

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

ГОМОН СВЯТОСЛАВ СТЕПАНОВИЧ

УДК 624. 011:620.172/.178.2

**НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН І РОЗРАХУНКИ ЗА
ДЕФОРМАЦІЙНОЮ МЕТОДИКОЮ ЕЛЕМЕНТІВ З ДЕРЕВИНИ ПРИ
ОДНОРАЗОВИХ ТА ПОВТОРНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ**

05.23.01 – будівельні конструкції, будівлі та споруди

Галузь знань – Архітектура та будівництво

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Львів – 2020

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Розширенню області застосування деревини в конструкціях будівель і споруд різного типу та призначення сприяють очевидні переваги – невелика густина, достатньо високі міцнісні характеристики, простота обробки та утилізації, корозійна стійкість, естетичність та постійне відновлення запасів у природі.

Найчастіше деревина в будівництві використовується в конструкціях балок, які в будівлях виконують роль основних несучих конструкцій покриття чи перекриття, ребер жорсткості в панелях покриття і стінових панелях та прогонах різного виду покриття.

Наразі проектування дерев'яних конструкцій здійснюється за ДБН В.2.6-161:2017, в якому деревина розглядається як пружний матеріал, але допускається використання нелінійних залежностей між деформаціями і напруженнями, які на даний час практично не досліджені.

Наведені в нормах (ДБН В.2.6-161:2017) розрахункові залежності в певній мірі успішно виконують своє завдання по забезпеченню міцності та жорсткості окремих елементів конструкцій з деревини, але не дають можливості встановлювати напружено-деформований стан на всіх стадіях їх завантаження.

Тому, не випадково, останнім часом все частіше і гостріше постає питання про нову системну постановку та єдиного способу вирішення задач теорії розрахунків конструкцій з деревини, який би враховував не лінійність і нерівномірність деформування матеріалу та з'єднань елементів. Необхідна теорія, яка б базувалася на гіпотезах, що узагальнюють дані експериментальних досліджень та фундаментальних законів теорії опору матеріалів, пов'язаних з особливостями фізичної моделі об'єкта досліджень, тобто деревини.

Побудова такої теорії розрахунку в майбутньому мала б велике значення для будівельної практики та науки. Розв'язок задач з використанням деформаційно-силової моделі на сьогодні зіштовхуються з великими труднощами, пов'язаними з визначенням параметрів не лінійності діаграм стану суцільної чи клеєної деревини. Наразі немає залежності, яка б в достатній мірі описувала діаграму повздовжнього деформування суцільної деревини за короткочасної дії навантаження, а дослідження діаграм повздовжнього деформування клеєної деревини взагалі не проводилося. В зв'язку з цим задача розробки методики розрахунку елементів з деревини з урахуванням дійсних діаграм деформування є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Виконана робота є одним із етапів досліджень, які виконуються на кафедрі промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд, Національного університету водного господарства та природокористування за проблемою «Дослідження напружено-деформованого стану будівельних конструкцій, удосконалення методики їх розрахунку та розробка пропозицій до нормативних документів» (номер державної реєстрації 0117U002816), «Дослідження роботи та удосконалення методів розрахунків будівельних конструкцій при різних режимах зовнішніх впливів» (номер державної реєстрації 0107U004181) та за темою «Розробити нові та удосконалити існуючі методики розрахунку будівельних

конструкцій, включаючи підсилені, при дії одноразових та повторних навантажень» (державний реєстраційний номер 0112U001122).

Мета роботи: встановити повні діаграми механічного стану деревини при одноразовому та повторному стисканні, виявити можливі характерні стадії роботи згинальних елементів від початку навантаження до руйнування, сформулювати критерії досягнення згинальними елементами граничних станів та на їх основі розробити деформаційну методику розрахунку згинальних елементів з цільної та клеєної деревини при одноразових та повторних навантаженнях.

Задачі дослідження. Для досягнення мети поставлені такі задачі:

- за літературними джерелами виконати аналіз експериментально-теоретичних досліджень та апроксимуючих функцій діаграм деформування деревини, встановити їх позитивні сторони та недоліки;
- розробити методику експериментальних досліджень повної діаграми деформування деревини вздовж волокон за короткочасного стиску та розтягу і побудови повної діаграми механічного стану матеріалу від початку завантаження і до руйнування;
- обґрунтувати та запропонувати апроксимуючі функції експериментальних діаграм деформування, які б досить достовірно врахували вплив різних факторів;
- провести експериментально-теоретичні дослідження роботи деревини та з'єднань із елементами з деревини за дії малоциклових навантажень різної інтенсивності;
- удосконалити методику визначення модуля пружності цільної та клеєної деревини;
- визначити та охарактеризувати характерні стадії напружено-деформованого стану нормального розрахункового поперечного перерізу роботи деревини під навантаженням;
- обґрунтувати допущення та гіпотези і розробити модель розрахункового нормального поперечного перерізу елемента з деревини та сформулювати критерії досягнення елементами граничного стану;
- розробити методику визначення напружено-деформованого стану нормальних перерізів в елементах з деревини за поперечного згину;
- розробити основи деформаційної моделі опору нормальних розрахункових перерізів елементів конструкцій з деревини;
- розробити практичні методи розрахунків конструкцій з деревини на основі деформаційної методики та рекомендації з проектування конструкцій з цільної та клеєної деревини.

Об'єкт дослідження – проектування конструкцій з цільної та клеєної деревини з використанням деформаційної методики.

Предмет дослідження – діаграми механічного стану деревини при навантаженнях, стадії роботи елементів деревини при навантаженні, критерії руйнування, деформаційна методика розрахунку елементів з цільної та клеєної деревини при одноразових та повторних навантаженнях.

Методи дослідження. Вивчення та аналіз експериментально-теоретичних досліджень, що приведені в доступних літературних джерелах; наукове обґрунтування та формулювання завдань теоретичних та експериментальних

досліджень, експериментальні натурні дослідження на зразках елементів з цільної та клеєної деревини в лабораторних умовах, а також обробка і аналіз отриманих результатів; фізичне та математичне моделювання основних фізико-механічних властивостей деревини, параметрів напружено-деформованого стану елементів конструкцій з деревини; формулювання основних висновків та розробка рекомендацій щодо впровадження результатів досліджень у практику; загальні методи емпіричного та теоретичного дослідження – абстрагування, аналіз, синтез, дедукція.

Наукова новизна отриманих результатів. Новизна одержаних результатів полягає в наступному:

вперше:

- науково обґрунтовано верифікацію допущень та гіпотез на розроблену модель розрахункового нормального поперечного перерізу зі складкою в стиснутій зоні елемента з деревини та обґрунтовані передумови і встановлено стадії напружено-деформованого стану елементів з деревини з врахуванням утворення складки в стиснутій зоні;
- отримані нові уявлення про роботу цільної та клеєної деревини та з'єднань елементів з деревини за дії малоциклових навантажень різної інтенсивності;
- запропонована нова методологія та методика експериментально-графічного способу визначення січного модуля деформування деревини та початкового модуля пружності на зразках конструкційних розмірів;
- розроблено аналітичний апарат для визначення напружено-деформованого стану нормальних перерізів дерев'яних елементів, що зазнають згину на основі повних діаграм деформування матеріалу, а також запропонована деформаційна методика розрахунку несучої здатності нормальних перерізів дерев'яних елементів за дії одноразових та малоциклових навантажень;

удосконалено:

- методику експериментальних досліджень повних діаграм деформування деревини та запропоновані аналітичні залежності для визначення параметрів встановлених діаграм механічного стану при різних режимах завантажень;
- деформаційну методику прогнозування часу працездатності конструкцій після дії малоциклових навантажень.

Достовірність отриманих наукових результатів забезпечується:

- результатами експериментальних досліджень, які виконані на сучасному рівні, та їх дублюванням з використанням сучасної виміральної апаратури й повірених приладів з високим класом точності;
- використанням для обробки результатів експериментів та отримання аналітичних залежностей апарату математичної статистики;
- задовільною збіжністю отриманих експериментальних досліджень з теоретичними результатами та з результатами інших авторів;
- використанням апробованих положень теорії твердого тіла.

Практичне значення одержаних результатів роботи. Для практичного використання розроблені рекомендації «Розрахунок несучої здатності дерев'яних балок за поперечного згину з використанням деформаційної моделі», які можуть

бути використані проектними та виробничими організаціями.

Матеріали дисертації направлені в Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій для використання при внесенні змін до національних нормативних документів України: ДБН В.2.6-161:2017 «Дерев'яні конструкції. Основні положення» та ДСТУ Б В.2.6-151:2010 «Конструкції будинків і споруд. Конструкції дерев'яні клеєні. Загальні технічні умови». Прийняття матеріалів для розгляду та використання підтверджені довідкою інституту.

В Національному університеті водного господарства та природокористування розроблені конструкції мобільних комбінованих сховищ, основою яких є покриття у вигляді призматичних тришарових залізобетонних складок з діафрагмами з деревини, які розраховані з використанням розробленої деформаційної методики. Запропоновані конструкції малогабаритних сховищ, які допускають свою передислокацію, можуть використовуватися для обладнання вогневих точок, командних та спостережних пунктів, бліндажів тощо, що підтверджено довідкою ДП Міністерства оборони України «Центральний проектний інститут».

Окремі положення дисертаційної роботи використані в:

- товаристві з обмеженою відповідальністю «Орбіта буд проект» при проектуванні наступних об'єктів: «Фізкультурно-оздоровчого басейну на базі Костопільської ДЮСШ за адресою: провулок Артилерійський, 5а, м. Костопіль, Рівненська область» при розрахунку основних несучих конструкцій (дерев'яних рам) та проектуванні клеєних та нагельних з'єднання косо зігнутих дерев'яних елементів прогонної системи покрівлі басейну з врахуванням мало циклового пристосування; «Реконструкції приміщень в м. Рівне по вул. 16 Липня, 87» при визначенні несучої здатності дерев'яних балок перекриття з врахуванням дії мало циклових повторних навантажень.

- приватного підприємства «Творчо-виробничою фірмою ТРІАДА» при проектуванні основних несучих дерев'яних конструкцій наступних об'єктів:

«Будівництво комплексу приймання, первинної обробки та зберігання зернових в с. Малий Шпаків, Рівненського району, Рівненської області» та «Будівництво цеху по виготовленню розсипних кормів в с. Немовичі, Сарненського району, Рівненської області».

Теоретичні положення дисертації використані в навчальному посібнику «Конструкції з дерева та пластмас» для студентів закладів вищої освіти, а також використані в робочих програмах навчальних дисциплін «Конструкції з деревини і пластмас», «Прогресивні методи дослідження, проектування і застосування конструкцій з деревини і пластмас».

