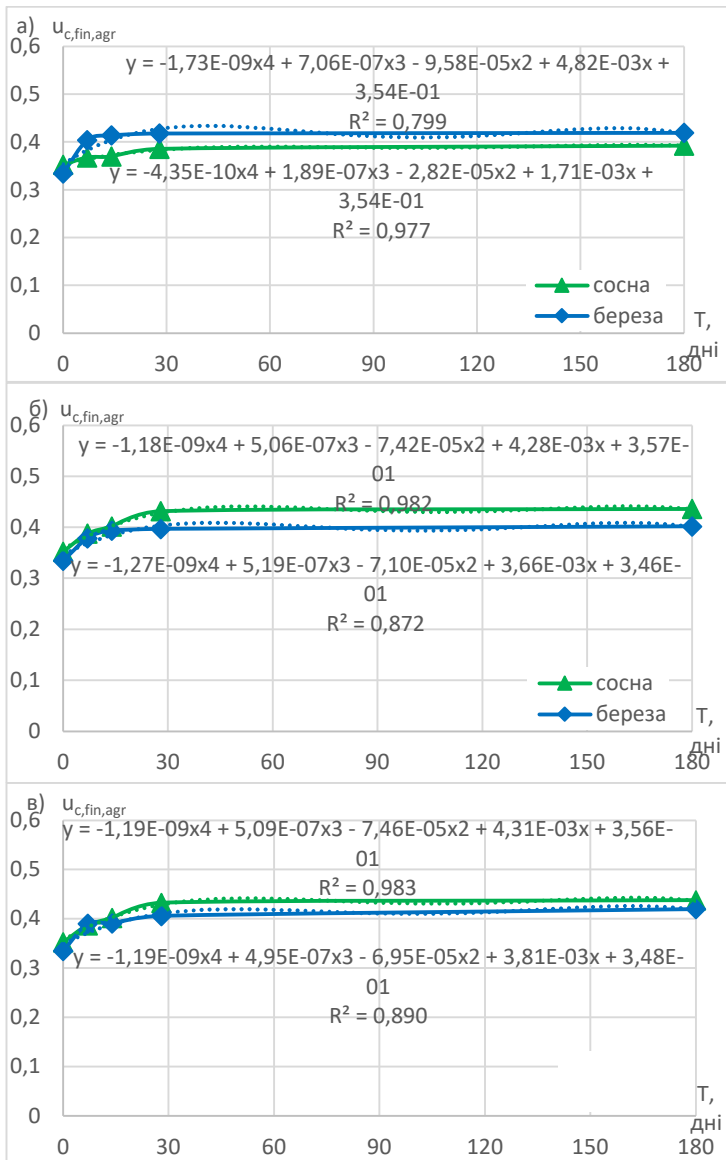


Рис. 3.21. Графіки зміни залишкових деформацій деревини сосни та берези з різним терміном просочення після дії різних кислот:

а) оцтової (9%), б) молочної (40%), в) соляної (15%)

РОЗДІЛ 4

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ВІДНОСНИХ КРИТИЧНИХ ТА ГРАНИЧНИХ ДЕФОРМАЦІЙ КОНСТРУКЦІЙНОЇ ДЕРЕВИНИ ПІСЛЯ ДІЇ НА НЕЇ КИСЛОТНИХ СЕРЕДОВИЩ

4.1. Апроксимація досліджених діаграм механічного стану конструкційної деревини після дії на неї кислотних середовищ з різним терміном просочення до функцій «напруження - відносні деформації»

На попередній стадії було проаналізовано десятки функцій, які можуть описувати діаграму «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » та ми зупинились на поліноміальних, які дають досить високу збіжність. Іншою задачею було визначити степінь даної функції. Було встановлено чим вищий степінь поліноміальної функції, тим вища збіжність дослідних та теоретичних даних. Але з іншої сторони високий степінь призводить до складності розрахунків та отриманні великої кількості додаткових коефіцієнтів. Проаналізувавши роботи [21, 34, 36, 158], приходимо до висновку, що необхідно приймати поліноміальну залежність з мінімальним ступенем, яка забезпечить високу збіжність дослідних та теоретичних даних. Такою функцією є поліном 4-го степеня. Він уже був апробований в роботі [34] при експлуатації деревини за різної вологості, тобто в агресивних середовищах (формула (1.1)). Ми також застосуємо дану залежність, при цьому врахувавши, той факт, що в нашому випадку деревина експлуатується не у водному, а у кислотних середовищах. Тому функцію (1.1) запишемо у наступному вигляді

$$\begin{aligned} \sigma_{c,agr} = & w_1 \cdot u_{c,agr} + w_2 \cdot \frac{u_{c,agr}^2}{u_{c,0,d,agr}} + w_3 \cdot \frac{u_{c,agr}^3}{u_{c,0,d,agr}^2} + \\ & + w_4 \cdot \frac{u_{c,agr}^4}{u_{c,0,d,agr}^3} = \sum_{i=1}^4 w_i \frac{u_{c,agr}^i}{u_{c,0,d,agr}^{i-1}}, \end{aligned} \quad (4.1)$$

де, w_1, w_2, w_3, w_4 – коефіцієнти поліному;

$u_{c,agr}$ – відносні деформації деревини після дії кислотних середовищ;

$u_{c,o,d,agr}$ – відносні критичні деформації деревини після дії на неї кислотних середовищ.

Використаємо залежність (4.1) для апроксимації діаграм (рис.3.1-3.12), отриманих в розділі 3.

4.1.1. Після дії оцтової кислоти

Для апроксимації повних діаграм «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » після дії оцтової кислоти (9%) на початковому етапі визначимо коефіцієнти поліному w_1, w_2, w_3, w_4 функції (4.1) за методикою Лагранжа, окремо для деревини берези та сосни, після 7, 14, 28 та 180 днів просочення (табл.4.1). Коефіцієнти встановимо за допомогою програмного комплексу Microsoft Excel.

Таблиця 4.1. Результати апроксимації дійсних (повних) діаграм деформування деревини берези та сосни «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » після дії оцтової кислоти (9%)

Порода деревини	Термін просочення	Коефіцієнти поліному				Коефіцієнт детермінації R^2
		w_1	w_2	w_3	w_4	
Береза	7 днів	12708,7	-4953,1	212,9	-2,0	0,991
Сосна	7 днів	12007,0	-4942,3	472,7	-6,1	0,985
Береза	14 днів	11571,8	-4568,4	266,0	-2,9	0,981
Сосна	14 днів	7958,2	142,2	-21,2	0,2	0,969
Береза	28 днів	8103,1	-1838,6	118,7	-1,3	0,988
Сосна	28 днів	12121,3	-6688,4	501,0	-6,1	0,941
Береза	180 днів	10316,8	-4296,8	366,3	-4,4	0,988
Сосна	180 днів	9504,3	-3845,7	272,5	-3,3	0,962

Після цього проведемо апроксимацію діаграм, для цього застосовуючи залежність (4.1) (рис.4.1 а,б,в,г,д,е,с,ж). Коефіцієнт детермінації R^2 теоретичних за формулою (4.1) та дослідних значень знаходиться в межах інтервалу 0,941...0,991. (табл.4.1).

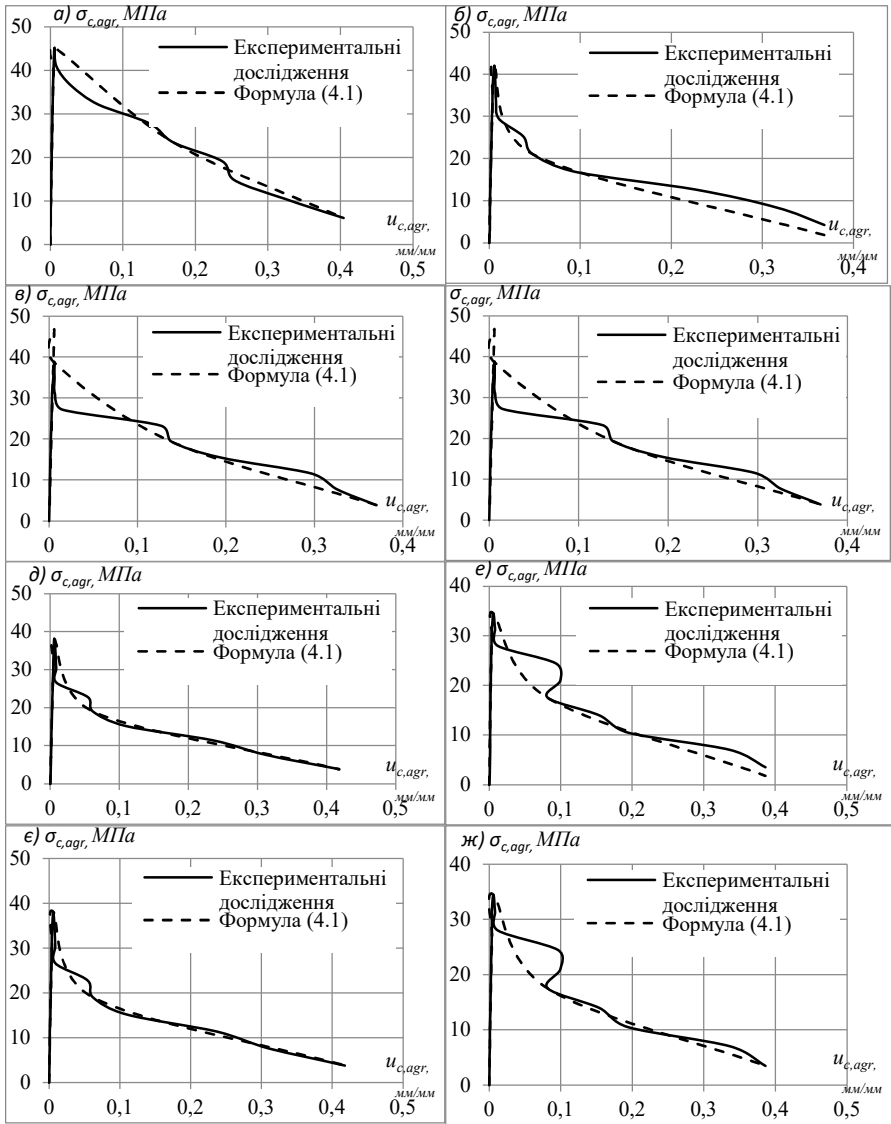


Рис. 4.1 Повні діаграми деревини, які побудовані за експериментальними значеннями та за формулою (4.1) після дії оцтової кислоти (9%):

а) береза 7 днів; б) сосна 7 днів; в) береза 14 днів; г) сосна 14 днів; д) береза 28 днів; е) сосна 28 днів; є) береза 180 днів; ж) сосна 180 днів

Отже, функція (4.1) дає досить високу збіжність. Використаємо її і для інших діаграм.

4.1.2. Після дії молочної кислоти

Аналогічним чином для апроксимації повних діаграм «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » після дії молочної кислоти (40%) на початковому етапі визначимо коефіцієнти поліному w_1, w_2, w_3, w_4 функції (4.1) за методикою Лагранжа, окремо для деревини берези та сосни, після 7, 14, 28 та 180 днів просочення (табл.4.2).

Таблиця 4.2. Результати апроксимації дійсних (повних) діаграм деформування деревини берези та сосни «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » після дії молочної кислоти (40%)

Порода деревини	Термін просочення	Коефіцієнти поліному				Коефіцієнт детермінації R^2
		w_1	w_2	w_3	w_4	
Береза	7 днів	14528,9	-7413,5	548,6	-6,6	0,971
Сосна	7 днів	13880,8	-6290,5	570,1	-6,3	0,991
Береза	14 днів	12999,2	-7176,8	519,5	-6,2	0,972
Сосна	14 днів	12305,8	-6604,4	843,4	-10,0	0,981
Береза	28 днів	8266,3	-3406,9	366,4	-4,9	0,982
Сосна	28 днів	11966,1	-7340,0	1230,9	-14,7	0,952
Береза	180 днів	11327,9	-6477,3	750,1	-9,3	0,985
Сосна	180 днів	11488,0	-6413,9	570,5	-6,3	0,976

Після цього проведемо апроксимацію діаграм, для цього застосовуючи залежність (4.1) (рис.4.2а,б,в,г,д,е,є,ж). Коефіцієнт детермінації R^2 теоретичних за формулою (4.1) та дослідних значень знаходиться в межах інтервалу 0,952...0,991. (табл.4.2).

Отже, збіжність також є досить високою.

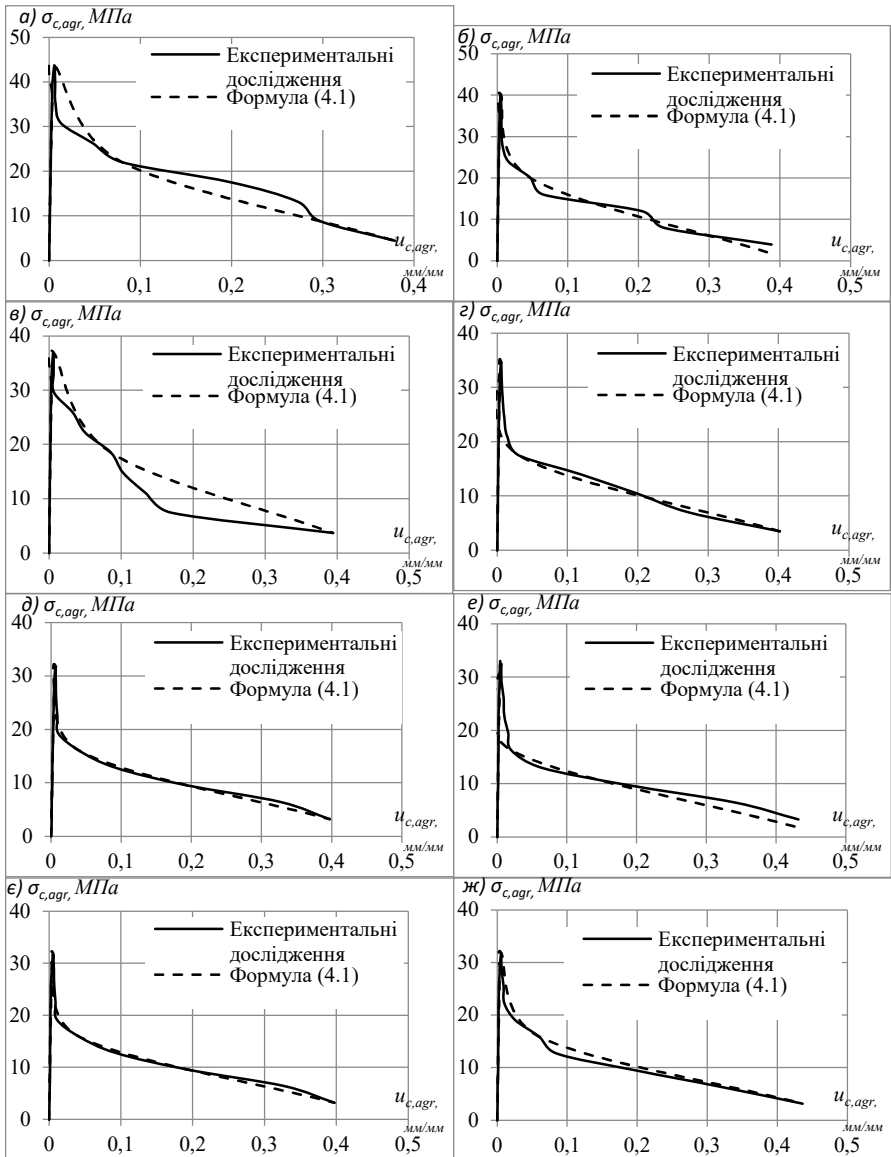


Рис. 4.2 Повні діаграми деформування деревини, які побудовані за експериментальними значеннями та за формулою (4.1) після дії молочної кислоти (40%): а) береза 7 днів; б) сосна 7 днів; в) береза 14 днів; г) сосна 14 днів; д) береза 28 днів; е) сосна 28 днів; ж) береза 180 днів; з) сосна 180 днів

4.1.3. Після дії соляної кислоти

Аналогічним чином для апроксимації повних діаграм «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » після дії соляної кислоти (15%) на початковому етапі визначимо коефіцієнти поліному w_1, w_2, w_3, w_4 функції (4.1) за методикою Лагранжа, окремо для деревини берези та сосни, після 7, 14, 28 та 180 днів просочення (табл.4.3).