Особистий внесок здобувача:

- розроблена та виконана багаторічна програма експериментальних досліджень діаграм « $\sigma - u$ » суцільної та клеєної деревини, а також механічного стану поведінки згинальних елементів з суцільної та клеєної деревини за дії поперечних навантажень;
- розроблені методики і устаткування для експериментального дослідження деревини для отримання повних діаграм « $\sigma - u$ » та вивчення роботи

згинальних елементів з суцільної та клеєної деревини за дії поперечних навантажень;

- вперше встановлено чотири стадії напружено-деформованого стану згинальних елементів з деревини;
- удосконалено методи дослідження властивостей суцільної та клеєної деревини за повздовжнього та поперечного стиску, а також повздовжнього сколювання та згину;
- вперше розроблено деформаційну методику розрахунку згинальних елементів з суцільної та клеєної деревини за дії поперечних навантажень залежно від реальних фізико-механічних властивостей матеріалу.

У докторській дисертації не використовувалися матеріали кандидатської дисертації.

Апробація результатів дисертаційної роботи. Основні положення і результати дисертаційної роботи доповідалися на наукових конференціях професорсько-викладацького складу, аспірантів та студентів Національного університету водного господарства та природокористування (2000-2019 рр.); міжнародних симпозіумах «Современные строительные конструкции из металла и древесины», м. Одеса (2008, 2010, 2011рр.); міжнародному симпозіумі «Современные металлические и деревянные конструкции», м. Брест, Республіка Білорусь; міжнародних науково-практичних конференціях «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности», м. Могильов, Республіка Білорусь (2009, 2012 рр.); «Образование, наука и производство в XXI веке: современные тенденции развития» м. Могильов, Республіка Білорусь, 2016 р.); «Проблеми розвитку міського середовища», Київ, 2012 р.; «Перспективи розвитку будівельної галузі», Полтава, 2013 р.; науково-практичній конференції «Будівлі та споруди спеціального призначення: сучасні матеріали та конструкції», м. Київ, 2016 р.; науково-практичних конференціях «Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди», м. Рівне (2003, 2005, 2007, 2009, 2011, 2014, 2019 рр.), третій міжнародній науково-практичній конференції «Підводні технології 2017», м. Київ, 2017 р.; міжнародній науково-технічній конференції «Ефективні технології і конструкції у будівництві та архітектурі села», м. Дубляни, 2018 р.; міжнародній конференції «Eastern Europe Conference of Timber Constructions», м. Харків, 2018 р.; міжнародній конференції «Science without boundaries development in 21st century – 2018», Будапешт, Угорщина, 2018 р.; десятій міжнародній науковій конференції «Scientific Session on Applied Mechanics X», Bydgoszcz, Польща, 2018 р., міжнародній конференції «Society for cultural and scientific progress in Eastern Europe», Будапешт, Угорщина, 2020 р. та ін.

В повному обсязі дисертація доповідалась на кафедрі промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд Національного університету водного господарства та природокористування, а також кафедрі будівельних конструкцій та мостів Національного університету «Львівська політехніка».

Публікації. Основні положення і результати дисертації викладені у 53 опублікованих працях, в тому числі в двох монографіях, в семи статтях наукових періодичних видань інших держав (три із них входить в науково-метричну базу «Scopus», дві – Index Copernicus) та 27 наукових публікаціях у

фахових виданнях.

Дана дисертаційна робота виконана за ініціативою автора. З тематики напрямку, що був сформульований автором захищені кандидатські дисертації аспірантами Алексієвцем В.І., Сасовським Т.А., Павлюком А.П., які виконані під керівництвом та безпосередній участі автора.

Структура і обсяг роботи. Дисертація складається із вступу, семи розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел (266 найменувань) і 8-ти додатків. Робота представлена на 383 сторінках, з яких 311 сторінок основного тексту, 28 сторінок списку літератури та 44 сторінки додатків. Основна частина роботи містить 148 рисунків та 11 таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** визначена актуальність, поставлені мета та задачі досліджень, наведена загальна характеристика дисертації, викладені наукова новизна та практична значимість роботи.

У **першому розділі** розглянуто склад мікро- та макроструктури деревини, наведено огляд особливостей завантажень елементів з деревини, етапів теорії розвитку деформування та опору силовим діям деревини. Безпосередньо дослідженням і розробкою методів розрахунків конструкцій з деревини, оцінкою їх несучої здатності та вдосконаленням конструктивних рішень присвячена велика кількість робіт вітчизняних вчених, таких як Ашкенази Е.К., Балдин В.А., Белянкін Ф.П., Болденков Р.П., Биков В.В., Генієв Г.А., Гринь І.М., Демчина Б.Г., Дмитриєв П.А., Знаменський Е.М., Іванов В.А., Іванов Ю.М., Квасников Е.Н., Клименко В.З., Коченов В.М., Леннов В.Г., Найчук А.Я., Орлович Р.Б., Патон Є.О., Пятикрестовський К.П., Рощина С.И., Савицький М.В., Стоянов В.В., Турковський С.Б., Фурсов В.В., Шемякин Е.И., Яценко В.Ф., та закордонних Baumann R., Filon L.N., Graf O., Hoffmeyer P., Köhler J., Medsen B., Sorensen J.D., Stang B.D., Wood L. W., Ylinen A., Zhou A. та багато інших.

В роботах Є.К. Ашкеназі, Г.А. Генієва, И.И. Гольденблата, Є.М. Знаменського, Ю.М. Іванова, Є.М. Кваснікова, В.З. Клименка, Д.В. Михайловського, А.Я. Найчука, Р.Б. Орловича, Є.М. Серова, В.В. Фурсова, Баретта і Фоші, Медсена було зазначено, що несуча здатність елементів дерев'яних конструкцій в багатьох випадках визначається міцністю окремих ділянок, які працюють в умовах складного неоднорідного напруженого стану.

Перші підходи по теорії розрахунку конструкцій з деревини в основному базувалися на методі розрахунку за допустимими напруженнями. Розподіл напружень по висоті поперечного перерізу прийнято згідно «класичної» залежності напруження-деформації за законом Гука. Основним недоліком цієї теорії є те, що вона не враховує пластичні властивості деревини, а також те, що зразки в умовах розтягу і стиску показують різні властивості нелінійного деформування.

В запропонованій А.Ф. Лолейтом теорії розрахунку за руйнівними зусиллями питання про форму епюр напружень стиснутої та розтягнутих зон не розглядалося.

Нині діюча теорія граничної рівноваги виявилась головним стержнем, навколо якого стала створюватись сучасна теорія розрахунку будівельних

конструкцій. На основі теорії граничної рівноваги розроблені методи розрахунків конструкцій за граничними станами, які прийнято в чинних нормах ДБН В.2.6-161:2017. Відповідно до цього граничний стан щодо руйнування характеризується сприйняттям повного зовнішнього зусилля за повного використання, як стиснутої, так і розтягнутої зон нормального розрахункового поперечного перерізу.

Базовою рахується робота стиснутої та розтягнутої зони деревини, як пружна, а зв'язок між деформаціями і напруженнями прийняті лінійними, незважаючи на те, що зростання повздовжніх деформацій деревини стиску за початкових навантажень не є лінійним через еластичну складову. Це спрощене представлення дійсного зв'язку між напруженнями та деформаціями стиснутої та розтягнутої зон призводить до суттєвих похибок і спотворення напружено-деформованого стану елемента на, практично, всіх стадіях роботи. А сам розрахунок дерев'яних елементів суцільного поперечного перерізу, які працюють на стиск, розтяг, згин, проводиться за досить спрощеною методикою, яка базується на теоретичних твердженнях запропонованих в 40-60 роках ХХ століття, виходячи з кусково-лінійної залежності між напруженнями та деформаціями ($\sigma - u$). Кусково-лінійні залежності ґрунтуються на діаграмах деформування деревини на стиск і розтяг встановлених за м'якого режиму деформування на зразках з чистої деревини.

Ще на початку 20 сторіччя Бауман, Коченов В.М. та інші звернули увагу на фізичну нелінійність деформування деревини під навантаженням та підкреслили, що різна величина опору деревини розтягу та стиску, а також різний вплив неоднорідності будови на міцність розтягнутих і стиснутих волокон викликає складне розподілення напружень в стиснутій та розтягнутій зонах поперечного перерізу згинального елемента. За рівності деформацій в стиснутих і розтягнутих волокнах балки напруження в цих шарах різні. За рахунок цього нейтральна силова площина між стиснутою та розтягнутою зонами вже на початкових стадіях навантаження починає поступово зміщуватися в сторону розтягнутої зони, а за косоного згину ще й з поворотом в одну із сторін. Цей факт донині не враховується, але він докорінно змінює підхід до визначення напружень в шарах стиснутої та розтягнутої зон згинального елемента. Крім цього, основним фактором при розрахунку елементів з деревини на чистий згин є діаграми «напруження-деформації», які використовуються з отриманих даних експериментальних випробувань зразків із чистої деревини. До того ж, побудова діаграм «напруження-деформації», як правило, закінчувалася точкою сприйняття максимального зусилля. Як веде себе деревина за межами цієї точки ще не досліджено. Хоча відомо, що залишкова міцність складає суттєву частину. Лише через зміни способу навантаження на зразок виявилися зовсім нові результати, які можуть розкрити суть роботи деревини під дією навантажень. В даний час в чинних нормах закладений лише один розв'язок задач несучої здатності елементів з деревини в нормальних перерізах який спирається на поняття критерію міцності. По суті, даний критерій є силовим, так як момент руйнування оцінюється силовою характеристикою – граничним значенням напруження.

Є спроби побудувати теорію міцності на основі тензорного обчислення (Ашкенази Е.К., Гениев Г.А., Фурсов В.В., Михайловський Д.В.), з позиції

механіки руйнування (Дроздовський Б.А., Фридман Я.Б., Шатц Т., Найчук А.Я.) та розвивати синтетичну теорію міцності матеріалу, прилаштовуючи її до природного анізотропного матеріалу – деревини (Тутурин С.В.). Але дані підходи, поки що, не знайшли широкого практичного використання через громіздкість та складність аналітичних виразів, використання яких в інженерних розрахунках потребує спеціальної математичної підготовки. А також для використання тензорних критеріїв міцності необхідні параметри, які можна отримати лише дослідним шляхом.

У всіх розглянутих методах розрахунку не враховується еластична та пластична складова роботи матеріалу та наявність спадної (нисхідної) вітки при деформуванні деревини на стиск, а це є певним важливим резервом в роботі конструкції з деревини.

Отже, до сьогодні здійснено досить мало робіт щодо вивчення напружено-деформованого стану деревини в «розрахунковому поперечному перерізі» як самої конструкції, так і роботи матеріалу у її складі.

Відсутня загальна теорія розрахунку конструкцій з деревини, що базувалася б на обґрунтованих чітких гіпотезах та передумовах і була б побудована на основних принципах механіки твердого тіла.

Другий розділ присвячено експериментально-теоретичним дослідженням діаграм механічного стану деревини та з'єднань елементів на її основі за дії м'якого та жорсткого режимів одноразового короткочасного навантаження.

Для вирішення питання отримання повних діаграм стану матеріалу та побудови спадної ділянки діаграми деформування матеріалів на кафедрі промислового, цивільного будівництва та інженерних споруд НУВГП виготовлено спеціальну установку для досліджень механічного стану матеріалів за навантажень, що прикладаються до зразка зі сталою швидкістю зростання деформацій. Така установка скомпонована з трьох послідовно з'єднаних і симетрично розміщених навколо зразка гідравлічних домкратів, які встановлені між плитами преса.

Дослідження проводилися на зразках з сосни розмірами 45x45x250 мм, що виросла в лісах Рівненської області. Виготовлення зразків для серії випробувань проводили з одного довгого бруска по десять-дванадцять заготовок. Всі грані зразків були чисто оброблені.

За результатами випробувань побудовані діаграми повного деформування деревини вздовж волокон ($\sigma_d - u_d$) зі спадною віткою з обмеженням її довжини $u_{c,d} = 1,45 u_{c,fin,d}$. Приклад побудови діаграм деформування показано на трьох довільно вибраних зразках-близнюках з сухої деревини і наведено на рис. 1.

Аналітичну залежність для опису отриманої діаграми фізичного напружено-деформованого стану деревини за повздовжнього стиску від початку навантаження і до руйнування, описується функцією у вигляді поліному другого степеня:

$$\sigma_{c,d} = k_1 u_{c,d} + k_c u_{c,d}^2. \quad (1)$$

Коефіцієнти функції (1), в разі, коли критичні деформації стиску $u_{c,fin,d}$ відомі,

пропонується визначати за виразами:

$$K_1 = \frac{2 f_{c,o,d}}{u_{c,fin,d}}; \quad K_c = -\frac{f_{c,o,d}}{u_{c,fin,d}^2}. \quad (2)$$

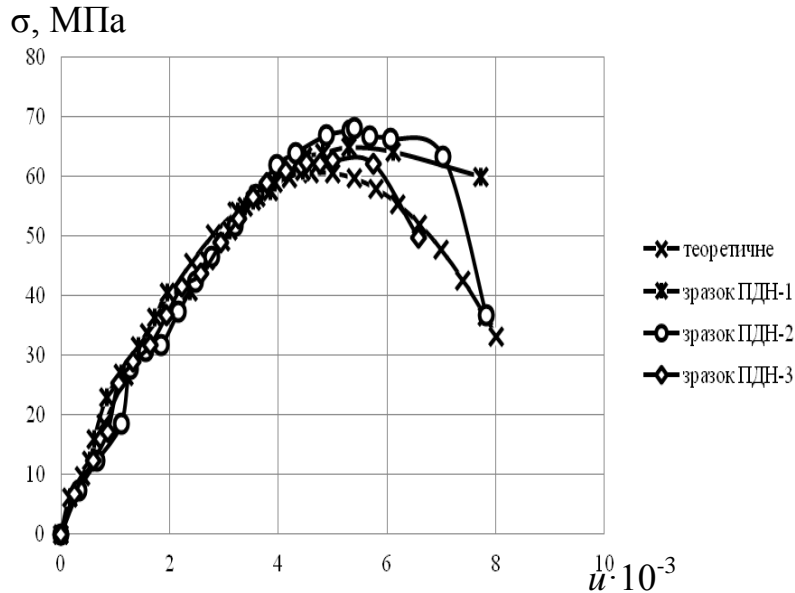


Рис. 1. Діаграми «напруження – деформації» за повздовжнього стиску деревини зразків-близнюків із сосни

Статистичний аналіз результатів порівняння відхилень теоретичних напружень від експериментальних на діаграмі деформування деревини зі спадною (низхідною) віткою, обчислених за формулою (1), показав задовільну збіжність між цими величинами.

Критична відносна деформативність клеєної деревини визначалася за результатами одноразових статичних випробувань на тринадцяти дощатоклеєних зразках-близнюках 45x45x250 мм виготовлених із соснової дошки у вигляді призми, і вона коливалася, в підсумку, від $u_{c,fin,d} = 35,1 \cdot 10^{-4}$ до $u_{c,fin,d} = 41,8 \cdot 10^{-4}$ за середньої тимчасової міцності на стиск вздовж волокон $f_{c,i,T} = 49,24 \text{ МПа}$ та вологості $w=10\%$.

Аналізуючи діаграму « $\sigma - u$ » за повздовжнього осьового розтягу, можна говорити про пружну поведінку деревини сосни в процесі деформування і майже до руйнування (див. рис. 2).

Лише в перед руйнівному стані за навантажень $(0,9-0,95)F_{\max}$ в деревині, за дослідженнями Хухрянського П.Н., починають зростати пластичні деформації. Тому, аналітичну залежність, для опису отриманої діаграми фізичного напружено-деформованого стану деревини за розтягу вздовж волокон від початку навантаження і до руйнування, виражає функція у вигляді лінійної залежності на основі рекомендацій, які наведені в роботах Тутурин С.В.:

$$\sigma_{t,d} = E \cdot u_{t,d}. \quad (3)$$

Проведено експериментальні дослідження та зроблено аналіз діаграм « $F - u_d$ » стиску деревини в отворах нагельних з'єднань за дії одноразових статичних навантажень.

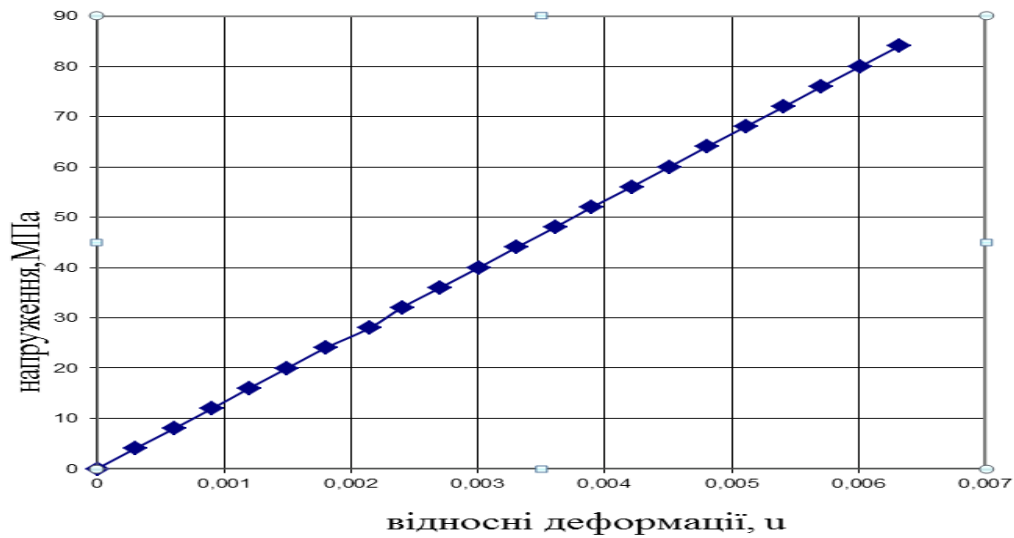


Рис. 2. Діаграма $\sigma - u$ деревини за дії розтягу вздовж волокон

За результатами вимірювань деформування з'єднання та середнього значення деформування болтів побудовано повні діаграми деформування, які представлені для з'єднання з відношенням товщини дощок $t_1 / t_2 = 0,86$ (рис. 3) і для з'єднання з відношенням товщини дощок $t_1 / t_2 = 1,0$.

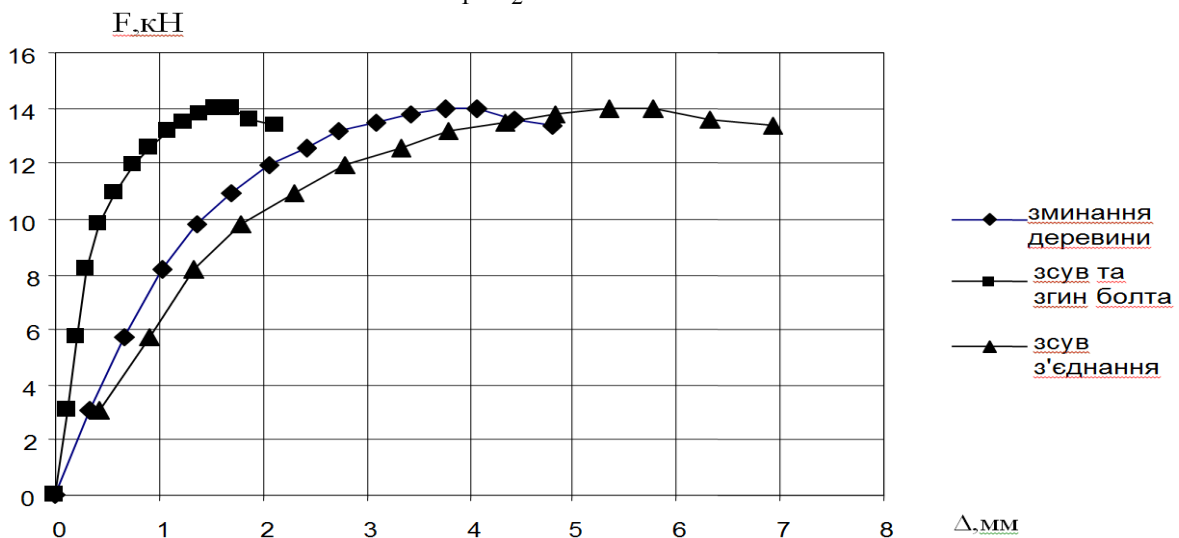


Рис. 3. Діаграми деформування (зсуву з прогином) болтів діаметром 8 мм, симетричних нагельних з'єднань за дії одноразового статичного навантаження ($t_1 / t_2 = 0,85$)

Повні деформації зсуву болтового з'єднання складається з деформацій деревини постелі отвору та деформацій згину болта під навантаженням. Деформації постелі деревини в зоні контакту з нагелем під болтом середньої дошки з'єднання визначаються з різниці

$$\Delta_d = \Delta - \Delta_b. \quad (4)$$

Завдяки жорсткому режиму прикладення навантаження вдалося спостерігати повну картину роботи деревини за стиску вздовж волокон в зоні контактної поверхні з нагелем в отворі під болтом.

На діаграмі «напруження – деформації» (див. рис. 1) видно дві різні ділянки. Перша ділянка – це висхідна крива від початку завантаження до максимальних значень напружень. Кут дотичної до кривої з віссю напруження від початкового в точці 0 до вершини постійно збільшується і доходить до 90° .

Відразу за максимумом напруження виникають лінії ковзання у вигляді тонких малопомітних полос на гранях зразка. В подальшому тут утворюється складка. Проходять зміни в структурі деревини в зоні, що примикає до цієї лінії. Інша частина зразка залишається щільною. На графіку з цього моменту починається ділянка діаграми зі спадною віткою. В інженерних розрахунках конструкцій з деревини немає сенсу використовувати всю довжину спадної вітки діаграми деформування деревини, так як в згинальному елементі кінцеве руйнування проходить по розтягнутій зоні. Навіть при руйнуванні згинальних елементів часто неозброєним оком не можна спостерігати утворення складки в стиснутій зоні, а якщо і спостерігаються, то деформації на цих ділянках не перевищують 30-35% критичної деформації $u_{d,fin}$. Тому досліджувалося деформування деревини вздовж волокон з обмеженням довжини її діаграми до $u_{c,d} = 1,45u_{d,fin}$.