Таблиця 4.3. Результати апроксимації дійсних (повних) діаграм деформування деревини берези та сосни «напруження $\sigma_{c,agr}$ – відносні деформації $u_{c,agr}$ » після дії соляної кислоти (15%)

Порода деревини	Термін просочення	Коефіцієнти поліному				Коефіцієнт детермінації R^2
		w_1	w_2	w_3	w_4	
Береза	7 днів	10979,6	-3885,2	165,5	-1,6	0,984
Сосна	7 днів	11189,3	-4558,3	504,9	-6,2	0,971
Береза	14 днів	10258,5	-4427,9	278,1	-3,1	0,985
Сосна	14 днів	9211,8	-4074,4	461,6	-5,4	0,972
Береза	28 днів	5511,0	-787,9	28,9	-0,3	0,973
Сосна	28 днів	8626,6	-4343,6	266,8	-2,8	0,959
Береза	180 днів	5011,2	-854,5	25,2	-0,2	0,977
Сосна	180 днів	7957,4	-3877,1	124,6	-1,0	0,984

Після цього проведемо апроксимацію діаграм, для цього застосовуючи залежність (4.1) (рис.4.3а,б,в,г,д,е,ж). Коефіцієнт детермінації R^2 теоретичних за формулою (4.1) та дослідних значень знаходиться в межах інтервалу 0,952...0,991. (табл.4.3).

Отже, збіжність також є досить високою.

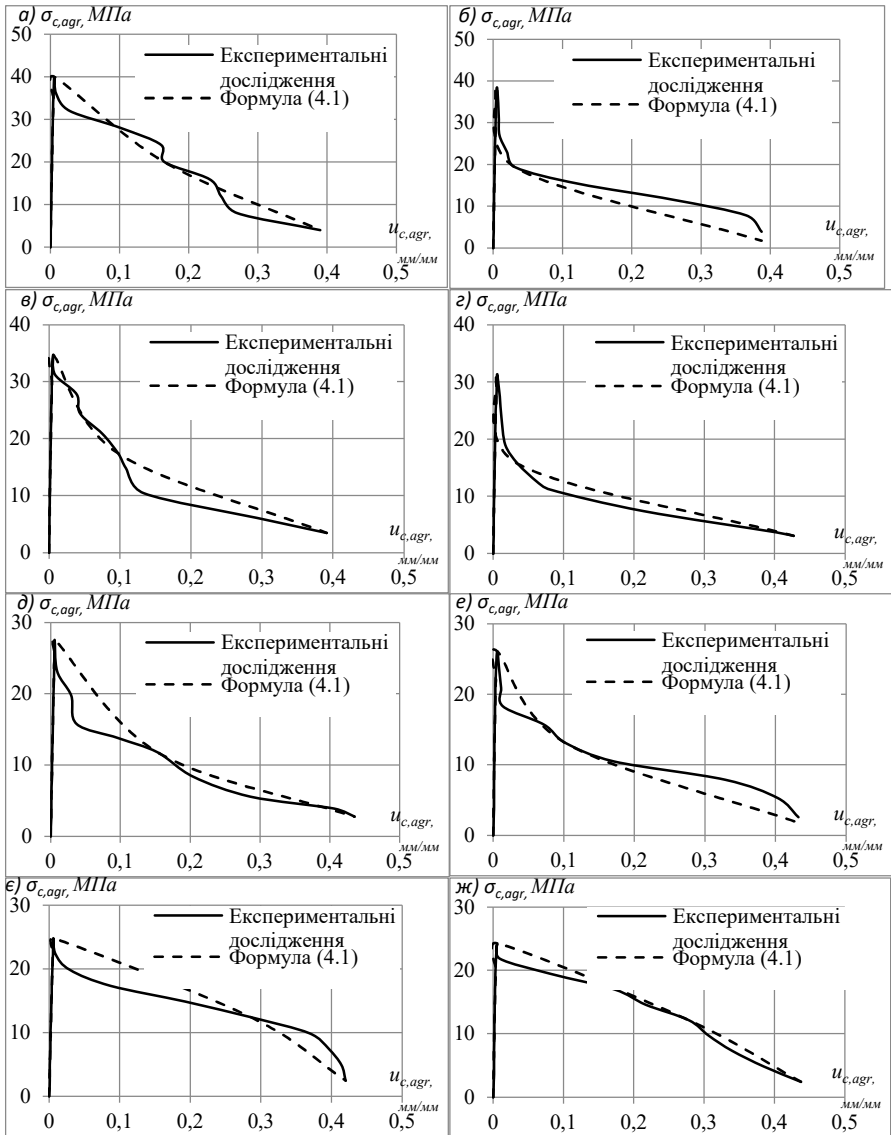


Рис. 4.3 Повні діаграми деформування деревини, які побудовані за експериментальними значеннями та за формулою (4.1) після дії соляної кислоти (15%): а) береза 7 днів; б) сосна 7 днів; в) береза 14 днів; г) сосна 14 днів; д) береза 28 днів; е) сосна 28 днів; з) береза 180 днів; ж) сосна 180 днів

4.2. Теоретичний підхід до визначення відносних критичних деформацій конструкційної деревини після дії на неї кислотних середовищ з різним терміном просочення

Відносні критичні деформації деревини знаходяться на вершині діаграми «напруження – відносні деформації» (рис.1.13). Одні вчені пропонують визначати їх експериментальним шляхом, інші – окрім експериментального пропонують знаходити і теоретичним.

В роботі [34] автори наводять методику для визначення відносних критичних деформацій деревини з врахуванням її пружно-пластичних властивостей. Дану методику можливо застосовувати для деревини листяних та хвойних порід різного віку за вологості в межах від 12 до 30%. Отже, відносні критичні деформації можливо знайти за формулами (1.2) та (1.3). Оскільки дані формул містять пружну та пластичну складові, то можливо також визначити окремо їх значення.

В нас задача є дещо складнішою оскільки ми маємо врахувати ще й вплив кислотних середовищ на деформівні властивості деревини. Отже, залежності (1.2) та (1.3) запишемо, врахувавши вплив кислотних середовищ на деформівні властивості деревини

$$u_{c,0,d,agr} = u_{c,el,agr} + u_{c,pl,agr}, \quad (4.2)$$

де $u_{c,el,agr}$ – відносна пружна деформація деревини після дії кислотних середовищ;

$u_{c,pl,agr}$ – відносна пластична деформація деревини після дії кислотних середовищ.

Остаточний вигляд формула (4.2), враховуючи $u_{c,el}$ та $u_{c,pl}$, матимемо

$$u_{c,0,d,agr} = f_{c,0,d,agr}/E_{0,agr} + a \cdot c_1 \cdot f_{c,0,d,agr}^2, \quad (4.3)$$

де $f_{c,0,d,agr}$ – тимчасова гранична міцність деревини після дії кислотних середовищ;

$E_{0,agr}$ – початковий модуль пружності деревини після дії кислотних середовищ;

c_1 – коефіцієнт, що залежить від вологості і віку деревини.

a – коефіцієнт, що залежить від виду, концентрації та терміну просочення кислотного середовища.

Спочатку знайдемо відносні критичні деформації деревини берези та сосни, а також пружні та пластичні складові, за стандартної вологості 12% за методикою, яка наведена в роботі [34] за формулами (1.2) та (1.3) та порівняємо їх з дослідними значеннями (табл.4.4).

В підрозділах 4.2.1, 4.2.2, 4.2.3 визначимо теоретичним шляхом критичні деформації досліджуваних порід деревини після дії кислотних середовищ за формулою (4.3), а також встановимо окремо пружну та пластичну складові. Отримані результати порівняємо з дослідними даними, які визначені за стандартної вологості 12%.

Таблиця 4.4. Дослідні значення усереднених відносних критичних деформацій деревини берези та сосни за стандартної вологості 12% та відповідні значення відносних критичних деформацій визначених за формулою (1.3)

Порода деревини	$f_{c,0,d}$ МПа	E_0 , МПа	$u_{c,0,d,th}$ формула (1.3)	$u_{c,el,th}$ формула (1.3)	$u_{c,pl,th}$ формула (1.3)	$u_{c,0,d,exp}$	$\delta, \%$
Береза	47,6	12300	0,00535	0,00387	0,00148	0,00521	-2,7
Сосна	44,2	12900	0,00471	0,00343	0,00128	0,00491	4,1

4.2.1. Після дії оцтової кислоти

За залежністю (4.3) визначимо усереднені відносні критичні деформації деревини берези та сосни після дії оцтової кислоти (9%), а також пружну та пластичну складові (табл.4.5).

Порівнюючи результати отримані на основі проведених експериментальних досліджень та теоретичним шляхом за формулою (4.3), було встановлено, що максимальна розбіжність складає $\delta=14,2\%$.

Також проведемо аналіз отриманих результатів з теоретичними даними визначеними за стандартної вологості 12%.

Таблиця 4.5

Дослідні значення усереднених відносних критичних деформацій деревини берези та сосни після дії оцтової кислоти (9%) та відповідні значення відносних критичних деформацій визначених за формулою (4.3)

Порода деревини	Термін просочення, дні	$f_{c,0,d,agr}$, МПа	$E_{0,agr}$, МПа	a	$u_{c,0,d,exp,agr}$	$u_{c,0,d,th,agr}$ формула (4.3)	$u_{c,el,th,agr}$ формула (4.3)	$u_{c,pl,th,agr}$ формула (4.3)	$\delta, \%$
Береза	7	45,2	11500	1,06	0,00568	0,00535	0,00393	0,00142	5,8
Сосна	7	42,1	10400	1,06	0,00559	0,00528	0,00405	0,00123	5,6
Береза	14	40,8	11000	1,5	0,00589	0,00534	0,00371	0,00164	9,3
Сосна	14	41,3	10200	1,5	0,00578	0,00572	0,00405	0,00168	1,0
Береза	28	38,1	9100	2,77	0,00597	0,00682	0,00419	0,00263	-14,2
Сосна	28	34,5	9700	2,77	0,00582	0,00572	0,00356	0,00216	1,8
Береза	180	35,7	8600	3,22	0,00606	0,00684	0,00415	0,00269	-12,9
Сосна	180	34	9400	3,22	0,00584	0,00606	0,00362	0,00244	-3,7

Отже, відносні критичні деформації деревини берези за терміну просочення 7 днів (табл.4.5), які визначені теоретичним шляхом, практично не змінилися і залишалися на позначці $u_{c,0,d,agr,th}=0,00535$ в порівнянні зі зразками встановлених за стандартної вологості 12%; в свою чергу для деревини сосни зросли в 1,12 рази до відмітки $u_{c,0,d,agr,th}=0,00528$. Пружна складова відносних критичних деформацій деревини берези незначно збільшилась до позначки $u_{c,el,th}=0,00393$, пластична – не значно зменшилась в в 1,04 рази і знаходилася на відмітці $u_{c,el,th}=0,00142$; для деревини сосни пружна – збільшилась в 1,18 рази ($u_{c,el,th}=0,00405$), пластична – не значно зменшилась в в 1,04 рази ($u_{c,el,th}=0,00123$).

За терміну просочення 14 днів відносні критичні деформації деревини берези продовжували залишатися майже не змінними ($u_{c,0,d,agr,th}=0,00534$) в порівнянні з призмами за стандартної вологості 12%; для сосни збільшилися в 1,21 рази ($u_{c,0,d,agr,th}=0,00572$). Таким чином пружна складова відносних критичних деформацій деревини берези незначно зменшилась в 1,04 рази до позначки $u_{c,el,th}=0,00371$, пластична – зросла в 1,11 рази до відмітки $u_{c,el,th}=0,00164$; деревини сосни пружна не

змінилася ($u_{c,el,th} = 0,00405$), пластична зросла в 1,31 рази ($u_{c,el,th} = 0,00168$).

За терміну просочення 28 днів відносні критичні деформації деревини берези зросли в 1,27 рази ($u_{c,0,d,agr,th} = 0,00682$) в порівнянні з призмами за стандартної вологості 12%; для сосни зросли в 1,21 рази ($u_{c,0,d,agr,th} = 0,00572$). Таким чином пружна складова відносних критичних деформацій деревини берези збільшилась в 1,08 рази до позначки $u_{c,el,th} = 0,00419$, пластична – значно зросла в 1,78 рази до відмітки $u_{c,el,th} = 0,00263$; деревини сосни пружна зросла лише в 1,04 рази в порівнянні з призмами за стандартної вологості 12% ($u_{c,el,th} = 0,00356$), пластична зросла в 1,69 рази ($u_{c,el,th} = 0,00216$).

Відносні критичні деформації деревини берези за терміну просочення 180 днів (табл.4.5) збільшились в 1,28 рази та досягли позначки $u_{c,0,d,agr,th} = 0,00684$ в порівнянні зі зразками встановлених за стандартної вологості 12%; в свою чергу для деревини сосни зросли в 1,29 рази до відмітки $u_{c,0,d,agr,th} = 0,00606$. Пружна складова відносних критичних деформацій деревини берези зросла в 1,07 рази до позначки $u_{c,el,th} = 0,00415$, пластична – зросла в 1,82 рази до відмітки $u_{c,el,th} = 0,00269$; для деревини сосни пружна – в 1,06 рази ($u_{c,el,th} = 0,00362$), пластична – в 1,91 рази ($u_{c,el,th} = 0,00244$).

Отже, після дії оцтової кислоти відносні критичні деформації досліджуваних порід деревини за 180 днів просочення зросли в 1,28 рази, при цьому пружна складова збільшилась незначно в 1,07 рази, а пластична суттєво в 1,82 – 1,91 рази.

4.2.2. Після дії молочної кислоти

Таким самим чином за формулою (4.3) визначимо усереднені критичні деформації деревини берези та сосни після дії молочної кислоти (40%), а також пружну та пластичну складові (табл.4.6).

Таблиця 4.6. Дослідні значення усереднених відносних критичних деформацій деревини берези та сосни після дії молочної кислоти (40%) та відповідні значення відносних критичних деформацій визначених за формулою (4.3)

Порода деревини	Термін просочення, дні	$f_{c,0,d,agr}$, МПа	$E_{0,agr}$, МПа	a	$u_{c,0,d,exp,agr}$	$u_{c,0,d,th,agr}$ формула (4.3)	$u_{c,el,th,agr}$ формула (4.3)	$u_{c,pl,th,agr}$ формула (4.3)	$\delta, \%$
Береза	7	43,8	11700	1,41	0,00572	0,00552	0,00375	0,00177	3,6
Сосна	7	40,2	11800	1,41	0,00493	0,00490	0,00341	0,00149	0,6
Береза	14	37	11000	2,45	0,00584	0,00556	0,00336	0,00220	4,8
Сосна	14	34,7	10500	2,45	0,00531	0,00524	0,00331	0,00193	1,4
Береза	28	31,9	8700	3,22	0,00611	0,00581	0,00367	0,00215	4,9
Сосна	28	32,6	8600	3,22	0,00558	0,00603	0,00379	0,00224	-8,1
Береза	180	30	8400	3,83	0,0062	0,00583	0,00357	0,00226	6,0
Сосна	180	31,8	8400	3,83	0,00564	0,00632	0,00379	0,00254	-12,1

Порівнюючи результати отримані на основі проведених експериментальних досліджень та визначені теоретичним шляхом за формулою (4.3), було встановлено, що максимальна розбіжність складає $\delta = 12,1\%$.

Також проведемо аналіз отриманих результатів з теоретичними даними визначеними за стандартної вологості 12%.