На діаграмі деформування деревини під навантаженням ($F - \Delta_d$) в зоні контакту з нагелем середньої дошки двозрізного симетричного з'єднання також видно два різних відрізки. Перший відрізок – це висхідна крива від початку завантаження до максимальних значень навантажень. Відразу за максимальним рівнем прикладення навантаження починається ділянка діаграми зі спадною віткою, яка чітко спостерігається на графіку (див. рис. 3).

Випробування зразків з цільної деревини на сколювання вздовж волокон та клейових швів проводилось на зразках виготовлених з сухої деревини другого сорту за розмірами наведеними на рис. 4.

Відносні деформації за приросту одноразових короточасних навантажень суміжних волокон деревини поряд площадок сколювання та клейового шва вимірювалися за допомогою тензорезисторів. У волокнах при цьому виникають стискаючі деформації і це говорить про те, що з обох сторін від площин сколювання (клейового шва) є напруженнями стиску. Тобто робота площин сколювання та клейових швів для даних зразків проходить в середовищі напруженого стану деревини «стиск-стиск» тільки з протилежним напрямком. Значення відносних деформацій деревини, які виникають зліва і справа поряд площадки клейового шва за одноразової дії короточасного навантаження на першому циклі від початку завантаження наведено на діаграмах деформування рис. 5.

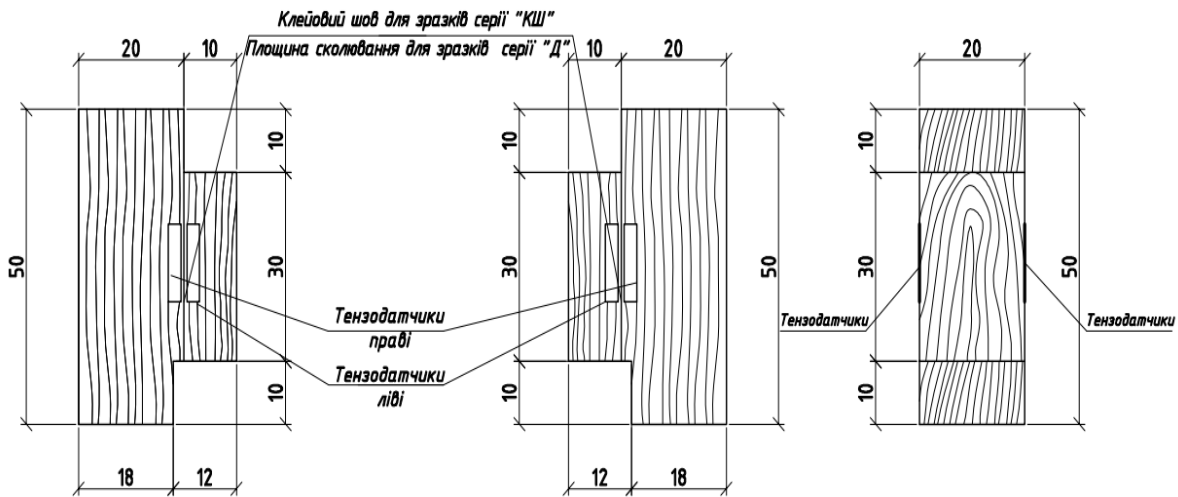


Рис. 4. Геометричні розміри дослідного зразка та схема розташування тензодатчиків (тензорезисторів) за випробування міцності на сколювання деревини та клейових швів вздовж волокон

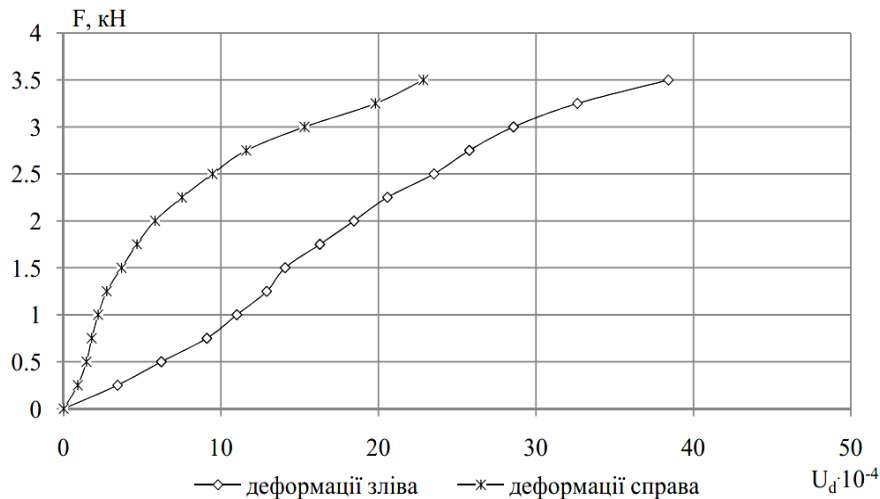


Рис. 5. Діаграми деформування волокон деревини за усередненими величинами показів правих та лівих датчиків поряд клейового шва

У третьому розділі проаналізовані експериментально-теоретичні дослідження діаграм механічного стану деревини за малоциклових навантажень.

Існуючий розподіл навантажень за тривалістю дії (на постійні та змінні) не повністю відображає характер та значення таких навантажень. В реальних умовах змінні навантаження, як правило, періодично повторюються, тобто мають змінний характер дії, як за тривалістю, так і за величиною. Таким чином, змінні навантаження доцільно уявляти монотонно змінними (монотонно зростаючими і монотонно спадаючими) та циклічними (малоцикловими (періодичність повторень яких може досягати декількох десятків, сотень, а інколи і тисяч циклів) та багатоцикловими (з періодичністю повторень більше ніж 10^6 циклів)). І саме чинні норми з проектування дерев'яних конструкцій не враховують вплив повторних малоциклових навантажень на зміну фізико-механічних властивостей

матеріалу (деревини) та на несучу здатність з'єднань. Технологічні експлуатаційні рівні малоциклових навантажень (на перекриття виробничих, громадських, житлових будівель та споруд різного призначення), як правило, не перевищують розрахункових граничних, а в багатьох випадках і експлуатаційних рівнів. Дія таких навантажень передбачає роботу матеріалу елементів конструкцій за низьких та середніх рівнів напружень. Це створює сприятливі умови для перерозподілу напружень з поступовим послабленням та подальшою ліквідацією концентраторів напружень в дефектах матеріалу, в зоні контакту контактних з'єднань, внаслідок чого проходить ущільнення, призупиняється ріст деформацій. Такий процес характеризується як малоциклове зміцнення, а явище призупинення росту деформацій визначають як малоциклову пристосованість.

На першому етапі було вивчено вплив малоциклових навантажень за стиску вздовж та поперек волокон деревини (сосни) на фізико-механічні властивості матеріалу. Діаграми роботи деревини за дії малоциклових навантажень показано на рис. 6, 7, 8.

Аналізуючи отримані результати проведених досліджень, виявлено, що за 50 циклів повторних навантажень в режимах $(0,2-0,4)$, $(0,2-0,5)$, $(0,0-0,6)$, $(0,2-0,6)$ та $(0,2-0,7)$ приріст відносних повздовжніх деформацій як цільної так і клесної деревини не перевищує 2,71%.

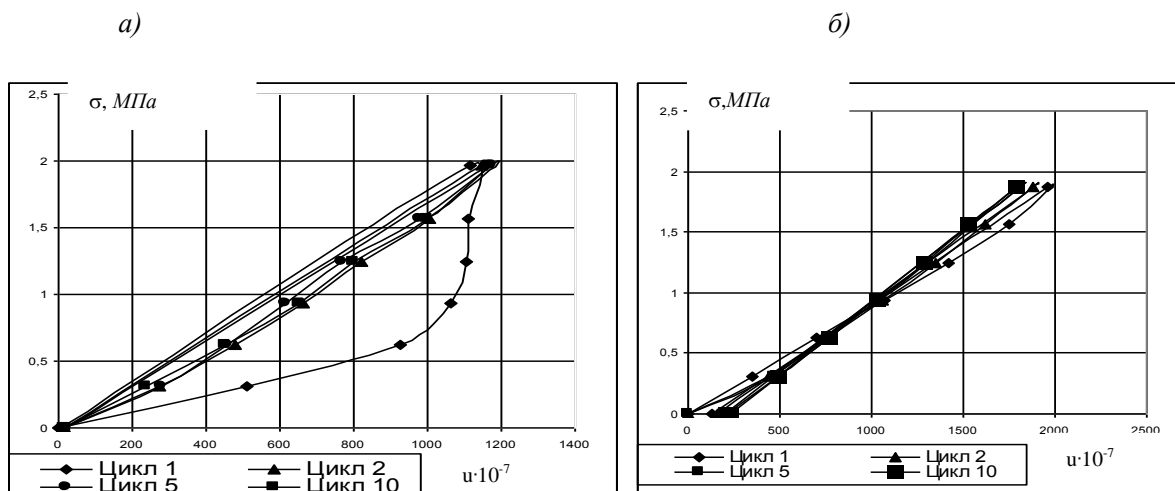


Рис. 6. Діаграми деформування деревини « $\sigma_d - u_d$ » при роботі деревини (сосни) поперек волокон за дії малоциклового навантаження в режимі $(\eta_n - \eta_e) = (0 - 0,7) f_{c,0,T}$: а) – за тангенціального напрямку; б) – за радіального напрямку

Також встановлено, що за режимів роботи деревини вздовж волокон $(0,2-0,4) f_{c,0,T}$, $(0,2-0,5) f_{c,0,T}$, $(0-0,6) f_{c,0,T}$ на 2-50 циклах прикладення повторних навантажень відбувається стабілізація та згасання приросту відносних повздовжніх деформацій. Деревина за таких режимів прикладення повторних навантажень стає працювати пружно. За вищих верхніх режимів повторних навантажень проходить невпинний постійний приріст відносних деформацій, який приводить до руйнування.

За роботи деревини на стиск поперек волокон в тангенціального напрямку малоциклова витривалість деревини описується функцією, яка має вигляд

$$\eta = 0,9105n_{\text{cyc}}^{-0,0503}, \quad (5)$$

а для зразків при роботі за повторного стиску деревини в радіального напрямку найкраще описує функція

$$\eta = 0,9557n_{\text{cyc}}^{-0,0534}. \quad (6)$$

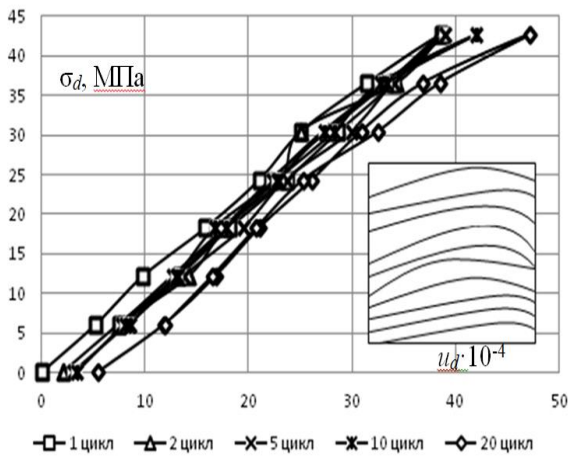


Рис. 7. Діаграма повздовжнього деформування цільної деревини « $\sigma_d - u_d$ » при роботі за дії малоциклового навантаження з рівнями напружень $(\eta_n - \eta_e) = (0,0 - 0,7) f_{c,0,T}$

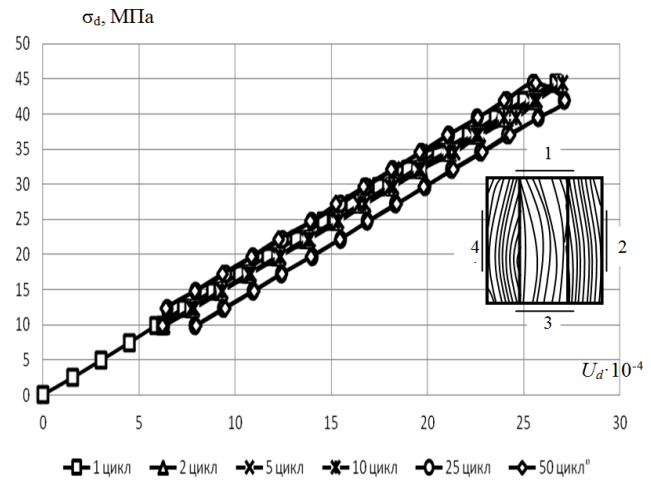


Рис. 8. Діаграма повздовжнього деформування клеєної деревини « $\sigma_d - u_d$ » при роботі за дії малоциклового навантаження з рівнями напружень $(\eta_n - \eta_e) = (0,2 - 0,9) f_{c,0,T}$

За роботи деревини на стиск вздовж волокон в режимі малоциклових навантажень межу витривалості найбільш точно описує функція у вигляді

$$\eta = 0,9909n_{\text{cyc}}^{-0,0562}. \quad (7)$$

Для побудови діаграм деформування волокон деревини поблизу площини сколювання чи клейового шва, в клеєному з'єднанні, мало циклове навантаження прикладалося ступенями по 0,25 кН, яке не перевищувало $0,1F_v$. За режимів роботи деревини вздовж волокон $(0,2 - 0,4) f_{c,0,T}$, $(0,2 - 0,5) f_{c,0,T}$, $(0 - 0,6) f_{c,0,T}$ на 2-50 циклах прикладення повторних навантажень проходить стабілізація та згасання приросту відносних повздовжніх деформацій. Деревина за таких режимів прикладення повторних навантажень стає працювати пружно. За вищих верхніх режимів повторних навантажень проходить невпинний постійний приріст відносних деформацій, який приводить до руйнування.

За розрахункову аналітичну залежність для опису криволінійної діаграми фізичного стану деревини за повторного навантаження для висхідних віток, прийнята функція у вигляді поліному другого ступеня після прикладання розрахункового числа навантажень

$$\sigma_{c,d,\text{cyc}} = k_1 u_{c,d,\text{cyc}} + k_c u_{c,d,\text{cyc}}^2. \quad (8)$$

Для побудови діаграм деформування волокон деревини поблизу площини сколювання чи клейового шва, в клеєному з'єднанні, малоциклове навантаження прикладалося ступенями по 0,25 кН, яке не перевищувало $0,1F_v$.

Зразки з режимами роботи $(0,2-0,4)F_v$, $(0,2-0,5)F_v$, $(0,2-0,6)F_v$ мають майже однаковий характер. Так деревина, що знаходиться ліворуч від площини сколювання в одних зразках чи клейового шва в інших, - стиснута. І з кожним наступним циклом прикладення повторного навантаження деформації в цій зоні незначно, але постійно, збільшуються. Зона деревини, що знаходиться праворуч від цієї площини на перших циклах є стиснутою, проте деформації в цій зоні з приростом кількості циклів незначно, але постійно зменшуються. Це приводить до перерозподілу напружень в цій зоні. Після 5-10 циклів прикладення повторних навантажень суміжні волокна деревини на нижньому рівні навантажень все більше піддаються розтягу. Як правило, за режимів малоциклової роботи площини сколювання чи клейових швів $(0,2-0,4)F_v$, $(0,2-0,5)F_v$, $(0,2-0,6)F_v$ приріст відносних деформацій деревини зон близьких до клейового шва носить затухаючий характер. Тому, лише графіки деформування суміжних волокон деревини праворуч та ліворуч від клейового шва для зразків з роботою $(0,2-0,6)F_v$ наведені на діаграмах механічного деформування під навантаженням на рис. 9.

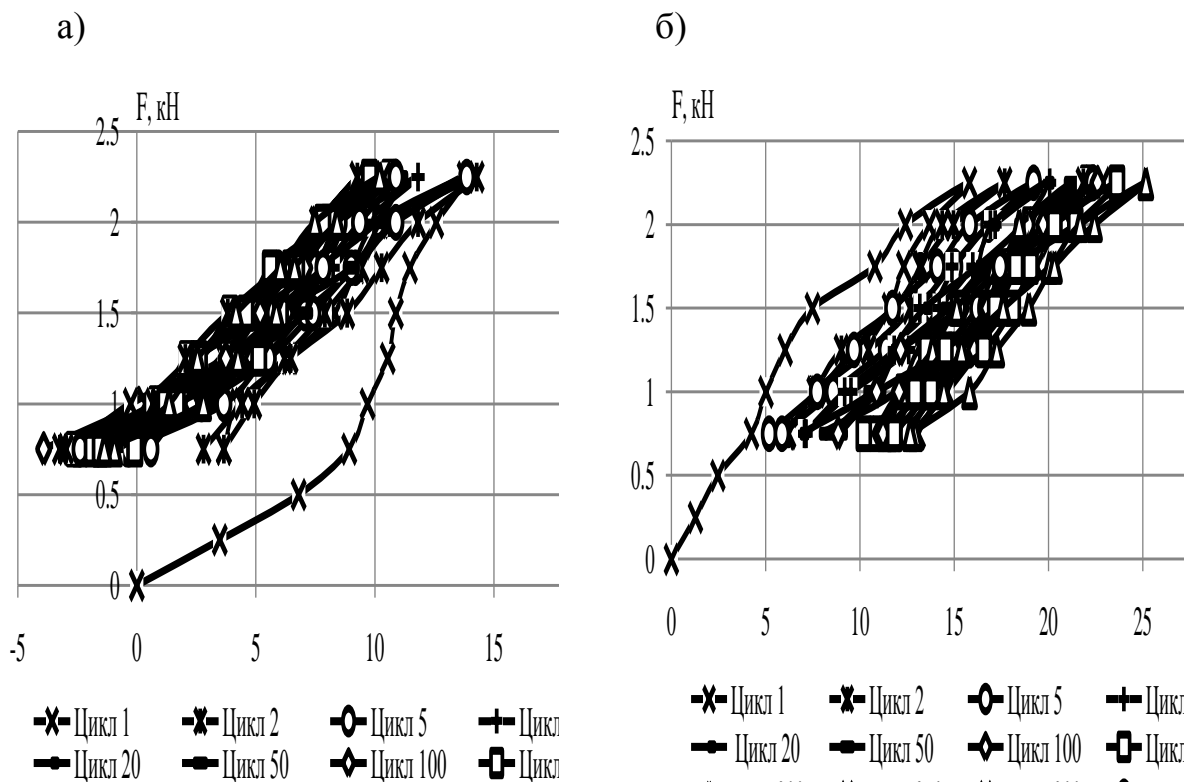


Рис. 9. Деформування деревини праворуч – а) та ліворуч – б) від клеєного шва за режиму роботи $(0,2-0,6)$

В зразках з режимом навантаження $(0,2-0,7)F_v$; $(0,2-0,8)F_v$ та $(0,2-0,9)F_v$ спостерігається постійний приріст відносних деформацій в суміжних волокнах деревини в зоні повздовжнього сколювання (зоні клейового шва), як ліворуч, так і праворуч. Постійне збільшення приросту деформацій приводить в кінцевому результаті до сколювання деревини на одному з циклів завантаження, яке, як

правило, є меншим розрахункового в 500 циклів.

Розрахункове число циклів, що зможе працювати клейове з'єднання без руйнування матиме такий вигляд

$$n_{\text{сyc}} = \alpha \cdot \eta^m = 1,3428\eta^{-13,55}. \quad (9)$$

Також випробування на малоциклові навантаження проводилися на серії зразків з 36 симетричних з'єднань. Малоциклове навантаження прикладалось таку кількість циклів, доки сумарні деформації взаємного зсуву дощок з'єднання не досягали $\Delta_u = 2,0 \text{ мм}$. Для моделювання сумісної дії постійного та короткочасного вітрового навантаження загальний розрахунковий час циклу навантаження – розвантаження складало $10^3 \dots 10^4 \text{ с}$.

Процес випробувань нагельних з'єднань показано на рис. 10, а діаграма деформування з режимом дії малоциклового навантаження $\Delta_{\text{сyc},1} = 0,8 \rightarrow F_{\eta_e} = F_{\Delta=0,8 \text{ мм}}$ на рис. 11.



Рис. 10. Процес випробування нагельного з'єднання

Навантаження, при якому випробувались нагельні з'єднання, були такі, при яких початкові деформації взаємного зсуву дощок на першому циклі в верхньому рівні завантаження становили $\Delta_{\text{сyc},1} = 0,8 \text{ мм}$. Деформування взаємного зсуву «сухих» з'єднань з режимом роботи $(F_{\eta_n} - F_{\eta_e(\Delta=0,6 \text{ мм})})$ та $(F_{\eta_n} - F_{\eta_e(\Delta=0,8 \text{ мм})})$ та «вологих» з'єднань з режимом роботи $(F_{\eta_n} - F_{\eta_e(\Delta=0,3 \text{ мм})})$ за повторних навантажень мають подібний характер. Який виявляється в тому, що приріст деформацій з ростом кількості циклів спочатку зменшується, а згодом і зовсім затухає після

прикладення 120 циклів завантаження-розвантаження.