Отже, відносні критичні деформації деревини берези за терміну просочення 7 днів (табл.4.6), які визначені теоретичним шляхом, збільшились в 1,03 рази та досягли позначки $u_{c,0,d,agr,th} = 0,00552$ в порівнянні зі зразками встановлених за стандартної вологості 12%; в свою чергу для деревини сосни зросли в 1,04 рази до відмітки $u_{c,0,d,agr,th} = 0,00490$. Пружна складова відносних критичних деформацій деревини берези зменшилась в 1,03 рази до позначки $u_{c,el,th} = 0,00375$, пластична – зросла в 1,20 рази до відмітки $u_{c,el,th} = 0,00177$; для деревини сосни незначно зменшилась ($u_{c,el,th} = 0,00341$), пластична зросла в 1,16 рази ($u_{c,el,th} = 0,00149$).

За терміну просочення 14 днів відносні критичні деформації деревини берези збільшились в 1,04 рази ($u_{c,0,d,agr,th} = 0,00556$) в порівнянні з призмами за стандартної вологості 12%; для сосни –

в 1,11 рази ($u_{c,0,d,agr,th}=0,00524$). Таким чином пружна складова відносних критичних деформацій деревини берези зменшилась в 1,15 рази до позначки $u_{c,el,th}=0,00336$, пластична – зросла в 1,49 рази до відмітки $u_{c,el,th}=0,00220$; деревини сосни пружна падає в 1,04 рази ($u_{c,el,th}=0,00331$), пластична зросла в 1,51 рази ($u_{c,el,th}=0,00193$).

За терміну просочення 28 днів відносні критичні деформації деревини берези зросли в 1,09 рази ($u_{c,0,d,agr,th}=0,00581$) в порівнянні з призмами за стандартної вологості 12%; для сосни значно більше в 1,27 рази ($u_{c,0,d,agr,th}=0,00603$). Таким чином пружна складова відносних критичних деформацій деревини берези зменшилась в 1,05 рази до позначки $u_{c,el,th}=0,00367$, пластична – зросла в 1,45 рази до відмітки $u_{c,el,th}=0,00215$; деревини сосни пружна збільшилася в 1,10 рази ($u_{c,el,th}=0,00379$), пластична зросла в 1,75 рази ($u_{c,el,th}=0,00224$).

Відносні критичні деформації деревини берези за терміну просочення 180 днів (табл.4.6) незначно збільшились до позначки $u_{c,0,d,agr,th}=0,00583$ в порівнянні зі зразками встановлених за стандартної вологості 12%; в свою чергу для деревини сосни зросли в 1,34 рази до відмітки $u_{c,0,d,agr,th}=0,00632$. Пружна складова відносних критичних деформацій деревини берези впала в 1,08 рази до позначки $u_{c,el,th}=0,00357$, пластична – зросла в 1,53 рази до відмітки $u_{c,el,th}=0,00226$; для деревини сосни пружна збільшилася в 1,10 рази ($u_{c,el,th}=0,00379$), пластична зросла суттєво в 1,98 рази ($u_{c,el,th}=0,00254$).

Отже, після дії молочної кислоти відносні критичні деформації досліджуваних порід деревини за 180 днів просочення зросли в 1,09-1,34 рази, при цьому пружна складова вела себе по-різному для зразків деревини берези зменшилася в 1,08 рази, для зразків деревини сосни зросла в 1,1 рази, а пластична суттєво зросла в 1,53-1,98 рази.

4.2.3. Після дії соляної кислоти

За формулою (4.3) визначимо усереднені критичні деформації деревини берези та сосни після дії соляної кислоти (15%), а також їх пружну та пластичну складові (табл.4.7).

Таблиця 4.7. Дослідні значення усереднених відносних критичних деформацій деревини берези та сосни після дії соляної кислоти (15%) та відповідні значення відносних критичних деформацій визначених за формулою (4.3)

Порода деревини	Термін просочення, дні	$f_{c,0,d,agr}$, МПа	$E_{0,agr}$, МПа	a	$u_{c,0,d,exp,agr}$	$u_{c,0,d,th,agr}$ формула (4.3)	$u_{c,el,th,agr}$ формула (4.3)	$u_{c,pl,th,agr}$ формула (4.3)	$\delta, \%$
Береза	7	40,1	10000	1,81	0,00551	0,00592	0,00401	0,00191	-7,4
Сосна	7	38,5	10600	1,81	0,0054	0,00539	0,00363	0,00176	0,2
Береза	14	34,8	9300	2,87	0,00569	0,00602	0,00374	0,00228	-5,8
Сосна	14	31,4	8800	2,87	0,00561	0,00542	0,00357	0,00185	3,4
Береза	28	27,4	7400	4,95	0,00581	0,00614	0,00371	0,00243	-5,6
Сосна	28	26,1	8100	4,95	0,00574	0,00543	0,00322	0,00221	5,4
Береза	180	24,8	7100	6,62	0,00594	0,00616	0,00349	0,00267	-3,7
Сосна	180	24,3	7700	6,62	0,00578	0,00572	0,00316	0,00256	1,1

Порівнюючи результати отримані на основі проведених експериментальних досліджень та визначені теоретичним шляхом за формулою (4.3), було встановлено, що максимальна розбіжність складає $\delta = 7,4\%$.

Також проведемо аналіз отриманих результатів з теоретичними даними визначеними за стандартної вологості 12%.

Отже, відносні критичні деформації деревини берези за терміну просочення 7 днів (табл.4.5), які визначені теоретичним шляхом, збільшились в 1,11 рази та досягли позначки $u_{c,0,d,agr,th} = 0,00592$ в порівнянні зі зразками встановлених за стандартної вологості 12%; в свою чергу для деревини сосни зросли в 1,14 рази до відмітки $u_{c,0,d,agr,th} = 0,00539$. Пружна складова відносних критичних деформацій деревини берези зменшилась в 1,03 рази до позначки $u_{c,el,th} = 0,00374$, пластична – зросла в 1,78 рази до

відмітки $u_{c,el,th}=0,00228$; для деревини сосни пружна – зросла в 1,06 рази ($u_{c,el,th}=0,00363$), пластична – в 1,38 рази ($u_{c,el,th}=0,00176$).

За терміну просочення 14 днів відносні критичні деформації деревини берези продовжували незначно збільшуватись в 1,13 рази ($u_{c,0,d,agr,th}=0,00602$) в порівнянні з призмами за стандартної вологості 12%; для сосни – більше в 1,15 рази ($u_{c,0,d,agr,th}=0,00542$). Таким чином пружна складова відносних критичних деформацій деревини берези незначно зменшилась в 1,03 рази до позначки $u_{c,el,th}=0,00374$, пластична – зросла в 1,54 рази до відмітки $u_{c,el,th}=0,00228$; деревини сосни пружна – зросла в 1,04 рази ($u_{c,el,th}=0,00357$), пластична зросла в 1,45 рази ($u_{c,el,th}=0,00185$).

За терміну просочення 28 днів відносні критичні деформації деревини берези зросли в 1,15 рази ($u_{c,0,d,agr,th}=0,00614$) в порівнянні з призмами за стандартної вологості 12%; для сосни також в 1,15 рази ($u_{c,0,d,agr,th}=0,00543$). Таким чином пружна складова відносних критичних деформацій деревини берези зменшилась в 1,04 рази до позначки $u_{c,el,th}=0,00371$, пластична – зросла в 1,64 рази до відмітки $u_{c,el,th}=0,00243$; деревини сосни пружна зменшилась в 1,03 рази ($u_{c,el,th}=0,00332$), пластична зросла в 1,73 рази ($u_{c,el,th}=0,00221$).

Відносні критичні деформації деревини берези за терміну просочення 180 днів (табл.4.7) збільшились в 1,15 рази та досягли позначки $u_{c,0,d,agr,th}=0,00616$ в порівнянні зі зразками встановлених за стандартної вологості 12%; в свою чергу для деревини сосни зросли в 1,21 рази до відмітки $u_{c,0,d,agr,th}=0,00572$. Пружна складова відносних критичних деформацій деревини берези впала в 1,11 рази до позначки $u_{c,el,th}=0,00349$, пластична – зросла в 1,80 рази до відмітки $u_{c,el,th}=0,00267$; для деревини сосни пружна зменшилась в 1,09 рази ($u_{c,el,th}=0,00316$), пластична збільшилась фактично в 2,00 рази ($u_{c,el,th}=0,00256$).

Отже, після дії соляної кислоти відносні критичні деформації досліджуваних порід деревини за 180 днів просочення зросли в 1,15-1,21 рази, при цьому пружна складова

зменшилась в 1,09-1,11 рази, а пластична зросла суттєво в 1,80-2,00 рази.

4.3. Теоретичний підхід до визначення відносних граничних деформацій конструкційної деревини за стандартної вологості та після дії кислотних середовищ з різним терміном просочення

Як уже зазначалося в розділі 3, визначення значень відносних граничних деформацій конструкційної деревини експериментальним шляхом є практично неможливим, у зв'язку з чим виникає необхідність їх моделювання. Відомо лише, що ці деформації розташовуються на спадній гілці отриманих діаграм деформування «напруження – відносні деформації» (рис. 3.1–3.12) і відповідають завершенню III ділянки модельної діаграми (рис. 1.13), яка використовувалася для аналізу в розділі 3. Проте зазначена характеристика в цьому розділі не наводилася, тому її визначення здійснюється в межах даного пункту.

Згідно з [34], відносні граничні деформації конструкційної деревини різних хвойних і листяних порід $u_{c,u}$ являють собою такі відносні деформації, які можуть відповідати деформаціям деревини згинального елемента у стиснутій зоні розрахункового поперечного перерізу за досягнення максимального (руйнівного) згинального моменту M_d . Ці деформації відповідають рівню відносних напружень, що знаходяться на спадній вітці діаграми «напруження – відносні деформації» (рис. 1.13).

Для визначення відносних граничних деформацій деревини використаємо методологію, запропоновану Гомоном Св. Св. у роботі [34], адаптувавши її до умов роботи матеріалу в кислотних середовищах.

З метою визначення відносних граничних деформацій для пружно-пластичного матеріалу необхідно побудувати діаграму деформування «момент – кривина» для згинального елемента прямокутного поперечного перерізу з конструкційної деревини. Побудова такої діаграми здійснюється у певній послідовності: спочатку встановлюється напружено-деформований стан

згинального елемента, далі формуються діаграми деформування матеріалу, після чого виконуються всі необхідні розрахунки для побудови залежності «момент – кривина».

Основними умовами для визначення напружено-деформованого стану згинального елемента є:

1) виконання всіх рівнянь рівноваги, що виникають у поперечному перерізі елемента (рис. 4.4);

$$\begin{cases} \sum N_x = 0; \\ \sum M_z = 0; \end{cases} \quad (4.4)$$

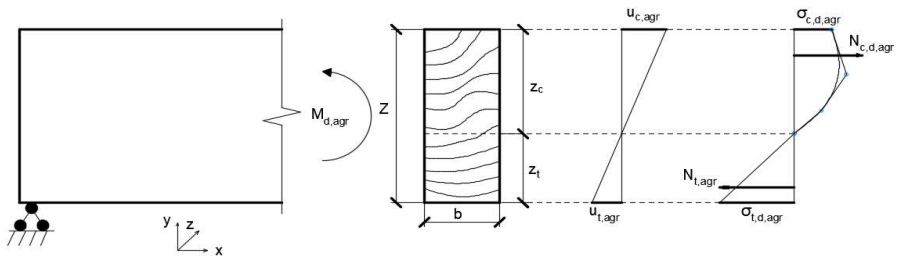


Рис. 4.4. Напружено-деформований стан прямокутного поперечного перерізу згинального елемента

2) лінійний характер розподілу деформацій у межах поперечного перерізу;

3) використання діаграм деформування деревини за стиску вздовж волокон у стиснутій зоні розрахункового поперечного перерізу згинального елемента, отриманих на основі проведених експериментальних досліджень;

4) застосування діаграм деформування за розтягу вздовж волокон у розтягнутій зоні розрахункового поперечного перерізу згинального елемента, сформованих на основі результатів експериментальних досліджень інших авторів [7, 35].

Функціональну залежність для опису діаграми деформування конструкційної деревини з обмеженням у точці граничних деформацій при осьовому стиску вздовж волокон після дії кислотних середовищ подаємо у такому вигляді

$$\sigma_{c,d,agr} = f_c(u) = \sum_{i=1}^4 w_i \frac{u_{c,agr}^i}{u_{c,0,d,agr}^{i-1}}, \quad (4.5)$$

де $\sigma_{c,d,agr}$ – нормальне напруження стиску вздовж волокон після дії кислотних середовищ;

$u_{c,d,agr}$ – відносна деформація стиску після дії кислотних середовищ;

W_i – коефіцієнти полінома (4.5).

Напруження в розтягнутій зоні визначаємо за формулою

$$\sigma_{t,d,agr} = f_t(u) = E_{0,agr} \cdot u_{t,agr}, \quad (4.6)$$

де $\sigma_{t,d,agr}$ – нормальне напруження розтягу вздовж волокон після дії кислотних середовищ;

$u_{t,d,agr}$ – відносні деформації розтягу після дії кислотних середовищ.

Використовуючи залежності (4.5) та (4.6), визначимо внутрішні зусилля стиску та розтягу, які виникають в перерізі від дії зовнішнього моменту:

- за стиску

$$N_{c,d,agr} = b \cdot z_c \sum_{i=1}^4 \frac{w_i}{i+1} \cdot \frac{w_c^i}{u_{c,0,d,agr}^{i-1}} \quad (4.7)$$

- за розтягу

$$N_{t,d,agr} = b \cdot z_t \cdot \frac{E_{0,agr} \cdot u_{t,agr}}{2}. \quad (4.8)$$

Внутрішні згинальні моменти, які сприймає стиснута та розтягнута зони в згинальному елементі прямокутного перерізу з урахуванням діаграм механічного стану матеріалу:

- для стиснутої зони

$$M_{c,d,agr} = b \cdot z_c^2 \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{w_i}{i+2} \cdot \frac{u_c^i}{u_{c,0,d,agr}^{i-1}}; \quad (4.9)$$

- для розтягнутої зони

$$M_{t,d,agr} = b \cdot z_t^2 \cdot \frac{E_{0,agr} \cdot u_{t,agr}}{3}. \quad (4.10)$$

Сумарний згинальний момент, який може сприйняти розрахунковий поперечний переріз елемента від дії зовнішнього навантаження, що працює на поперечний згин, можна записати у вигляді

$$M_{d,agr} = b \cdot z_c^2 \cdot \sum_{i=1}^4 \frac{w_i}{i+2} \cdot \frac{u_{c,agr}^i}{u_{c,0,d,agr}^{i-1}} + b \cdot z_t^2 \cdot \frac{E_{0,agr} \cdot u_{t,agr}}{3} \quad (4.11)$$

Отже, відповідно до алгоритму, запропонованого Гомоном Св. Св. [34], спочатку будемо діаграму «момент–кривина», а надалі — діаграму «момент–деформація», за якою визначаємо значення відносних деформацій при досягненні максимального моменту. Саме це значення відповідає граничним деформаціям конструкційної деревини після дії кислотних середовищ $u_{c,u,agr}$.

Запропоновану вище методологію використаємо для встановлення відносних граничних деформацій конструкційної деревини берези та сосни після дії оцтової, молочної та соляної кислот за різної тривалості просочення. Усі необхідні розрахунки виконувалися з використанням програмного комплексу Microsoft Excel.

Крім того, буде побудовано діаграми деформування з обмеженням у точці граничних деформацій, а також на основі проведених експериментальних досліджень встановлено залежності критичних деформацій від граничних.

Аналіз отриманих значень відносних граничних деформацій конструкційної деревини після впливу кислотних середовищ здійснюватимемо шляхом порівняння з відповідними значеннями відносних граничних деформацій, визначеними за стандартної вологості 12%. Зазначені величини наведено в п. 2.5.1.

4.3.1. Після дії оцтової кислоти

За вище наведеною методологією визначимо значення відносних граничних деформацій конструкційної деревини берези та сосни після дії оцтової кислоти (9%) (табл.4.8).

Враховуючи отримані значення відносних граничних деформацій досліджуваних порід деревини після дії оцтової кислоти побудуємо діаграми «напруження – відносні деформації» з обмеженням в точці граничних деформацій (рис.4.6а,б,в,г).

Отже, відносні граничні деформації деревини берези за терміну просочення 7 днів (табл.4.8, рис.4.6а) зросли в 1,62 рази ($u_{c,u,agr} = 0,01247$) в порівнянні зі зразками встановленими за

стандартної вологості 12%; в свою чергу для деревини сосни збільшилися в 1,31 рази до відмітки $u_{c,u,agr}=0,00887$.

Таблиця 4.8. Значення відносних граничних деформацій конструкційної деревини берези та сосни після дії оцтової кислоти (9%)

Порода деревини	Термін просочення	Коефіцієнти поліному				Кривина	Момент, кН*м	$U_{c,u,agr}$
		w_1	w_2	w_3	w_4			
Береза	7 днів	12708,7	-4953,1	212,9	-2,0	94,2	16,5	0,01247
Сосна	7 днів	12007,0	-4942,3	472,7	-6,1	80,1	19,9	0,00887
Береза	14 днів	11571,8	-4568,4	266,0	-2,9	81,1	15,9	0,01256
Сосна	14 днів	7958,2	142,2	-21,2	0,2	71,8	17,9	0,00904
Береза	28 днів	8103,1	-1838,6	118,7	-1,3	87,9	15,1	0,01265
Сосна	28 днів	12121,3	-6688,4	501,0	-6,1	76,4	14,2	0,00988
Береза	180 днів	10316,8	-4296,8	366,3	-4,4	77,0	14,2	0,01286
Сосна	180 днів	9504,3	-3845,7	272,5	-3,3	65,5	13,0	0,01019

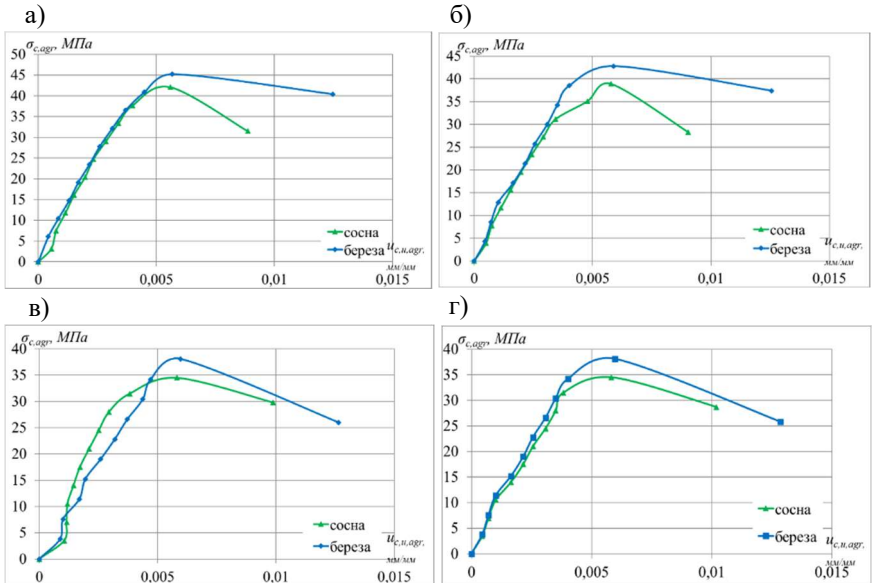


Рис. 4.6 Діаграми деформування конструкційної деревини берези та сосни з обмеженням в точці граничних деформацій після дії оцтової кислоти (9%) з терміном просочення: а) 7 днів; б) 14 днів; в) 28 днів; г) 180 днів

За терміну просочення 14 днів (табл.4.8, рис.4.6б) відносні граничні деформації деревини берези збільшилися в 1,63 рази до позначки $u_{c,u,agr}=0,01256$ в порівнянні з призмами за стандартної вологості 12%; для сосни зросли в 1,33 рази ($u_{c,u,agr}=0,00904$).

За терміну просочення 28 днів (табл.4.8, рис.4.6в) відносні граничні деформації деревини берези зросли в 1,64 рази ($u_{c,u,agr}=0,01265$) в порівнянні з призмами за стандартної вологості 12%; для сосни зросли в 1,45 рази ($u_{c,u,agr}=0,00988$).

Відносні граничні деформації деревини берези за терміну просочення 180 днів (табл.4.8, рис.4.6г) збільшилися в 1,67 рази та досягли позначки $u_{c,u,agr}=0,01286$ в порівнянні зі зразками встановлених за стандартної вологості 12%; в свою чергу для деревини сосни зросли в 1,48 рази до відмітки $u_{c,u,agr}=0,01019$.

Отже, після дії оцтової кислоти відносні граничні деформації досліджуваних порід деревини за 180 днів просочення зросли в 1,48-1,67 рази.

Для полегшення подальших розрахунків запишемо залежності відносних граничних деформацій від критичних (формули 4.12-4.19).

За терміну просочення 7 днів:

– для деревини берези

$$u_{c,u,agr} = 2,20 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.12)$$

– для деревини сосни

$$u_{c,u,agr} = 1,59 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.13)$$

За терміну просочення 14 днів:

– для деревини берези

$$u_{c,u,agr} = 2,13 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.14)$$

– для деревини сосни

$$u_{c,u,agr} = 1,56 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.15)$$

За терміну просочення 28 днів:

– для деревини берези

$$u_{c,u,agr} = 2,12 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.16)$$

– для деревини сосни

$$u_{c,u,agr} = 1,70 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.17)$$

За терміну просочення 180 днів:

– для деревини берези

$$u_{c,u,agr} = 2,12 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.18)$$

– для деревини сосни

$$u_{c,u,agr} = 1,74 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.19)$$

4.3.2. Після дії молочної кислоти

Аналогічним чином визначимо значення відносних граничних деформацій конструкційної деревини берези та сосни після дії молочної кислоти (40%) (табл.4.9).

Таблиця 4.9

Значення відносних граничних деформацій конструкційної деревини берези та сосни після дії молочної кислоти (40%)

Порода деревини	Термін просочення	Коефіцієнти поліному				Кривина	Момент, кН*м	$U_{c,u,agr}$
		w_1	w_2	w_3	w_4			
Береза	7 днів	14528,9	-7413,5	548,6	-6,6	82,1	17,2	0,00878
Сосна	7 днів	13880,8	-6290,5	570,1	-6,3	80,2	17,4	0,00850
Береза	14 днів	12999,2	-7176,8	519,5	-6,2	76,2	14,5	0,01022
Сосна	14 днів	12305,8	-6604,4	843,4	-10,0	71,7	14,4	0,00940
Береза	28 днів	8266,3	-3406,9	366,4	-4,9	65,2	14,1	0,01100
Сосна	28 днів	11966,1	-7340,0	1230,9	-14,7	69,0	13,2	0,01004
Береза	180 днів	11327,9	-6477,3	750,1	-9,3	55,2	13,7	0,01234
Сосна	180 днів	11488,0	-6413,9	570,5	-6,3	67,3	12,3	0,01130

Враховуючи отримані значення відносних граничних деформацій досліджуваних порід деревини після дії молочної кислоти побудуємо діаграми «напруження – відносні деформації» з обмеженням в точці граничних деформацій (рис.4.7а,б,в,г).

Отже, відносні граничні деформації деревини берези за терміну просочення 7 днів (табл.4.9, рис.4.7а) зросли лише в 1,14 рази ($u_{c,u,agr}=0,00878$) в порівнянні зі зразками встановленими за стандартної вологості 12%; в свою чергу для деревини сосни збільшилися в 1,25 рази до відмітки $u_{c,u,agr}=0,00850$.

За терміну просочення 14 днів (табл.4.9, рис.4.7б) відносні граничні деформації деревини берези збільшилися в 1,33 рази до

позначки $u_{c,u,agr}=0,01022$ в порівнянні з призмами за стандартної вологості 12%; для сосни зросли в 1,39 рази ($u_{c,u,agr}=0,00940$).

За терміну просочення 28 днів (табл.4.9, рис.4.7в) відносні граничні деформації деревини берези зросли в 1,43 рази ($u_{c,u,agr}=0,01100$) в порівнянні з призмами за стандартної вологості 12%; для сосни зросли в 1,48 рази ($u_{c,u,agr}=0,01004$).

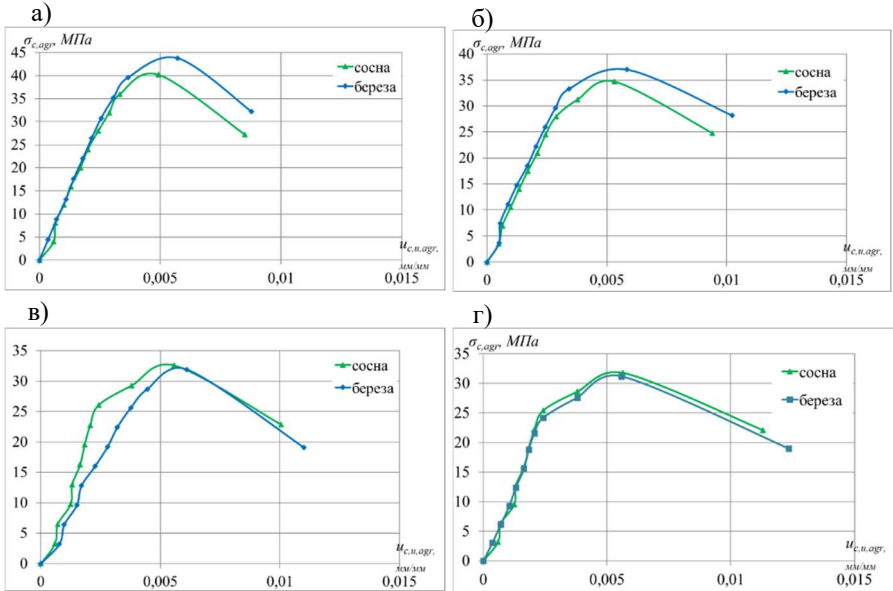


Рис. 4.7 Діаграми деформування конструкційної деревини берези та сосни з обмеженням в точці граничних деформацій після дії молочної кислоти (40%) з терміном просочення: а) 7 днів; б) 14 днів; в) 28 днів; г) 180 днів

Відносні граничні деформації деревини берези за терміну просочення 180 днів (табл.4.9, рис.4.7г) збільшились в 1,60 рази та досягли позначки $u_{c,u,agr}=0,01234$ в порівнянні зі зразками встановлених за стандартної вологості 12%; в свою чергу для деревини сосни зросли в 1,67 рази до відмітки $u_{c,u,agr}=0,01130$.

Отже, після дії оцтової кислоти відносні граничні деформації досліджуваних порід деревини за 180 днів просочення зросли в 1,60-1,67 рази.

Аналогічно запишемо залежності відносних граничних деформацій від критичних (формули 4.20-4.27).

За терміну просочення 7 днів:

– для деревини берези

$$u_{c,u,agr} = 1,53 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.20)$$

– для деревини сосни

$$u_{c,u,agr} = 1,72 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.21)$$

За терміну просочення 14 днів:

– для деревини берези

$$u_{c,u,agr} = 1,75 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.22)$$

– для деревини сосни

$$u_{c,u,agr} = 1,77 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.23)$$

За терміну просочення 28 днів:

– для деревини берези

$$u_{c,u,agr} = 1,80 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.24)$$

– для деревини сосни

$$u_{c,u,agr} = 1,80 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.25)$$

За терміну просочення 180 днів:

– для деревини берези

$$u_{c,u,agr} = 1,99 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.26)$$

– для деревини сосни

$$u_{c,u,agr} = 2,00 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.27)$$

4.3.3. Після дії соляної кислоти

Таким же чином визначимо значення відносних граничних деформацій конструкційної деревини берези та сосни після дії соляної кислоти (15%) (табл.4.10).

Враховуючи отримані значення відносних граничних деформацій досліджуваних порід деревини після дії соляної кислоти також побудуємо діаграми «напруження – відносні деформації» з обмеженням в точці граничних деформацій (рис.4.8а,б,в,г).

Таблиця 4.10. Значення відносних граничних деформацій конструкційної деревини берези та сосни після дії соляної кислоти (15%)

Порода деревини	Термін просочення	Коефіцієнти поліному				Кривина	Момент, кН*м	$U_{c,u,agr}$
		w_1	w_2	w_3	w_4			
Береза	7 днів	10979,6	-3885,2	165,5	-1,6	78,0	16,8	0,01147
Сосна	7 днів	11189,3	-4558,3	504,9	-6,2	70,0	19,2	0,00971
Береза	14 днів	10258,5	-4427,9	278,1	-3,1	75,6	13,6	0,01187
Сосна	14 днів	9211,8	-4074,4	461,6	-5,4	68,9	15,4	0,00974
Береза	28 днів	5511,0	-787,9	28,9	-0,3	75,5	13,0	0,01223
Сосна	28 днів	8626,6	-4343,6	266,8	-2,8	65,6	12,2	0,00985
Береза	180 днів	5011,2	-854,5	25,2	-0,2	73,7	11,3	0,01226
Сосна	180 днів	7957,4	-3877,1	124,6	-1,0	65,2	11,3	0,00992

Можна зробити висновок, що відносні граничні деформації деревини берези за терміну просочення 7 днів (табл.4.10, рис.4.8а) зросли лише в 1,49 рази ($u_{c,u,agr}=0,01147$) в порівнянні зі зразками встановленими за стандартної вологості 12%; в свою чергу для деревини сосни збільшилися в 1,43 рази до відмітки $u_{c,u,agr}=0,00971$.

За терміну просочення 14 днів (табл.4.10, рис.4.8б) відносні граничні деформації деревини берези збільшилися в 1,54 рази до позначки $u_{c,u,agr}=0,01187$ в порівнянні з призмами за стандартної вологості 12%; для сосни зросли в 1,44 рази ($u_{c,u,agr}=0,00974$).

За терміну просочення 28 днів (табл.4.10, рис.4.8в) відносні граничні деформації деревини берези зросли в 1,59 рази ($u_{c,u,agr}=0,01223$) в порівнянні з призмами за стандартної вологості 12%; для сосни зросли в 1,45 рази ($u_{c,u,agr}=0,00985$).

Відносні граничні деформації деревини берези за терміну просочення 180 днів (табл.4.10, рис.4.8г) збільшилися в 1,59 рази та досягли позначки $u_{c,u,agr}=0,01226$ в порівнянні зі зразками встановлених за стандартної вологості 12%; в свою чергу для деревини сосни зросли в 1,46 рази до відмітки $u_{c,u,agr}=0,00992$.