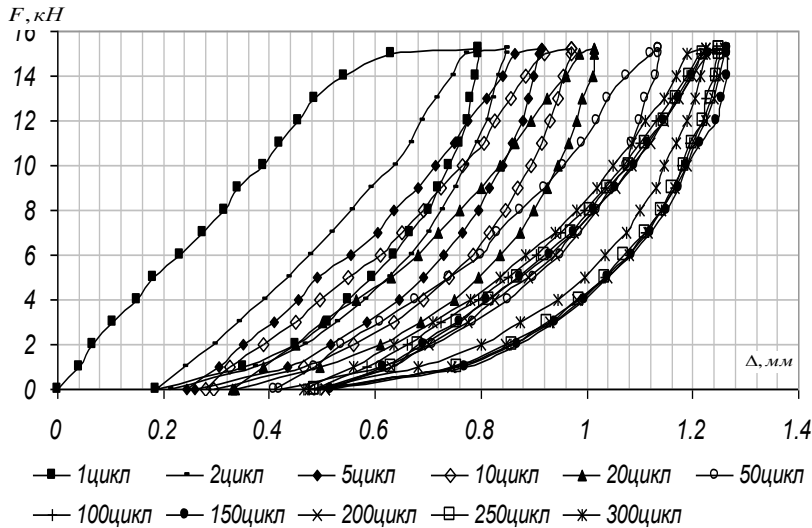


Рис. 11. Діаграма деформування нагельних з'єднань ($F - \Delta$) за дії малоциклового навантаження з $F_{\eta_0} = F_{\Delta=0,8\text{мм}}$

Сумарні деформації взаємного зсуву в цих з'єднаннях ніколи не досягали граничних значень $\Delta_u = 2\text{мм}$.

Для визначення розрахункової кількості циклів завантаження, яке може сприйняти нагельне з'єднання без руйнування в залежності від початкової деформації зсуву має такий вигляд

$$n_{\text{сycl}} = 261,48 \cdot \Delta^{-7,797}. \quad (10)$$

Четвертий розділ присвячено експериментально-теоретичним дослідженням елементів з деревини за прямого та косоного поперечного згину.

В деформаціях деревини можна легко виділити, як пружну, так і пластичну складові, тобто

$$u_{c,d} = u_{c,el,d} + u_{c,pl,d}. \quad (11)$$

Виконані дослідження показали, що за нелінійної залежності ($\sigma - u$) залежність «січний модуль деформацій – напруження» ($E' - \sigma$) при стиску вздовж волокон деревини, завантаженої з постійною швидкістю приросту навантаження, або деформацій на висхідній гілці діаграми, є лінійною і описуються рівнянням

$$E' = \frac{\sigma}{u} = E_o \pm \frac{E_o - E_{f_{c,0,d}}}{f_{c,0,d}} \cdot \sigma = E_o (1 \pm \lambda_{f_{c,0,d}} \eta), \quad (12)$$

де $\lambda_{f_{c,0,d}} = \frac{u_{pl,d}}{u_{1,d}}$ – коефіцієнт пластичності деревини вздовж волокон за $\sigma = f_{c,0,d}$,

що визначаються шляхом обробки дослідних даних методами математичної статистичної обробки.

Результати статистичної обробки дослідних даних підтвердила лінійність залежностей $E' - \eta$ і хорошу ступінь відповідності кореляційних та дослідних значень деформацій: абсолютна величина коефіцієнта кореляції r близька до

одиниці, її достовірність r/m_r завжди більше чотирьох, найбільше значення варіаційного коефіцієнта відношень $\frac{u^{досл}}{u^{кор}}$ склало $V = 4,75\%$.

Дослідження, за рекомендаціями Свеницького Г.В., Знаменського Е.М. та Тутуріна С.В., були проведені на зразках конструкційних розмірів об'ємом деревини для стиску не менше 370 см^3 та згину з об'ємом 1800 см^3 . Січний модуль деформацій E' для цільної та клеєної деревини, які працюють на стиск вздовж волокон зі збільшенням рівня напружень η , постійно зменшується (див. рис. 12).

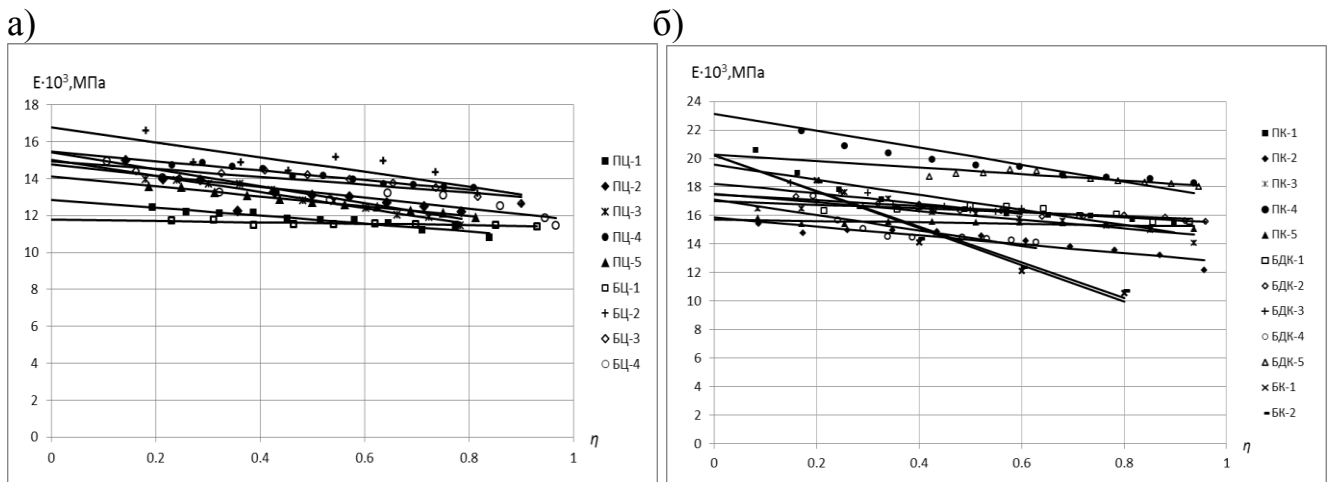


Рис. 12. Діаграми зміни січного модуля деформацій вздовж волокон цільної – а) та клеєної – б) деревини за дії короткочасного навантаження

Модуль пружності деревини в згинальних елементах за пропозиціями Сухарева І.П. визначали як середній, між модулем пружності для стиснутої і розтягнутої зон в балках з цільної та клеєної деревини за прямого згину різного рівня навантажень:

$$E = \frac{E_x^+ + E_x^-}{2}. \quad (13)$$

$$E_x^+ = \frac{M_i}{W} \cdot \left(\frac{u_t + u_c}{2u_t^2} \right), \quad (14)$$

$$E_x^- = \frac{M_i}{W} \cdot \left(\frac{u_t + u_c}{2u_c^2} \right), \quad (15)$$

Модуль пружності клеєної деревини для елементів, що зазнають косоного згину визначали за методикою вимірювань різниці прогинів на ділянці чистого згину на різних етапах завантаження з умови, що вимірювання проводяться з дотриманням $M = \text{const}$ за рекомендаціями Thunel В., Тарнопольського Ю.М., Деловой М.И.

$$E_x = \frac{Fl_p^3}{548I_x(f_c - f_F)}, \quad (16)$$

Проведені нами експериментально-аналітичні дослідження показали, що модуль пружності встановлений такими способами за різних рівнів навантаження згинального елемента не є початковим модулем пружності, а є січним модулем деформацій.

Експериментально встановлено, що лінійна залежність ($E'-\eta$) шляхом екстраполяції дає можливість, за допомогою математичної статистики, встановити значення початкового модуля пружності E_0 (аналітично або графічно). Це значення визначається як граничне значення січного модуля пружно-пластичності E' при $\sigma = 0$ ($\eta=0$).

Діаграми пошарово визначених відносних деформацій в зоні прямого чистого згину балок з цільної та клеєної деревини (рис. 13, рис. 14), які виникали за зростання короткочасного навантаження показані на рисунку 15.

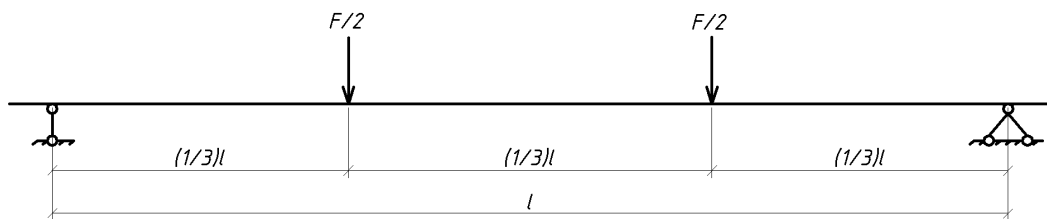


Рис. 13. Розрахункова схема балок з деревини

Відносні деформації деревини в балках вимірювалися в зоні чистого згину на різних відстанях від нейтральної площини за допомогою тензодатчиків з базою 50 мм, які були наклеєні по всьому периметру перерізу з кроком 1,0 см.

Деформування різних шарів стиснутої та розтягнутої зон балки з цільної деревини за косоного згину з кутом підрізу балки в 10° приведено на рис. 16, а, графіки деформування деревини поперечного перерізу балок з в'язями на рис. 16, б. Як видно з рисунку 16, різні шари деревини поперечного перерізу балок за різних умов роботи деформуються по різному.



Рис. 14. Загальний вигляд дослідної установки при випробуванні балки на поперечний згин

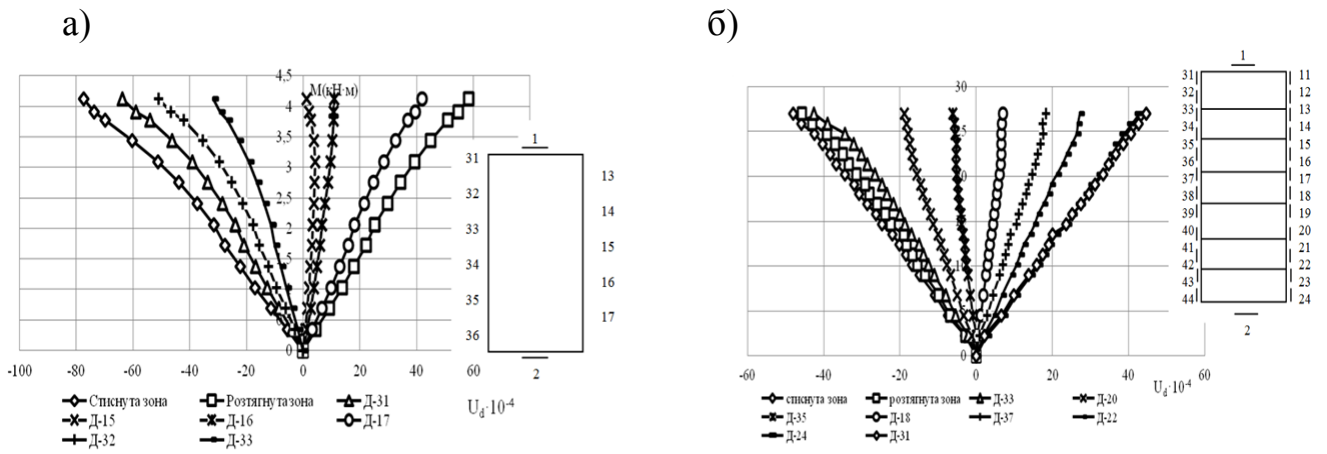


Рис. 15. Діаграма деформування різних шарів балок з цільної – а) та клеєної деревини – б) в зоні чистого згину

На діаграмах відносні деформації стиснутої зони показані зі знаком мінус, розтягнутої зони – зі знаком плюс.