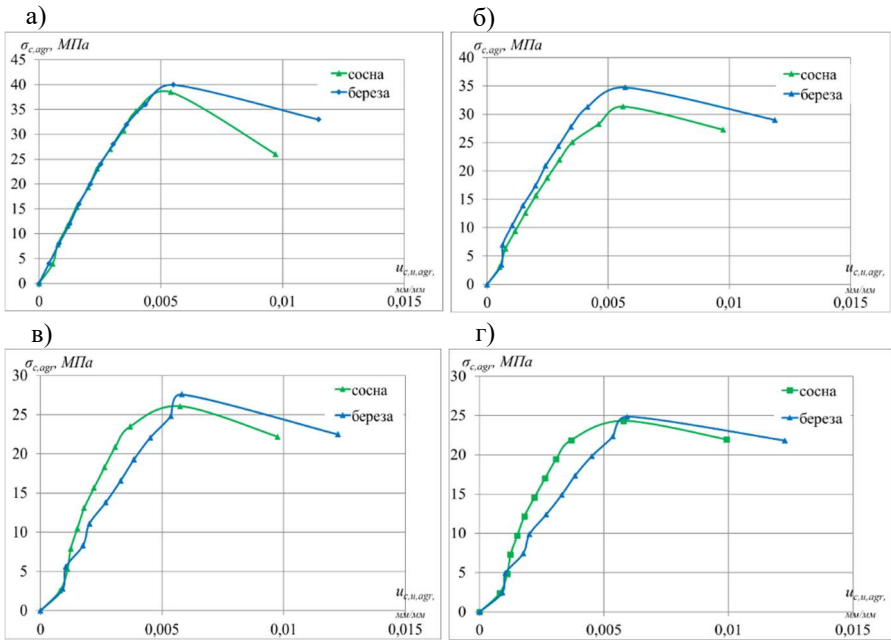


Рис. 4.8 Діаграми деформування конструкційної деревини берези та сосни з обмеженням в точці граничних деформацій після дії соляної кислоти (15%) з терміном просочення: а) 7 днів; б) 14 днів; в) 28 днів; г) 180 днів

Отже, після дії оцтової кислоти відносні граничні деформації досліджуваних порід деревини за 180 днів просочення зросли в 1,46-1,59 рази.

Аналогічно запишемо залежності відносних граничних деформацій від критичних (формули 4.28-4.35).

За терміну просочення 7 днів:

– для деревини берези

$$u_{c,u,agr} = 2,08 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.28)$$

– для деревини сосни

$$u_{c,u,agr} = 1,80 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.29)$$

За терміну просочення 14 днів:

– для деревини берези

$$u_{c,u,agr} = 2,09 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.30)$$

– для деревини сосни

$$u_{c,u,agr} = 1,74 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.31)$$

За терміну просочення 28 днів:

– для деревини берези

$$u_{c,u,agr} = 2,10 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.32)$$

– для деревини сосни

$$u_{c,u,agr} = 1,72 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.33)$$

За терміну просочення 180 днів:

– для деревини берези

$$u_{c,u,agr} = 2,06 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.34)$$

– для деревини сосни

$$u_{c,u,agr} = 1,72 \cdot u_{c,o,d,agr}; \quad (4.35)$$

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Дана монографія спрямована на вирішення важливого науково-технічного завдання, пов'язаного з встановленням істинних міцнісних та деформівних характеристик конструкційної деревини під впливом кислотних середовищ у докритичній і закритичній стадіях роботи.

Основні наукові результати дослідження:

1. Детально проаналізовано стан експериментально-теоретичних досліджень роботи деревини під дією різних агресивних середовищ.

2. Уперше проведено експериментальні дослідження конструкційної деревини (береза та сосна) після дії на неї органічних (оцтової (9%), молочної (40%)) та неорганічних (соляна (15%)) кислотних середовищ із різним терміном просочення осьовим короткочасним стиском уздовж волокон за жорсткого режиму випробувань. На основі проведених експериментів побудовано повні діаграми деформування конструкційної берези та сосни «напруження $\sigma_{c,agr}$ - відносні деформації $u_{c,agr}$ » від початку роботи до їхнього повного руйнування (докритична та закритична стадія роботи матеріалу). Усі досліджувані діаграми деформування мають висхідну та спадну вітки.

3. Експериментальним шляхом визначено тимчасову граничну міцність деревини, відносні критичні, залишкові деформації та відповідні їм напруження, модуль пружності та модуль деформацій. Установлено, що вплив кислотних середовищ значно зменшує міцнісні показники та модуль пружності деревини. Зокрема, унаслідок впливу кислотних середовищ тимчасова гранична міцність призм за 28 днів просочення зменшується в межах 1,25-1,74 рази порівняно з міцністю зразків за стандартної вологості. За 180 днів просочення - спадає в межах 1,30-1,92 рази. Показники модуля пружності за 28 днів просочення зменшуються в межах 1,33-1,66 рази, а за 180 днів – 1,37-1,73 рази. Установлено, що після першого місяця

просочення деревини міцнісні характеристики стабілізуються та надалі практично не змінюються.

4. Установлено, що вплив кислотних середовищ в свою чергу збільшує деформівні характеристики конструкційної деревини. Зокрема, відносні критичні деформації досліджуваних порід за 28 днів просочення збільшилися в межах 1,12-1,17 разів порівняно зі зразками, випробуваними за стандартної вологості 12%, а за 180 днів – в 1,14-1,19 рази. Відносні залишкові деформації за 28 днів просочення зросли в 1,1-1,25 рази, а за 180 днів залишилися практично не змінними. Установлено, що після першого місяця просочення деревини деформівні характеристики також стабілізуються та надалі практично не змінюються.

5. Запропоновано методичний підхід до визначення модулів пружності та модулів деформацій конструкційної деревини після дії на них кислотних середовищ.

6. Отримано нові експериментальні дані щодо зміни щільності деревини сосни та берези після дії на неї кислотних середовищ за різного терміну просочення. Досліджено особливості зміни структури деревини.

7. Удосконалено теоретичний методичний підхід до визначення відносних критичних деформацій конструкційної деревини після дії на неї кислотних середовищ з різним терміном просочення, що дозволяє встановити не тільки повні відносні критичні деформації, а й пружну та пластичну складові.

8. Удосконалено методику визначення відносних граничних деформацій конструкційної деревини за таких же умов експлуатації.

9. Формула для апроксимації діаграм деформування «напруження $\sigma_{c,agr}$ - відносні деформації $u_{c,agr}$ » поліномами 4-го степеня, побудована в роботі, дає хорошу збіжність із дослідними даними.

10. Отримані результати істинних міцнісних та деформівних характеристик конструкційної деревини у докритичній і закритичній стадіях роботи можна використати для розрахунку елементів та конструкцій з деревини після дії на них кислотних середовищ за деформаційною методикою.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Алексієвець В.І. Робота та розрахунок сталевих нагельних з'єднань дерев'яних конструкцій за повторних навантажень: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування. Рівне, 2011. 21 с.
2. Баженов В.А., Перельмутер А.В., Шишов А.В. Будівельна механіка. Комп'ютерні технології і моделювання: підручник. Київ, 2013.
3. Бехта П.А. Технологія деревинних композиційних матеріалів: підручник. Київ: Основа, 2003. 336 с.
4. Бідаков А.М. Методологія розрахунку панелей із поперечно-клеєної деревини та їх вузлів: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.01. Київ: КНУБА, 2021. 45 с.
5. Божидарник В.В., Сулим Г.Т. Елементи теорії пружності. Львів: Світ, 1994. 560 с.
6. Божок О.П., Вінтонів І.С. Деревинознавство з основами лісового товарознавства: навчальний посібник. Київ, 1992. 360 с.
7. Ванін С.И., Прикот Н.Г. Влияние кислот и щелочей на физико-механические свойства древесины. *Труды ЛТА*, 1947. Вып. 61. С. 55-90.
8. Верешко О.В., Гомон Св.Св. Зміна мікроструктури деревини під впливом кислотного середовища. Фізика і хімія твердого тіла. Стан, досягнення і перспективи: Матеріали VII Всеукраїнської науково-практичної конференції здобувачів вищої освіти та молодих вчених, 21-22 жовтня 2022 р., м. Луцьк. Луцьк: ІВВ ЛНТУ, 2022. С. 68-69.
9. Верешко О.В., Гомон Св.Св., Андрійчук О.В. Вплив агресивного середовища на міцнісні показники деревини. Збірник тез доповідей всеукраїнської науково-практичної інтернет-конференції молодих учених та студентів, м. Луцьк, 19 листопада 2021 року. Луцьк: ЛНТУ, 2021. С. 115-117.
10. Верешко О.В., Гомон Св.Св., Верешко А.О. До визначення густини деревини під впливом кислотного середовища. Інновації у будівництві: збірник тез доповідей VII Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції молодих

учених та студентів, 12 травня 2022 р., м. Луцьк [Електронний ресурс]. Луцьк: ЛНТУ, 2022. С. 11-13. <https://sites.google.com/view/iic-2022/тези-доповідей>.

11. Верешко О.В., Гомон Св.Св., Гомон Св.Ст., Довбенко Т.О. Деформівні показники деревини берези та сосни під дією кислотних середовищ. *Наукові нотатки*. Луцьк: ЛНТУ, 2021. № 72. С. 175-179.

12. Верешко О.В., Гомон Св.Св. Дослідження зміни густини деревини листяних та хвойних порід під дією кислотних середовищ. *Наукові нотатки*. Луцьк: ЛНТУ, 2022. № 73. С. 265-269.

13. Верешко О.В., Гомон Св.Св. Напружено-деформований стан згинальних дерев'яних елементів в умовах впливу агресивного кислотного середовища з врахуванням повних діаграм деформування матеріалу. *Наукові нотатки*. Луцьк: ЛНТУ, 2023. № 75. С. 200-205.

14. Вінтонів І.С. Деревинознавство: навчальний посібник. Львів: УкрДЛТУ, 2005. 256 с.

15. Гайда С.В. Комплексні дослідження зміни пружних властивостей вживаної деревини ялиці з віком. *Лісове господарство, лісова, паперова та деревообробна промисловість*. Львів: НЛТУ України, 2017. Вип. 43. С. 58-72.

16. Глінка М.Л. Загальна хімія. Київ: Вища школа, 1982. 608 с.

17. Гомон П.С. Моделювання роботи дерев'яної балки з послідовним завантаженням. *Містобудування та територіальне планування*. Київ: КНУБА, 2022. №80. С. 159-165.

18. Гомон Св.Св., 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.

19. Гомон Св.Св., 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. Зб. наук. праць*. Рівне: НУВГП, 2020. Вип 38. С. 321-330.

20. Гомон Св. Ст. Конструкції з дерева та пластмас: навчальний посібник. Рівне: НУВГП, 2016. 219 с.

21. Гомон Св.Ст. Напружено-деформований стан і розрахунок за деформаційною методикою елементів з деревини при одноразових та повторних навантаженнях: монографія. Рівне: Волинські обереги, 2019. 288 с.

22. 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.

23. Гомон Св.Св., Гомон Св.Ст., Матвіюк О.В., Верешко О.В., Чорномаз Н.Ю. Застосування деревини в умовах агресивних середовищ. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк, 2022. Вип.17. С. 15-22.

24. Гомон Св.Св., 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.

25. Гомон Св.Св., Довбенко Т.О., Савчук С.М., Верешко О.В. Результати експериментальних досліджень деревини берези під впливом агресивного середовища. Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей X міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів, м. Тернопіль, 24–25 листопада 2021 р. Том 1. Тернопіль: ТНТУ, 2021. С. 11.

26. Гомон Св.Св., Матвіюк О.В., Верешко О.В., Кулаковський Л.Я. Дійсна робота суцільної деревини листяних порід в докритичній та закритичній стадії деформування за стандартної вологості. Abstracts of the XIX International Scientific and Practical Conference «Innovative Technologies in Construction

Civil Engineering and Architecture», Chernihiv, 19-22 September 2021. Chernihiv: CPNU, 2021. Pp. 140-142.

27. Гомон Св.Св., Матвіюк О.В., Довбенко Т.О., Савчук С.М., Верешко О.В., Кулаковський Л.Я. Дослідження міцнісних показників деревини під впливом агресивного середовища. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Зб. наук. праць*. Рівне: НУВГП, 2021. Вип 40. С. 10-17.

28. Гомон Св.Св., Матвіюк О.В., Савчук С.М., Верешко О.В., Кулаковський Л.Я. Вплив агресивного середовища на міцнісні та деформівні показники суцільної деревини хвойних порід. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія «Технічні науки»*. Рівне: НУВГП, 2021. Випуск 2(94). С. 69–80. (*Особистий внесок: обробка та аналіз результатів досліджень, побудова діаграм, формулювання висновків*).

29. Гомон Св.Св., Савчук В.О., Мельник Ю. А., Верешко О.В. Апроксимація діаграм механічного стану деревини з підвищеним вмістом вологи. Іновачійні 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>.

30. Гомон Св.Св., 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.

31. Гомон Св.Св., Савчук С.М., Верешко О.В., Кулаковський Л.Я. Методика експериментальних досліджень суцільної деревини на стиск уздовж волокон під впливом агресивного середовища. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. Зб. наук. праць*. Рівне: НУВГП, 2021. Вип 39. С. 57-62.

32. Гомон Св.Св., 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/viimezhdunarodnaya-nauchno-prakticheskaya-konferentsiya-eurasian-scientificcongress-9-11-avgusta-2020-goda-barselona-ispaniya-arhiv/>.

33. Гомон Св.Св., Сальчук В.Л., Савчук В.Л., 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.

34. Гомон Св.Св., Ясній П.В., Гомон П.С., Ясній В.П. Класична модель дійсної роботи суцільної та модифікованої деревини осьовим стиском вздовж волокон: монографія. Тернопіль: ТНТУ, 2023. 316 с.

35. Гордон Л.В. К вопросу о кислотостойкости древесины. *Лесохимическая промышленность*, 1939. №4. С. 12-21.

36. Гринкруг Н.В. Моделирование и расчет элементов деревянных конструкций при химических агрессивных воздействиях: дисс. канд. техн. наук, 05.23.01. 2004. 202 с.

37. Гупало О. П., Тушницький О.П. Хімія деревини: підручник. Національний лісотехнічний ун-т України. Київ: Знання, 2008. 276 с.

38. Гусев Б.П. Основные требования, предъявляемые к деревянным конструкциям, применяемым в производствах с химически агрессивными средами. Повышение эффективности конструкционного использования древесины в строительстве: Материалы конференции. 1968. С. 39-45.

39. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Київ: Мінбуд України, 2006. 75 с.

40. ДБН В.2.6-161:2017. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення. Київ: Укрархбудінформ, 2017. 111с.

41. ДСТУ 3129:2015. Деревина. Методи відбору зразків і загальні вимоги до фізико-механічних випробувань невеликих бездефектних зразків. Київ: Мінрегіон України, 2016. 9 с.

42. ДСТУ Б.В.2.6–151:2010. Конструкції дерев'яні клеєні. Загальні технічні умови. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 21 с.
43. ДСТУ 4922:2008. Лісоматеріали та пилопродукція. Методи визначення вологості. Київ: Мінрегіон України, 2009. 11 с.
44. ДСТУ EN 336–2003. Пиломатеріали конструкційні із хвойних порід та тополі. Розміри. Допустимі відхилення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2004. 8 с.
45. ДСТУ EN 518–2003. Лісоматеріали конструкційні. Сортування. Вимоги до стандартів на візуальне сортування за міцністю. Київ: Мінрегіонбуд України, 2004. 9 с.
46. ДСТУ EN 338. Лісоматеріали конструкційні. Класи міцності. Київ: Мінрегіонбуд України, 2004. 10 с.
47. ДСТУ EN 384–2001. Лісоматеріали конструкційні. Визначення характеристичних значень механічних властивостей та щільності. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 8 с.
48. ДСТУ EN 380-2008. Лісоматеріали конструкційні. Загальні настанови щодо методів випробування на статичне навантаження. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 8с.
49. ДСТУ EN 408:2007. Лісоматеріали конструкційні. Конструкційна та клеєна шарувата деревина. Визначення деяких фізичних та механічних властивостей. Київ: Держспоживстандарт України, 2012. 22 с.
50. ДСТУ-Н Б В.2.6-217:2016 Настанова з проектування будівельних конструкцій з цільної і клеєної деревини. К.: Мінрегіон України, 2016. 35 с.
51. Іванюк А. М. Несуча здатність дерев'яних балок з пошкодженнями у вигляді наскрізних тріщин: дис. ... канд. техн. наук : 05.23.01. Нац. ун-т вод. госп-ва та природокористування. Рівне, 2011. 158 с.
52. Клименко В.З. Конструкції з дерева і пластмас: підручник. Київ, 2000. 304 с.
53. Ковальська С.С. Щільність деревини стовбурів сосни звичайної в умовах Південного Придніпровського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів: НЛТУ, 2017. Випуск 27 (3). С. 45-48.