Повторним малоцикловим статичним навантаженням було випробовано 12 балок з клеєної деревини за різних режимів роботи з розрахунковим числом циклів від 50 до 500.

Приріст відносних деформацій деревини в найбільш віддалених шарах стиснутої зони на верхньому рівні завантаження в зоні чистого згину балок за прямого чи косоного згину і режиму повторних навантажень $(0,2-0,4)M_{руйн}$ відбувався до 21 циклу і склав 3,4% (рис. 17). На наступних циклах приріст відносних деформацій деревини затух, а на 30 циклі практично дорівнював нулю. Відносні деформації деревини в найбільш віддалених шарах стиснутої зони на верхньому рівні завантаження в зоні чистого косоного згину балок за прямого чи косоного згину і режиму повторних навантажень $(0,2-0,6)M_{руйн}$ і вище поступово і неупинно зростали. Це приводило до руйнування балок на одному із циклів завантаження.

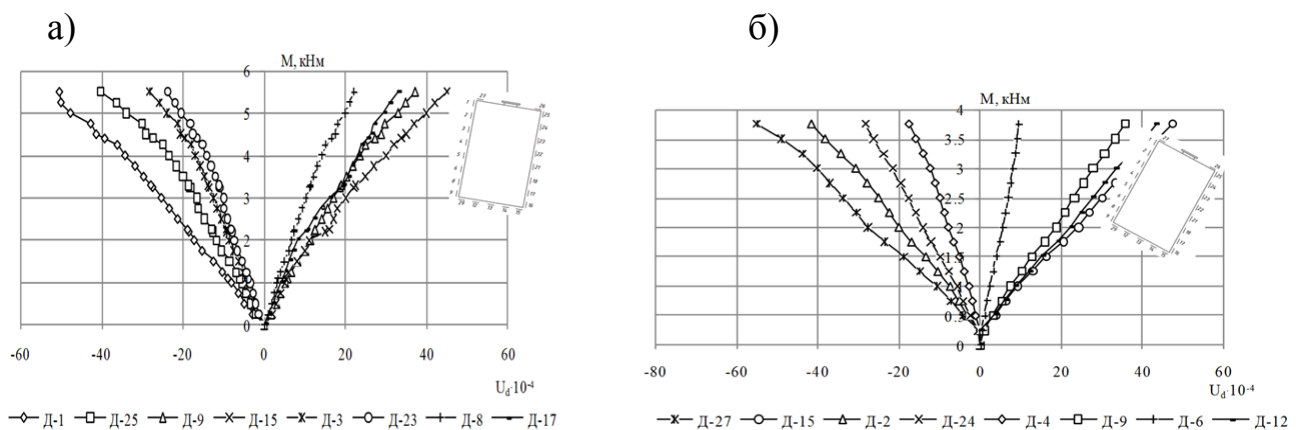


Рис. 16. Діаграми деформування різних шарів деревини в зоні чистого згину балки з деревини за косоного згину з кутом 10° – а) та з кутом 25° , яка закріплена від повороту в'язями – б)

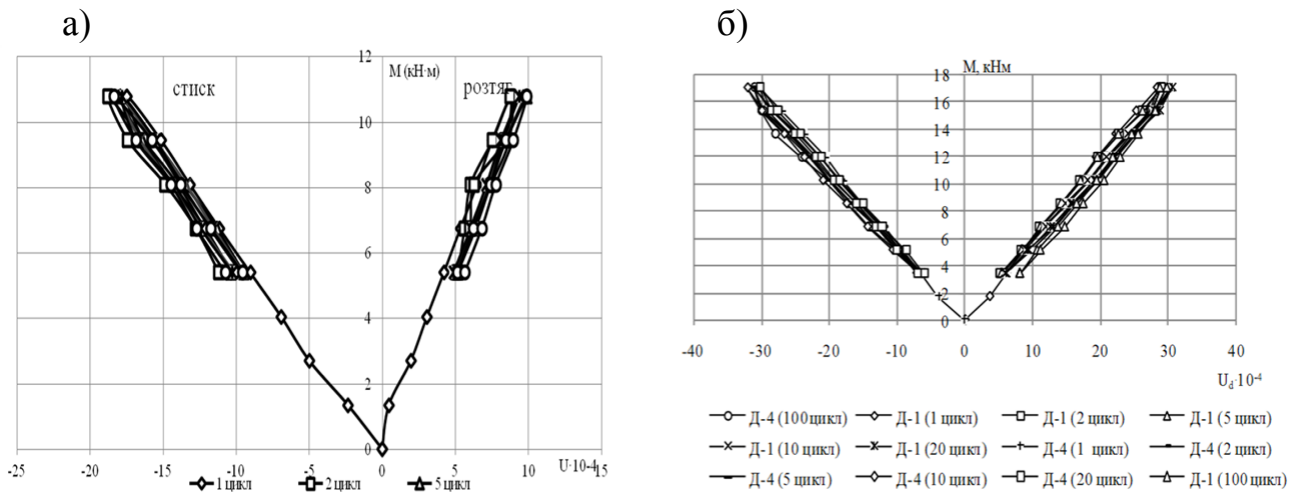


Рис. 17. Діаграми деформування найбільш віддалених шарів деревини в зоні чистого згину балок з клеєної деревини за режиму повторних навантажень $(0,2-0,4)M_{руйн}$ – а) та $(0,2-0,6)M_{руйн}$ – б)

Експериментальні дослідження положення нейтральної лінії в зоні прямого чистого згину показали, що починаючи з початку прикладання одноразового короткочасного статичного навантаження нейтральна площина в балках з цільної та клеєної деревини (рис. 18, а) змінює своє положення в сторону зменшення висоти розтягнутої зони.

За роботи балок в режимі повторних навантажень в елементах усіх марок зменшення площі розтягнутої зони починалося на першому ж циклі навантаження з подальшими змінами на всіх циклах навантаження (рис. 18б).

В п'ятому розділі запропоновані робочі гіпотези та передумови моделювання напружено-деформованого стану нормального перерізу елементів з цільної та клеєної деревини.

В основу розрахункового апарату заклали такі передумови:

а) розрахунковим є переріз нормальний до повздовжньої осі елемента, в якому в стиснутій зоні утворюється складка;

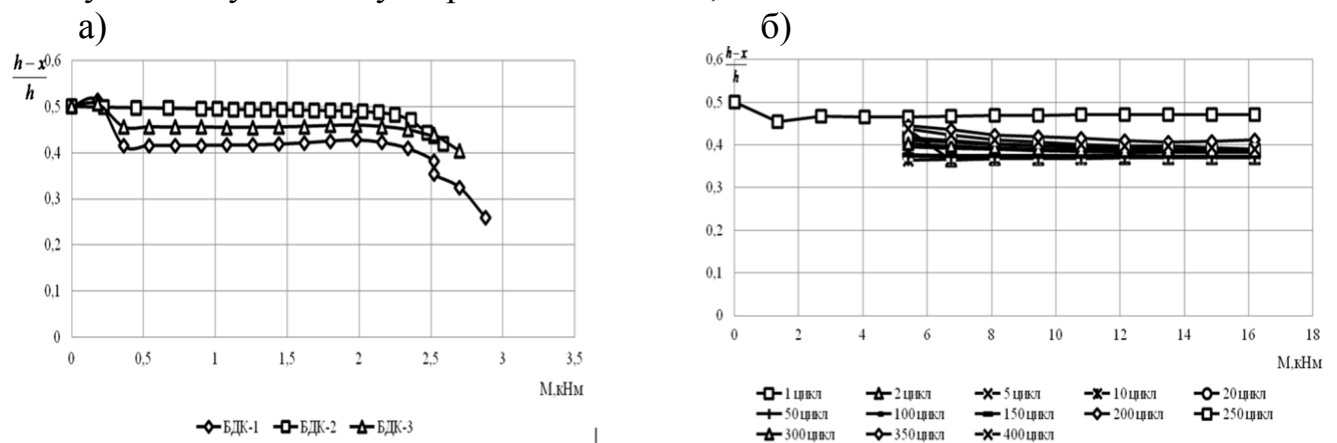


Рис. 18. Графік експериментальних значень зміни нейтральної лінії балки з деревини за роботи на чистий згин за дії повторного навантаження

б) по висоті розрахункового перерізу для малих деформацій справедлива гіпотеза про лінійний розподіл деформацій;

в) зв'язок між напруженнями і деформаціями розтягнутої деревини приймається у вигляді лінійної залежності;

г) зв'язок між напруженнями і деформаціями стиснутої деревини приймається у вигляді трансформованої діаграми, що описується поліномом другого степеня – (2), а за дії малоциклових навантажень – (10);

д) розглядаються елементи з деревини, в яких силові фактори повинні бути прикладені таким чином, щоб не викликати кручення;

ж) як розрахункові приймаються характеристичні значення опору деревини в дерев'яному елементі.

Прийнятий «розрахунковий поперечний переріз» дає можливість зробити припущення щодо форми епюри напружень та її максимальної ординати у прийнятому поперечному перерізі зі складкою в стиснутій зоні елемента з деревини. Але тут слід нагадати, що ми розглядаємо пружно-пластичний матеріал з обмеженою деформативністю.

Отже, для розрахунків за нормальний розрахунковий поперечний переріз необхідно приймати ділянку згинального елемента з деревини, де утворюється складка в стиснутій зоні в стадії роботи перед руйнуванням. Тобто складка, як найслабкіша ділянка, і є тим визначальним критерієм, яким необхідно керуватись з погляду опору матеріалів. Часто в елементі з деревини в перед руйнівному стані переріз зі складкою візуально важко помітити через миттєвість руйнування конструкції.

Для розрахункового поперечного перерізу зі складкою (рис. 19) в стиснутій зоні елемента з деревини можна застосовувати відомі закони розподілення деформацій по висоті, як в стиснутій, так і в розтягнутій зонах, тому що можна використати апарат нескінченно малих величин. Такий апарат можна використовувати за умови нерозривності функції в околиці точки перерізу, яку розглядаємо. Використання апарату умови нерозривності функції в околиці точки в механіці твердого тіла обумовлюється гіпотезою суцільності і однорідності матеріалу. В перерізі зі складкою в стиснутій зоні елемента з деревини всі ці умови практично виконуються. Отже, розрахунковий поперечний переріз являє собою модель, яка відображає закономірності деформування та руйнування елемента з деревини.

У роботі елементів з деревини з використанням повної діаграми фізичного стану матеріалу можна виділити такі характерні стадії напружено-деформованого стану (рис. 19):

- стадія I (рис. 20) – елемент працює без складок в стиснутій зоні в межах пропорційності за напружень $\sigma = E \cdot u$;

- стадія II (рис. 20) – елемент працює без складок в стиснутій зоні за напружень $\sigma = f(u)$, а в розтягнутій зоні - $\sigma = E \cdot u$;

- стадія III (рис. 20) – у деревині стиснутої зони виникають і розвиваються складки, деревина в стиснутій та розтягнутій зонах працює за напружень $\sigma = f(u)$;

- стадія IV (рис. 20) – стадія руйнування елемента з деревини за напружень в розтягнутій зоні $\sigma = f_{t,0,d}$.