54. Ковальчук С.Б. Механіка деформування композитних брусів з криволінійною плоскою віссю. дис. ... докт. техн. наук: 01.02.04. Полтава, 2021. 545 с.

55. Козлов В.П., Апостол А.П. Влияние пропитки древесины березы уксусной кислотой различной концентрации на некоторые физико-механические свойства. *Известия вузов. Лесной журнал*, 1979. №1. С. 64-66.

56. Кульман С.М. Динамічна модель втомного руйнування композиційних матеріалів на основі деревини під час циклічного навантаження. *Сучасні будівельні конструкції з металу та деревини*. Одеса: ОДАБА, 2014. №18. С. 89-95.

57. Кундрат М.М. Гранична рівновага тіла з підкріплювальними елементами за сталого й циклічного навантажень: монографія. Київ: Каравела, 2021. 124 с.

58. Кшивецький Б.Я., Тивунька І.Й. Міцність та довговічність термопластичних клейових з'єднань деревини: монографія. Львів: ТзОВ Галицька видавнича спілка, 2018. 188 с.

59. Ластов'як Я. В., Караман Н. С., Полутаренко М. С., Паздерський Ю. А. Оцтова кислота. Властивості, використання, виробництво: монографія. Львів: НУ «Львівська Політехніка», 2004. 166 с.

60. Луцьковський В.М. Оцінка працездатності дерев'яних конструкцій по параметрам їх деформування: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01. Полтава, 1999. 17 с.

61. Мамедова З.К. Химическая стойкость натуральной и пропитанной древесины березы к действию растворов натриевой щелочи. *Известие вузов. Строительство и архитектура*, 1975. №9. С. 76-79.

62. Марущак П.О. Методика дослідження швидкості росту тріщини і опис кінетичних діаграм руйнування в умовах втоми-повзучості. *Вісник Тернопільського державного технічного університету*. Тернопіль: ТНТУ, 2003. Вип. 8 (2). С. 23-28.

63. Михайловський Д.В. Врахування дійсного напружено-деформованого стану у вузлах та елементах конструкцій з клеєної деревини: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.01. Київ: КНУБА, 2020. 43 с

64. Мікуліч О.А. Розвиток методу граничних інтегральних рівнянь до динамічних задач неоднорідних та структурно-неоднорідних середовищ у континуумі Коссера: дис. ... докт. техн. наук: 01.02.04. Луцьк, 2018. 255 с.

65. Павлюк А.П. Напружено-деформований стан елементів з клесної деревини в умовах косоного згину: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Рівне, 2018. 238 с.

66. Пастернак Я.М. Плоска задача теорії пружності анізотропного тіла з періодичними системами тонких неоднорідностей. *Вісник Донецького національного університету. Серія А. Природничі науки*. Донецьк, 2012. № 1. С. 83–90.

67. Пискунов С.О. Моделювання термов'язкопружнопластичного деформування, континуального і дискретного руйнування просторових призматичних і кругових тіл складної форми: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.23.17. Київ, 2011. 38 с.

68. Пінчевська О.О., Буйських Н.В., Головач В.М. Ефективність використання низько товарних круглих лісоматеріалів з деревини сосни: монографія. Харків, 2015. 160 с.

69. Поберейко Б.П. Теоретичні основи розрахунку короткочасної міцності деревини. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів, 2014. Вип. 24.2. С. 333–337.

70. Поберейко Б.П., Флуд Л.О. Анізотропія та асиметрія міцності деревини. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів. 2014. Вип. 24.6. С. 110-114.

71. Поліщук М.В. Напружено-деформований стан згинальних елементів з клесної деревини з комбінованим армуванням: дис. ...доктора філософії: 192 «Будівництво та цивільна інженерія». Рівне: НУВГП, 2023. 168 с.

72. Пригунков О.В. Несуча здатність дерев'яних конструкцій після тривалої експлуатації і засоби її підвищення при реконструкції: автореф. дис... канд. техн. наук: 05.23.01. Полтава, 1997. 23 с.

73. Прокопович Б., Войтович І., Гайда С., Кшивецький Б. Тлумачний словник з деревооброблення: словник. Львів.: Ромус-Поліграф, 2002. 280 с.

74. Рудяк Ю.А. Оптимізація експериментально-розрахункового методу рішення задач механіки руйнування. *Вісник Сумського державного університету*. Серія технічні науки, 2013. № 1. С. 110-113.

75. Сасовський Т.А. Напружено-деформований стан балок із клеєної деревини за дії малоциклових навантажень: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.01. Рівне, 2018. 200 с.

76. Сашин М.А. Прогнозирование и повышение долговечности и длительной прочности древесины в строительных изделиях и конструкциях: дисс. ... канд. техн. наук: 05.23.05., 2006. 182 с.

77. Сулим Г.Т. Основи математичної теорії термопружної рівноваги середовищ з тонкими включеннями: автореф. дис... д-ра фіз.-мат. наук: 01.02.04. Львів: Нац. акад. наук України, Ін-т приклад. пробл. механіки і математики ім. Я. С. Підстригача, 1995. 39 с.

78. Сяський А. О., Шевцова Н.В. Застосування методу сил для статичного розрахунку замкнених криволінійних стрижнів. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. Тернопіль: ТНТУ, 2015. Том 79. № 3. С. 24-30.

79. Тинний О.Н. Прочность и разрушение полимеров при воздействии жидких сред: научное пособие. Київ: Наукова думка, 1975. 206 с.

80. Фурсов В. В. Працездатність дерев'яних конструкцій під впливом різноманітних навантажень та експлуатаційного середовища: дис. ... докт. техн. наук: 05.23.01. Полтава, 1996. 438 с.

81. Хрулев В.М., Машкин Н.А. Повышение химической стойкости древесины. *Известия вузов. Строительство и архитектура*, 1983. №6. С. 77-81.

82. Шваб'юк В.І. Опір матеріалів: підручник. Київ: Знання, 2016. 407 с.

83. Шваб'юк В. І., Ротко С.В. Згин композитної балки з поперечною тріщиною. *Наукові нотатки*. Луцьк, 1994. Вип. 3. С. 190–197.

84. Шваб'юк В.І., Ротко С.В., Шваб'юк В.В., Ужегова О.А., Кислюк Д.Я. До проблеми визначення залишкової міцності балок, пошкоджених тріщинами. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. Луцьк: ЛНТУ, 2019. Вип. 12. С. 229-236.

85. Шехоркіна С.Є. Наукові основи і методи розрахунку гібридних деревозалізобетонних багатоповерхових будівель: автореф. дис. ... д-ра техн. наук : 05.23.01. Держ. ВНЗ "Придніпр. держ. акад. буд-ва та архітектури". Дніпро, 2021. 41 с.

86. Юськевич Т.В., Тереля І.П. Щільність деревини лісових хвойних видів України. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів: НЛТУ, 2013. Випуск 23.16. С. 27-31.

87. Юськевич Т.В. Щільність деревини інтродукованих видів роду Сосна. Матеріали 62-ої наук.-техн. конф. проф.-викл. складу, наук. прац., доктор. та аспір. за підсумками наук. діяльн. у 2011 р., Львів, 10-11 травня 2012 р. Львів: Вид-во НЛТУ України, 2012. С. 114-117.

88. Ясній В.П., Студент О.З., Ясній П.В. Прогнозування втомної довговічності псевдопружних сплавів з пам'яттю форми: монографія. Тернопіль: ТНТУ ім. Івана Пулюя, 2021. 277 с.

89. Ясній П.В., Гомон Св.Св., Дмитрук В.П. Міцність та деформівність деревини модрина 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*. Р. 319-322.

90. Ясній П.В., Гомон Св.Св. 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.

91. Ясній П.В., Гомон Св.Св. 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.

92. Ясній П.В., Гомон Св.Св. Класична модель дійсної роботи суцільної деревини на стиск уздовж волокон за короткочасного навантаження. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2021. Вип 39. С. 145-153.

93. Ясній П.В., Гомон Св.Св. Динаміка зміни критичних деформацій деревини з різним показником вологості. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди*. Рівне: НУВГП, 2021. Вип 40. С. 234-241.

94. Ясній П.В. Пластично деформовані матеріали: втома і тріщиностійкість: монографія. Львів, 1998. 291 с.

95. Almeida A. S., Criscuolo G., Almeida T. H., Christoforo A. L., Chahud E., Branco L. A. M. N., Pinheiro R. V. Lahr F. A. Influence of CCA-A preservative on physical-mechanical properties of Brazilian tropical woods. *BioResources*, 2019, 14(2). Pp. 3031-3041.

96. Amitava Sil, Ram Kumar V.R., S.C. Sahoo. Estimation for characteristic value mechanical properties of structural timber. *International Journal of Civil Engineering*, 2023. Vol. 12(1). Pp. 1–10.

97. ASTM D 143-14. Standart test methods for small clear specimens of timber. ASTM International, West Conshohocken, PA. 2014.

98. Baechler R. H. Wood in chemical engineering construction. *J. Forest Prod. Res. Soc.*, 1954. №4. Pp. 332-336.

99. Báder M., Németh R. Moisture-dependent mechanical properties of longitudinally compressed wood. *European Journal of Wood and Wood Products*, 2019, 77, Pp. 1009-1019.

100. Benkreif R., Brahmia F.Z., Csiha C. Influence of moisture content on the contact angle and surface tension measured on birch wood surfaces. *Eur. J. Wood Prod.*, 2021. Vol. 79. Pp. 907–913.

101. Bjelanović A., Štimac Grandić I., Franolić F. Timber footbridges – valorization of parametric analysis in optimization of layout of beam bridges. *Сучасні будівельні конструкції з металу та деревни*. Одеса: ОДАБА, 2022. № 26. С. 5-14.

102. Brischke C., Meyer L, Bornemann T, Bilstein M, Lauenstein B, Lück J.M. Service life of timber components: prognosis based on 3 years high frequency monitoring. *Eur J Wood Prod*, 2013; №71. Pp. 79–90.

103. Bodig J. and Jayne B. Mechanics of wood and wood composites. Van Nostrand Reinhold Company. New York – Cincinnati – Toronto – London - Melbourne, 1982. 356 p.

104. Browning B. L. Methods of wood chemistry. Vol. 2. Interscience Publishers, New York, 1967. 882 p.

105. Browning B. L. The chemistry of wood. Interscience Publishers, New York, 1963. 689 p.

106. Büyüksarı U., As N., DüNDAR T., Sayan E. Micro-tensile and compression strength of scots pine wood and comparison with standard size test results. *Drvna industrija*, 2017. Vol. 68(2). Pp. 129-136.

107. Campbell W. G., Bamford K. F. Factors affecting the relative resistance of certain woods to hydrolysis by dilute sulfuric acid. *J. Soc. Chem. Ind.*, 1939. №58. Pp. 180-185.

108. Christoforo André L., Almeida Andrea de S., Lanini Tamiris L.S., Nogueira Rodrigo de S., Lahr Francisco A. R. Estimation of the characteristic value of wood strength. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*. Vol. 39(1). Pp.127-132.

109. Da Silva A., Kyriakides S. Compressive response and failure of balsa wood. *International Journal of Solids and Structures*. Volume 44. Issues 25–26. P. 8685–8717.

110. Eurocode 5. (2004). Design of timber structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings. 124 p.

111. Evans P.D., Banks W.B. The degradation of wood surfaces by dilute acids. The International Research Group on Wood Preservation, Working Group III, Preservatives and Methods of Treatment, 1985.

112. Gerhards C.C. Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: an analysis of immediate effects. *Wood and Fiber*, 1982. 14(1). Pp. 4–36.

113. Gliszczyński T., Antczak A. The study of selected properties of pine wood (*Pinus sylvestris* L.) subjected to acetylation. *Forestry and Wood Technology*, 2017. № 117. Pp 5-13.
114. Gomon S.S., Polishchuk M., Homon S., Gomon P., Vereshko O., Melnyk Yu., Boyarska I. (2021). Rigidity of combined reinforcement glued wood beams. *AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research*, 11(1), Special Issue XV, Pp. 131-133.
115. 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.
116. Green D., Winandy J., Kretschmann D. Mechanical properties of wood: Wood handbook. Madison: Forest Products Laboratory, 1999. 46 p.
117. Homon S., Gomon P., Gomon S., Dovbenko T., Savitskiy V., Matviiuk O., Kulakovskiy L., Bronytskyi V., Bosak A., Chornomaz N. Experimental and statistical studies of the initial module of elasticity and the module of deformations of continuous wood at different ages and moisture content. *AD ALTA: Journal of Interdisciplinary Research*, 2021. Vol. 12(1). Special Issue XXV. Pp. 321-326.
118. Homon S., Gomon P., Gomon S., Vereshko O., Boyarska I., Uzhegova O. Study of change strength and deformation properties of wood under the action of active acid environment. *Procedia Structural Integrity*, 2023. Vol. 48. Pp. 201-206.
119. Homon S., Gomon S., Vereshko O. Method of determination the initial elasticity modulus and timber deformation modulus under the influence of acid environment. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*. Тернопіль: ТНТУ, 2022. Випуск 105(1). С. 29–39.
120. Kass A., F.F. Wangaard, H.A. Schroeder. Chemical degradation of wood: the relationship between strength retention and pentosan content. *Wood and Fiber Science*, 1970. Pp. 31-39.
121. Kirker G.T., Brischke C., Passarini L., Zelinka S.L. Salt damage in wood: controlled laboratory exposures and mechanical

property measurements. *Wood and Fiber Science*, 2020. Vol. 52(1). Pp. 44-52.

122. Khan M.A., Idriss K.M., Ahmed M.U. Chemical corrosion effect on wood and wood-plastic composites. *Polymer plastics technology and engineering*, 1993. Vol. 32(4). Pp. 355-365.

123. Kollmann F. Technologie des Holzes und der Holzwerkstoffe. Bd. I. Berlin, 1951. 1050 p.

124. Kržišnik D., Lesar B., Thaler N. et al. A study on the moisture performance of wood determined in laboratory and field trials. *Eur. J. Wood Prod.*, 2020. Vol. 78. Pp. 219–235.

125. Kuffner M. Elastizitätsmodul und Zugfestigkeit von Holz Verschiedenen Rohdichte in Abhängigkeit von Feuchtigkeitgehalt. *Holz als Roh und Werkstoff*, 1978, 11, S. 435–440.

126. Kulman S., Boiko L., Bugaenko Ya., Zagursky Yo. Forecasting durability of wood composites based on accelerated tests. *Scientific Horizons*, 2019, (12), Pp. 67–74.

127. Kulman S., Boiko L., Gurová D.H., Sedliačik J. The effect of temperature and moisture changes on modulus of elasticity and modulus of rupture of particleboard. *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen*, 2019, 61(1), Pp. 43–52.

128. Łapka M., Niesłony A. Scale effect in strength tests of non-homogeneous material on the example of wood. *Zeszyty Naukowe, Mechanika*, 2014. №103. Pp. 129-130.

129. Madsen B. Recommended moisture adjustment factor for lumber stresses. *Can. J. Civil Engineering*, 1982. Vol. 9. №4. P. 602–610.

130. Malaga-Tobola U., Lapka M., Tabor S., Nieslony A., Findura P. Influence of wood anisotropy on its mechanical properties in relation to the scale effect. *International Agrophys*, 2019. №33, Pp. 337-345.

131. Mallory M.P., Cramer S. Fracture mechanics: a tool for predicting wood component strength. *Forest Products Journal*, 1987. Vol. 37(7/8). Pp. 39–47.

132. Marchenko N., Novitsky S., Inozemtsev G., Nesvidomin V. Деякі експлуатаційні властивості низькоякісної деревини сосни

звичайної. *Науковий вісник НЛТУ України*, 2017. Том 27(1). С. 157-159.

133. Mårtensson A. Mechanical behavior of wood exposed to humidity variations. Thesis, Report TVBK-1006, Lund Institute of Technology, Dept. Struct. Eng., Sweden, 1992. 189 p.

134. NDS. National design specification for wood construction. American Forest and Paper Association. Washington, DC, 2012.

135. Nsouami V., Manfoumbi Boussougou N., Bastidas-Arteaga E., Moutou Pitti R. Effects of long-term loading on Moabi wood beams in the tropical environment of Gabon: variability in properties and effects of exposure conditions on mechanical properties in 3-point bending tests. *Procedia Structural Integrity*, 2022. Vol. 37. Pp. 576-581.

136. Pandey K.K., Chaohan S.S., Aggarwal, P.K. Reaction of wood with inorganic salts. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1998. Vol. 56. Pp. 412–415.

137. Pertuzzatti A., Missio A.L., Conte B., Souza S.C., Santini E.J., Haselein C.R. Physical properties of *Pinus elliottii* var. *elliottii* thermally treated wood under two different atmospheres. *Brazilian Journal of Wood Science* 7(1), 2016. Pp. 7-15.

138. Pinchevska O., Sedliačik J., Horbachova O., Spirochkin A., Rohovskyi I. Properties of hornbeam (*Carpinus betulus*) wood thermally treated under different conditions. *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen*, 2019. Vol. 61(2). Pp. 25–39.

139. Rabko, S., Kozel, A., Kimeichuk, I., Yukhnovskyi, V. Comparative assessment of some physical and mechanical properties of wood of different scots pine climatotypes. *Scientific Horizons*, 2021. Vol. 24(2). Pp. 27-36.

140. Roger M. Influence of chemical environment on strength of wood fibers. How the environment affects lumber design: assessments and recommendations, Madison, Wisconsin, 28-30 May 1980. Madison, 1980. Pp. 76-84.

141. Roman K., Grzegorzewska E., Leszczynski M., Pycka S., Barwicki J., Golisz E., Zaton P. Effect of seawater with average salinity on the moisture content, ash content and tensile strength of

some coniferous wood. *Materials*, 2023. Vol. 16. Article number 2984.

142. Rudawska A., Maziarz M., Šajgalí M., Valášek P., Zlamal T., Iasnii V. The influence of selected factors on the strength of wood adhesive joints. *Advances in Science and Technology*, 2018. Vol. 12(3). Pp. 47–54.

143. Saad K., Pintér E., Lengyel A. Comparative study on complete characterisation of elastic–ductile compressive behaviour of aged and new Norway spruce timber. *International Journal of Architectural Heritage*, 2024. Pp. 1-11.

144. Schaffer E.L. Modeling response under aggressive environments and accelerated testings. How the environment affects lumber design: assessments and recommendations, Madison, Wisconsin, 28-30 May 1980. Madison, 1980. Pp. 143-146.

145. Shiraishi N., Yoshioka M. Plasticization wood by acetylation with trifluoroacetic acid pretreatment. *J. Soc. Fiber Sci. and Technol.* Jap. 1986. 42.6. P. 84-93.

146. Takuro H. Anisotropy of wood and wood-based materials and rational structural design of timber constructions. The Proceedings of Design & Systems Conference. 2005. Pp. 19-22.

147. Thygesen L.G., Tang Englund E., Hofmeyer, P. Water sorption in wood and modified wood at high values of relative humidity. Part I: Results for untreated, acetylated, and furfurylated Norway spruce. *Holzforsch*, 2010, Vol. 64, Pp. 315-323.

148. Treu A. et al. Timber in marine environments. *BioResources*, 2019. Vol. 14(4). Pp. 10161-10184.

149. Tsapko Y., Buiskykh N., Likhnyovskyi R., Horbachova O., Tsapko A., Matviichuk A., Mazurchuk S., Sukhanevych M. Establishing regularities in the application of dry pine wood. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2022. Vol. 4 (10 (118)), Pp. 51–59.

150. Vasic S., Stanzl-Tschegg S. Experimental and numerical investigation of wood fracture mechanisms at different humidity levels. *Holzforschung*. Berlin, New York, 2007. Vol. 61. Pp. 367-374.

151. Vobolis J., Albrektas D. Research into sorption and mechanical properties of natural and modified birch wood. *Drewno*, 2014. Vol. 57(191). Pp. 55-69.
152. Wadso, L. Studies of water vapor transport and sorption in wood. Doctoral dissertation. Report TVBM-1013. *Building Materials*, Lund University, Lund, Sweden, 1993.
153. Wang L.Y., Lu Z.Y., Zhao G.J. Wood fracture pattern during the water adsorption process. *Holzforschung*, 2003. Vol. 57. Pp. 639-643.
154. Wangaard F. F. Resistance of wood to chemical degradation. *Forest Prod. J.*, 1966. Vol. 16(2). Pp. 53-64.
155. Willams R.S. Effect of dilute acid on the accelerated weathering of wood. *JAPCA*, 1988. Vol. 38. Pp. 148-151.
156. Willams R.S. Acid effects on accelerated wood weathering. *Forest Products J.*, 1987. Vol. 37. Pp. 37.
157. Wyjadlowski M., Nowak T., Karolak A. Investigation of wooden sheet pile wall in an aggressive environment using non-destructive methods. *MATEC Web of Conferences*, 2018. Vol. 251. Article number 02038.
158. Yasniy P., Homon 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.
159. Zhao S., Zhao X.J., Han G.Z. Advances in the study of mechanical properties and constitutive law in the field of wood research. *IOP Conferences Series: Materials Science and Engineering*, 2016. Vol. 137. Article number 012036.
160. Zhou A., Bian Y., Shen Y., Huang D., Zhou M. Inelastic bending performances of laminated bamboo beams: experimental investigation and analytical study. *BioResources*, 2018. Vol. 13(1). P. 131–146.

ДОДАТОК А

Значення максимальних напружень деревини $f_{c, o, d, agr}$ після дії кислотних середовищ визначених за формулами (3.1-3.6) в межах від 1 до 180 діб

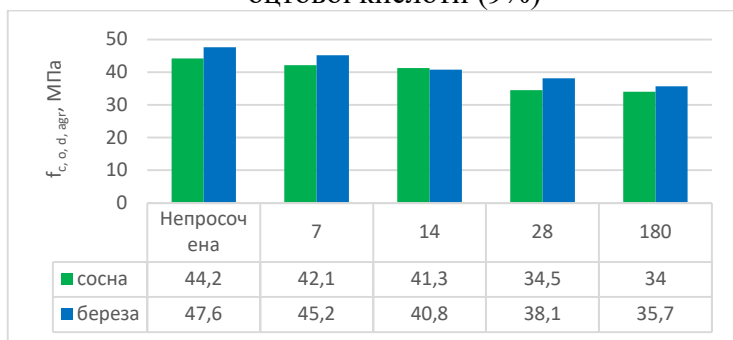
Термін просочення Т, дні	Значення максимальних напружень деревини $f_{c, o, d, agr}$, МПа					
	Соляна кислота		Оцтова кислота		Молочна кислота	
	Сосна	Береза	Сосна	Береза	Сосна	Береза
1	2	3	4	5	6	7
0	43,9692	47,0346	44,8671	47,6680	43,7753	47,8684
1	42,9555	45,9656	44,4003	47,1358	43,1027	46,9927
2	41,9773	44,9329	43,9475	46,6216	42,4543	46,1468
3	41,0339	43,9358	43,5085	46,1251	41,8296	45,3301
4	40,1245	42,9735	43,0830	45,6459	41,2281	44,5419
5	39,2485	42,0454	42,6708	45,1836	40,6492	43,7817
6	38,4050	41,1506	42,2717	44,7379	40,0926	43,0488
7	37,5934	40,2885	41,8852	44,3085	39,5576	42,3427
8	36,8130	39,4583	41,5113	43,8949	39,0439	41,6628
9	36,0631	38,6594	41,1497	43,4968	38,5509	41,0084
10	35,3429	37,8911	40,8000	43,1138	38,0782	40,3792
11	34,6518	37,1526	40,4622	42,7457	37,6252	39,7744
12	33,9892	36,4433	40,1358	42,3921	37,1916	39,1935
13	33,3542	35,7625	39,8208	42,0526	36,7768	38,6360
14	32,7464	35,1095	39,5168	41,7269	36,3804	38,1012
15	32,1650	34,4836	39,2236	41,4146	36,0020	37,5888
16	31,6094	33,8843	38,9411	41,1155	35,6411	37,0981
17	31,0789	33,3108	38,6688	40,8292	35,2972	36,6286
18	30,5729	32,7626	38,4067	40,5554	34,9699	36,1798
19	30,0907	32,2390	38,1545	40,2938	34,6588	35,7511
20	29,6318	31,7393	37,9120	40,0440	34,3634	35,3421
21	29,1956	31,2629	37,6790	39,8058	34,0834	34,9522
22	28,7814	30,8092	37,4552	39,5788	33,8183	34,5810
23	28,3886	30,3777	37,2404	39,3628	33,5677	34,2279

Продовження додатку А

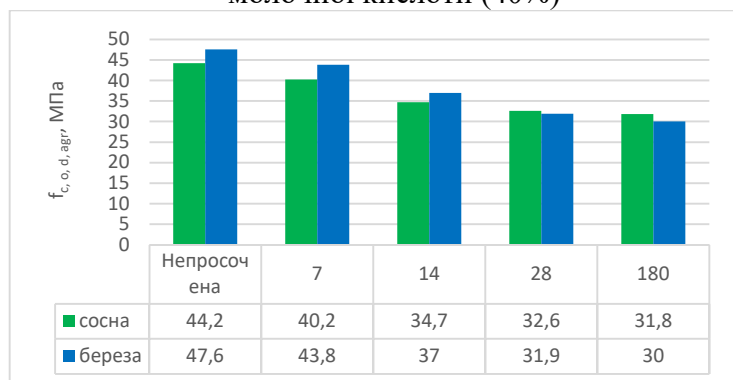
1	2	3	4	5	6	7
24	28,0166	29,9677	37,0344	39,1574	33,3312	33,8924
25	27,6649	29,5786	36,8371	38,9624	33,1083	33,5742
26	27,3328	29,2099	36,6481	38,7774	32,8988	33,2726
27	27,0199	28,8609	36,4673	38,6022	32,7021	32,9872
28	26,7254	28,5312	36,2945	38,4364	32,5180	32,7176
29	26,4490	28,2200	36,1295	38,2799	32,3460	32,4633
30	26,1900	27,9269	35,9720	38,1323	32,1857	32,2238
60	24,0835	25,0696	33,8754	36,6193	31,1614	29,9165
90	25,9511	26,5996	34,2052	37,2130	32,6723	31,2359
120	25,8377	26,3999	34,4548	36,8876	32,6813	31,1611
150	23,5311	24,0984	33,9838	35,5086	31,1441	29,3612
180	24,5621	25,0688	34,0171	35,8318	32,0095	30,1953

ДОДАТОК Б

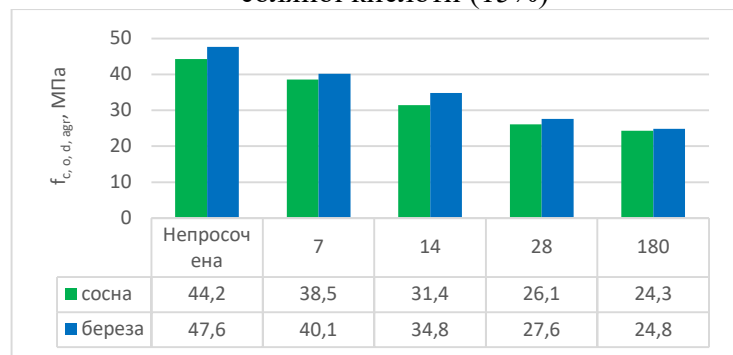
Динаміка зміни тимчасової граничної міцності деревини $f_{c,o,d,agr}$ сосни та берези після дії кислотних середовищ оцтової кислоти (9%)



молочної кислоти (40%)



соляної кислоти (15%)



ДОДАТОК В

Значення початкового модуля пружності $E_{0,agr}$ деревини сосни та берези після дії кислотних середовищ визначених за формулами (3.7-3.12) в межах від 1 до 180 діб

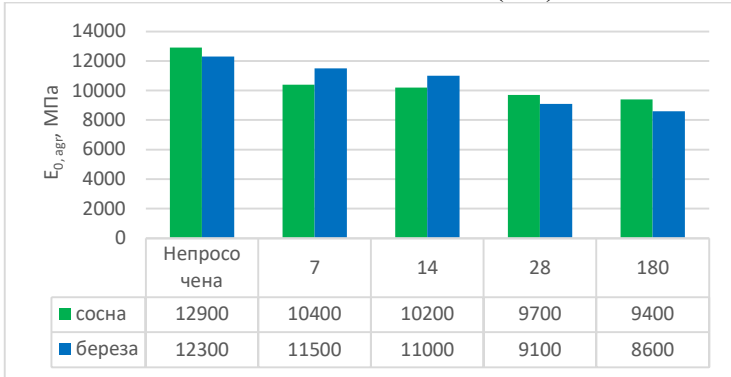
Термін просочення, дні	Значення початкового модуля пружності $E_{0,agr}$, МПа					
	Соляна кислота		Оцтова кислота		Молочна кислота	
	Сосна	Береза	Сосна	Береза	Сосна	Береза
1	2	3	4	5	6	7
0	12475,71	12020,80	12270,78	12441,02	13015,93	12588,17
1	12199,05	11763,03	12097,01	12281,49	12785,51	12408,76
2	11932,62	11514,20	11929,82	12126,92	12562,75	12234,80
3	11676,19	11274,12	11769,05	11977,23	12347,49	12066,18
4	11429,55	11042,60	11614,58	11832,32	12139,57	11902,80
5	11192,47	10819,46	11466,25	11692,10	11938,86	11744,55
6	10964,75	10604,53	11323,93	11556,47	11745,19	11591,35
7	10746,17	10397,62	11187,49	11425,33	11558,43	11443,09
8	10536,52	10198,57	11056,77	11298,61	11378,42	11299,67
9	10335,61	10007,20	10931,66	11176,20	11205,03	11161,00
10	10143,22	9823,33	10812,02	11058,01	11038,10	11026,97
11	9959,14	9646,80	10697,71	10943,96	10877,50	10897,50
12	9783,19	9477,43	10588,61	10833,96	10723,08	10772,49
13	9615,16	9315,06	10484,58	10727,92	10574,71	10651,85
14	9454,85	9159,53	10385,50	10625,76	10432,24	10535,48
15	9302,07	9010,67	10291,24	10527,38	10295,55	10423,29
16	9156,64	8868,31	10201,68	10432,70	10164,50	10315,20
17	9018,35	8732,31	10116,69	10341,64	10038,95	10211,10
18	8887,02	8602,50	10036,15	10254,12	9918,77	10110,92
19	8762,47	8478,72	9959,95	10170,05	9803,84	10014,57
20	8644,51	8360,82	9887,95	10089,35	9694,02	9921,95
21	8532,96	8248,65	9820,05	10011,95	9589,18	9832,99
22	8427,64	8142,06	9756,12	9937,75	9489,20	9747,59
23	8328,37	8040,89	9696,06	9866,69	9393,95	9665,68

Продовження додатку В

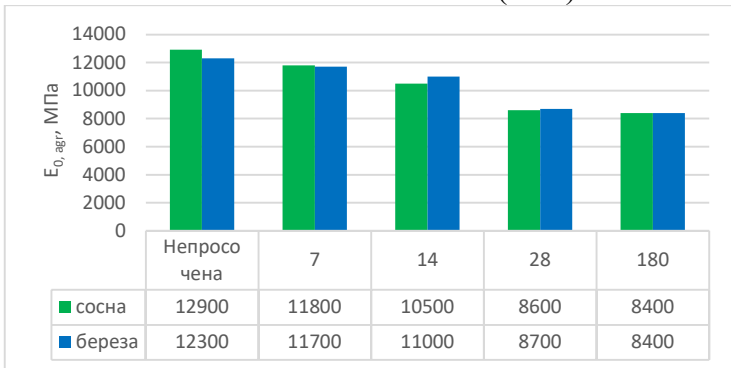
1	2	3	4	5	6	7
24	8234,99	7945,01	9639,75	9798,68	9303,32	9587,16
25	8147,31	7854,25	9587,07	9733,64	9217,17	9511,96
26	8065,17	7768,48	9537,91	9671,51	9135,39	9440,00
27	7988,40	7687,56	9492,17	9612,21	9057,86	9371,19
28	7916,83	7611,35	9449,74	9555,65	8984,46	9305,46
29	7850,29	7539,70	9410,51	9501,77	8915,07	9242,72
30	7788,63	7472,48	9374,38	9450,50	8849,58	9182,90
60	7489,95	6906,43	9265,46	8797,90	8186,36	8395,38
90	8159,33	7396,18	9728,86	8906,23	8556,68	8524,18
120	8111,55	7430,51	9687,47	8904,45	8642,03	8602,21
150	7396,47	6913,42	9202,29	8627,48	8274,92	8396,72
180	7799,07	7164,16	9472,34	8616,24	8438,90	8409,28

ДОДАТОК Г

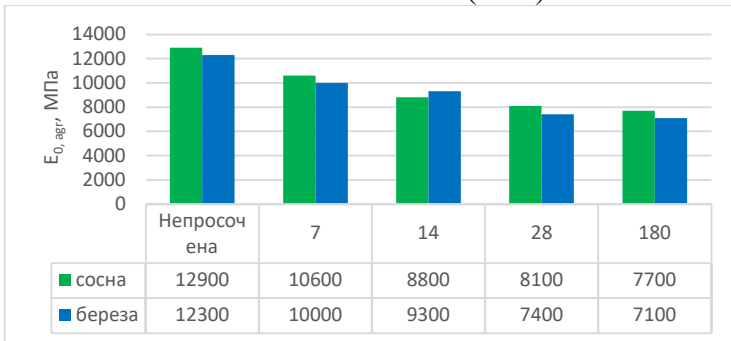
Динаміка зміни початкового модуля пружності $E_{c, o, d, agr}$ сосни та берези після дії кислотних середовищ оцтової кислоти (9%)



молочної кислоти (40%)



соляної кислоти (15%)



ДОДАТОК Д

Значення критичних деформацій $u_{c,0,d,agr}$ деревини сосни та берези після дії кислотних середовищ визначених за формулами (3.13-3.18) в межах від 1 до 180 діб

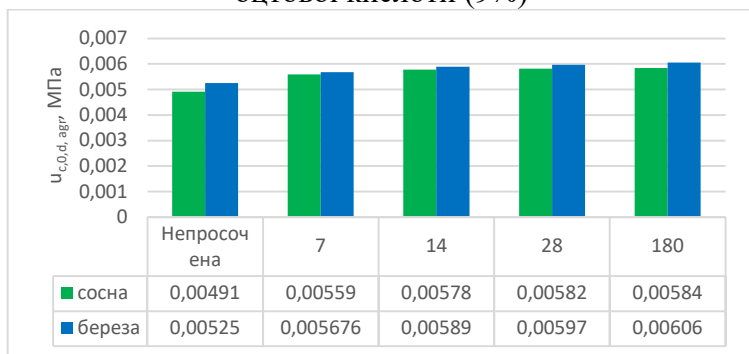
Термін просочення T, дні	Значення критичних деформацій $u_{c,0,d,agr}$ деревини під впливом різних кислотних середовищ					
	Соляна кислота		Оцтова кислота		Молочна кислота	
	Сосна	Береза	Сосна	Береза	Сосна	Береза
1	2	3	4	5	6	7
0	0,005015	0,005295	0,005087	0,005346	0,004841	0,005331
1	0,005062	0,005326	0,005140	0,005387	0,004879	0,005376
2	0,005107	0,005355	0,005191	0,005426	0,004915	0,005421
3	0,005151	0,005384	0,005239	0,005465	0,004950	0,005463
4	0,005192	0,005412	0,005286	0,005501	0,004984	0,005504
5	0,005233	0,005438	0,005330	0,005536	0,005017	0,005544
6	0,005271	0,005464	0,005373	0,005570	0,005049	0,005582
7	0,005308	0,005489	0,005414	0,005603	0,005080	0,005618
8	0,005344	0,005512	0,005453	0,005634	0,005110	0,005653
9	0,005378	0,005535	0,005490	0,005663	0,005138	0,005687
10	0,005410	0,005557	0,005526	0,005692	0,005166	0,005719
11	0,005441	0,005578	0,005559	0,005719	0,005192	0,005750
12	0,005471	0,005598	0,005592	0,005745	0,005218	0,005780
13	0,005499	0,005617	0,005623	0,005770	0,005242	0,005809
14	0,005526	0,005636	0,005652	0,005794	0,005266	0,005836
15	0,005552	0,005653	0,005679	0,005816	0,005288	0,005862
16	0,005576	0,005670	0,005706	0,005838	0,005310	0,005887
17	0,005599	0,005686	0,005730	0,005858	0,005331	0,005911
18	0,005621	0,005701	0,005754	0,005877	0,005351	0,005933
19	0,005642	0,005716	0,005776	0,005896	0,005370	0,005955
20	0,005661	0,005730	0,005796	0,005913	0,005389	0,005975
21	0,005680	0,005743	0,005816	0,005929	0,005406	0,005995
22	0,005697	0,005756	0,005834	0,005945	0,005423	0,006013

Продовження додатку Д

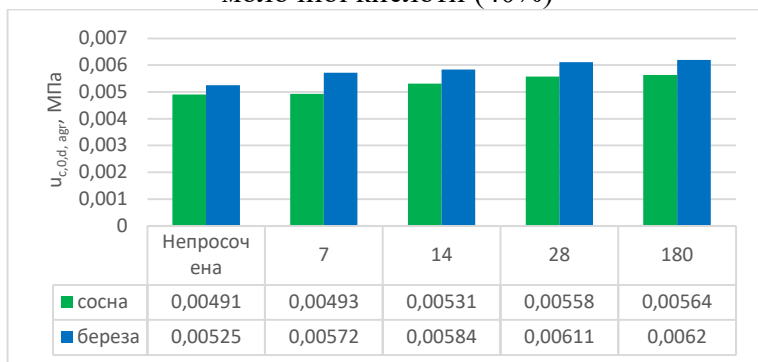
1	2	3	4	5	6	7
23	0,005714	0,005767	0,005851	0,005959	0,005439	0,006031
24	0,005729	0,005779	0,005867	0,005973	0,005454	0,006047
25	0,005744	0,005789	0,005882	0,005986	0,005469	0,006063
26	0,005757	0,005799	0,005895	0,005998	0,005482	0,006077
27	0,005770	0,005809	0,005908	0,006009	0,005495	0,006091
28	0,005781	0,005818	0,005920	0,006019	0,005508	0,006104
29	0,005792	0,005826	0,005930	0,006029	0,005520	0,006116
30	0,005802	0,005834	0,005940	0,006038	0,005531	0,006128
60	0,005836	0,005901	0,005932	0,006076	0,005654	0,006215
90	0,005712	0,005857	0,005764	0,005977	0,005603	0,006126
120	0,005718	0,005880	0,005772	0,005992	0,005592	0,006134
150	0,005842	0,005966	0,005923	0,006107	0,005652	0,006240
180	0,005763	0,005930	0,005816	0,006044	0,005635	0,006186

ДОДАТОК Е

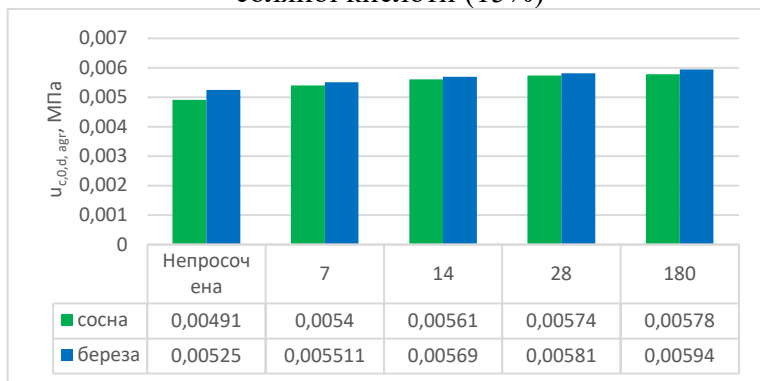
Динаміка зміни критичних деформацій $u_{c,0,d,agr}$ деревини сосни та берези після дії кислотних середовищ оцтової кислоти (9%)



молочної кислоти (40%)



соляної кислоти (15%)



ДОДАТОК Є

Значення остаточних (залишкових) деформацій $u_c, f_{in,agr}$ деревини сосни та берези після дії кислотних середовищ визначених за формулами (3.19-3.24) в межах від 1 до 180 діб

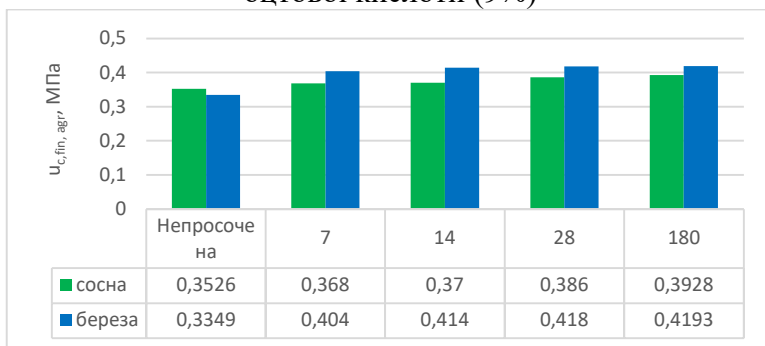
Термін просочення Т, дні	Значення остаточних (залишкових) деформацій $u_c, f_{in,agr}$ деревини під впливом різних кислотних середовищ					
	Соляна кислота		Оцтова кислота		Молочна кислота	
	сосна	береза	сосна	береза	сосна	береза
1	2	3	4	5	6	7
0	0,35612	0,34834	0,35407	0,35363	0,35655	0,34619
1	0,36036	0,35208	0,35575	0,35835	0,36076	0,34977
2	0,36445	0,35568	0,35738	0,36289	0,36482	0,35322
3	0,36839	0,35915	0,35895	0,36724	0,36874	0,35653
4	0,37220	0,36249	0,36047	0,37141	0,37252	0,35971
5	0,37587	0,36570	0,36193	0,37541	0,37616	0,36275
6	0,37940	0,36879	0,36335	0,37924	0,37967	0,36567
7	0,38280	0,37175	0,36471	0,38290	0,38305	0,36847
8	0,38608	0,37460	0,36603	0,38639	0,38630	0,37115
9	0,38923	0,37733	0,36730	0,38973	0,38942	0,37370
10	0,39225	0,37995	0,36852	0,39291	0,39242	0,37615
11	0,39516	0,38245	0,36969	0,39594	0,39531	0,37848
12	0,39795	0,38485	0,37083	0,39883	0,39808	0,38070
13	0,40062	0,38715	0,37191	0,40157	0,40073	0,38281
14	0,40318	0,38934	0,37296	0,40417	0,40327	0,38482
15	0,40564	0,39143	0,37396	0,40663	0,40570	0,38673
16	0,40798	0,39342	0,37493	0,40896	0,40803	0,38854
17	0,41023	0,39532	0,37585	0,41116	0,41025	0,39025
18	0,41237	0,39712	0,37674	0,41324	0,41238	0,39187
19	0,41441	0,39884	0,37758	0,41519	0,41440	0,39340
20	0,41635	0,40046	0,37839	0,41703	0,41633	0,39484
21	0,41821	0,40201	0,37917	0,41875	0,41817	0,39620
22	0,41997	0,40346	0,37991	0,42035	0,41991	0,39747

Продовження додатку Є

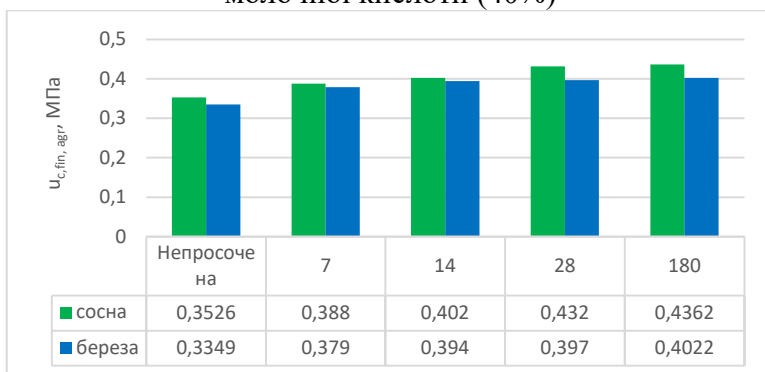
23	0,42164	0,40484	0,38061	0,42185	0,42157	0,39866
24	0,42322	0,40614	0,38128	0,42325	0,42314	0,39977
25	0,42472	0,40737	0,38192	0,42454	0,42462	0,40081
26	0,42614	0,40852	0,38253	0,42573	0,42603	0,40177
27	0,42748	0,40960	0,38311	0,42683	0,42735	0,40266
28	0,42875	0,41061	0,38366	0,42783	0,42860	0,40348
29	0,42993	0,41155	0,38418	0,42875	0,42978	0,40424
30	0,43105	0,41243	0,38467	0,42958	0,43088	0,40493
60	0,44068	0,41819	0,39014	0,42776	0,44027	0,40556
90	0,43285	0,41104	0,38841	0,41208	0,43230	0,39521
120	0,43229	0,41323	0,38896	0,41286	0,43156	0,39642
150	0,44066	0,42377	0,39280	0,42682	0,43964	0,40711
180	0,43656	0,41853	0,39248	0,41706	0,43516	0,40063

ДОДАТОК Ж

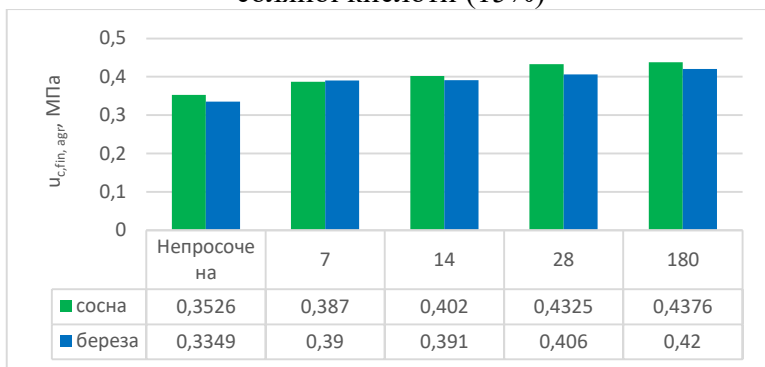
Динаміка зміни остаточних деформацій $u_{c,fin,agr}$ деревини сосни та берези після дії кислотних середовищ оцтової кислоти (9%)



молочної кислоти (40%)



соляної кислоти (15%)



Для нотаток

Наукове видання

Верешко Олег Вікторович
Гомон Святослав Святославович

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ
МІЦНІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОНСТРУКЦІЙНОЇ
ДЕРЕВИНИ ПІСЛЯ ДІЇ КИСЛОТНИХ СЕРЕДОВИЩ**

Монографія

Макетування : Верешко Олег

Формат 60x84 1/16. Обсяг 9,3 ум. друк. арк., 9,21 обл.-вид. арк.
Наклад 300 пр. Зам. 4. Видавець і виготовлювач – Вежа-Друк
(м. Луцьк, вул. Шопена, 12, тел. + 38 066 936 25 49).
Свідоцтво Держ. комітету телебачення та радіомовлення України
ДК № 4607 від 30.08.2013 р.