а)



б)



Рис. 19. Утворення складок у стиснутій зоні в елементах з клеєної деревини за роботи на прямий – а) та косий згин – б)

Розглядаючи зміну напружено-деформованого стану нормальних перерізів балки з деревини в зоні чистого згину видно, що для кожної з стадій характерні свої ознаки.

Стадія I. Невелике навантаження на елемент викликає в стиснутій та розтягнутій зонах незначні напруження; залежність між напруженнями та деформаціями можна прийняти прямолінійною, деформації в деревині стиснутої та розтягнутої зон можна вважати пружними, епюри напружень мають форму близьку до трикутника.

Стадія II. Подальше збільшення навантаження призводить до розвитку пластичних деформацій у деревині стиснутої зони, епюри напружень у цій зоні викривлюються, а крайові напруження досягають тимчасового опору міцності деревини на стиск. Деформації деревини розтягнутої зони переважно пружні, напруження в деревині зростають, але епюра напружень зберігає форму близьку до трикутної.

Стадія III. За подальшого збільшення навантажень виникає зминання волокон та утворюються складки зминання в деревині стиснутої зони, частина шарів деревини переходять в закритичну зону роботи деревини, проходить перерозподіл напружень по висоті балки, стискаючі зусилля сприймаються

ділянкою деревини під складкою та ділянкою деревини, на якій утворилася складка, проходить різке зростання деформацій стиснутої зони. Напруження в розтягнутій зоні деревини значно збільшуються, розвиваються пластичні деформації, а епюра напружень стає криволінійною. Нейтральна лінія зміщується, збільшуючи стиснуту зону деревини.

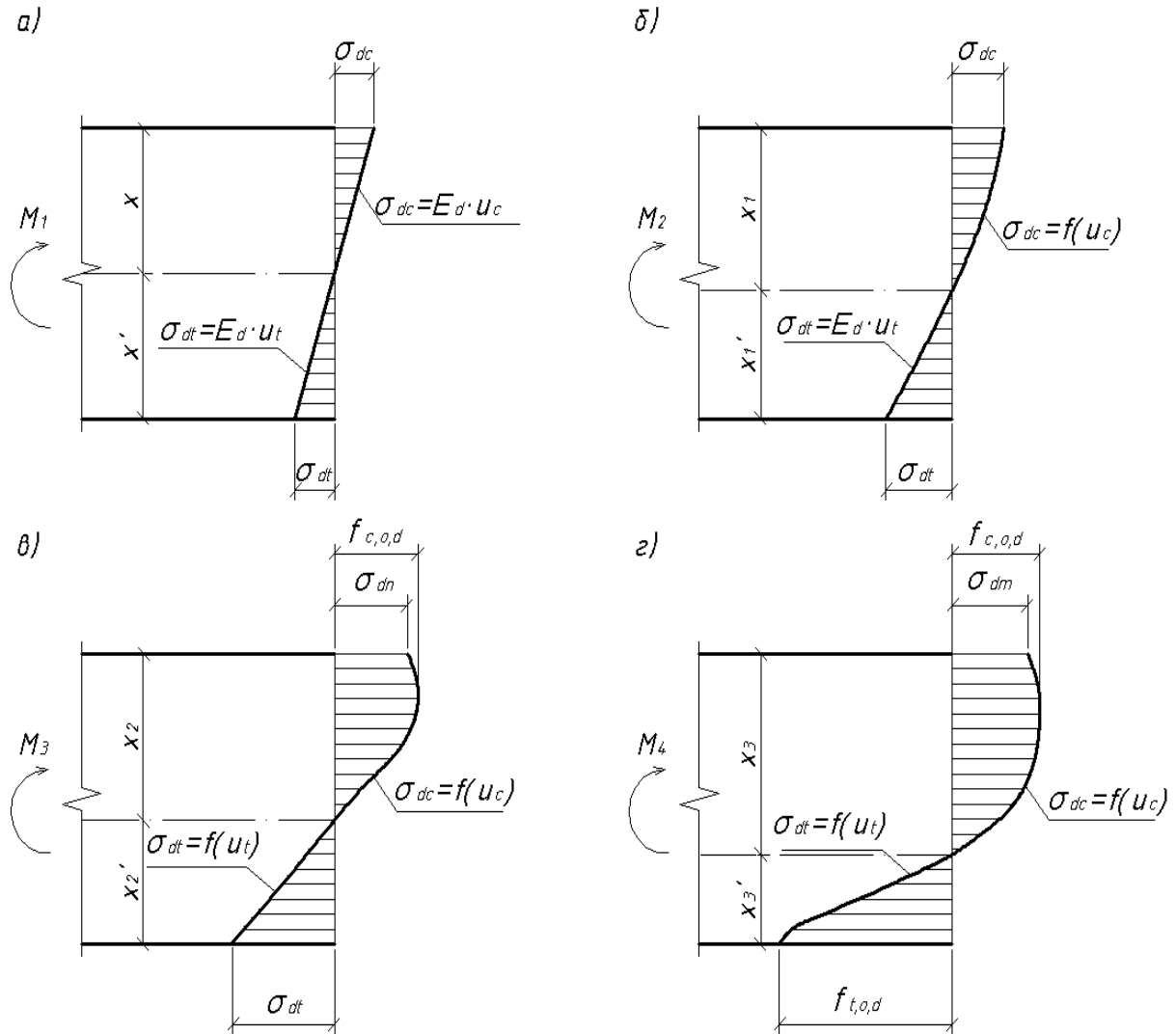


Рис. 20. Стадії напружено-деформованого стану розрахункового нормального перерізу елемента: а) – I стадія; б) – II стадія; в) – III стадія; г) – IV стадія

Стадія IV. Подальше збільшення навантаження приводить до інтенсивного розвитку складки зминання, зростають прогини балки, збільшується висота стиснутої зони та ще більше викривлюється епюра напружень стиснутої зони, внаслідок чого крайові напруження в деревині розтягнутої зони досягають тимчасового опору на розтяг. Руйнування проходить за рахунок розриву найбільш напружених зовнішніх шарів деревини і має крихкий характер.

Так як, розподіл напружень в розтягнутій зоні від початку прикладення навантаження і до перед руйнівного стану має практично лінійну залежність, лише незначна частина діаграми має криволінійний характер за передруйнівних

навантажень, то допустимо залежність між напруженнями і деформаціями приймати (для спрощення розрахунків) - лінійною.

Шостий розділ присвячений встановленню напружено-деформованого стану нормальних перерізів елементів з цільної та клеєної деревини за прямого та косоного згину.

За результатами отриманих експериментальних даних пошарових відносних деформацій по висоті поперечного розрахункового перерізу елемента з цільної та клеєної деревини за прямого поперечного згину, були побудовані епюри напружень шарів деревини стиснутої зони за формулою (2) та розтягнутої зони згинального елемента за формулою (4) за моменту $M = 0,2M_{\max}$, $M = 0,4M_{\max}$, $M = 0,6M_{\max}$ та $M = 0,8M_{\max}$ (див. рис. 21).

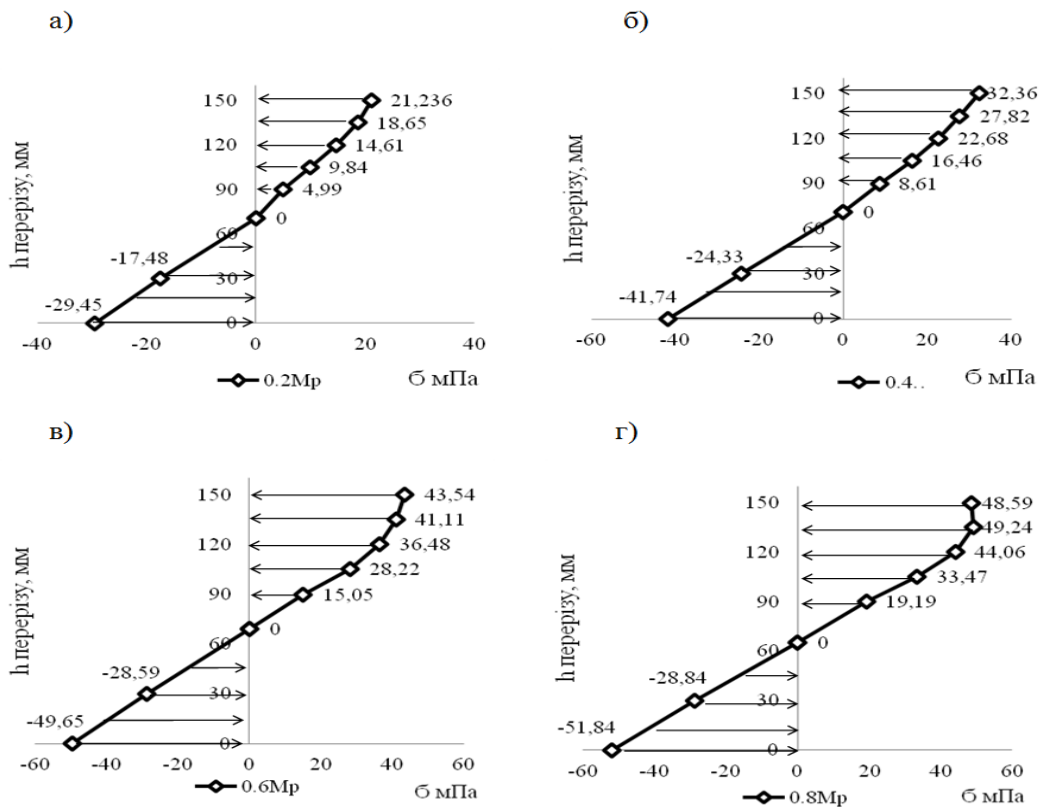


Рис. 21. Напруження стиснутої та розтягнутої деревини за статичного навантаження балки з клеєної деревини в зоні чистого згину за рівня навантажень: а - $M = 0,2M_{\max}$; б - $M = 0,4M_{\max}$; в - $M = 0,6M_{\max}$; г - $M = 0,8M_{\max}$

За навантаження $M = 0,2M_{\max}$ і $M = 0,4M_{\max}$, максимальні значення напружень знаходяться в крайньому шарі стиснутої та розтягнутої зон розрахункового поперечного перерізу згинального елемента за даних рівнів навантаження і при цьому епюра напружень в стиснутій зоні уже має слабовиражений криволінійний характер.

Найбільші напруження стиску та розтягу в розрахунковому поперечному перерізі за рівня навантажень $M = 0,6M_{\max}$ спостерігалися у найбільш віддалених крайніх шарах від нейтральної площини стиснутої та розтягнутої зон елемента.

Максимальні значення напружень знаходяться в крайньому шарі стиснутої зони за даного рівня навантаження, епюра напружень має криволінійний характер, але без ознак наявності складок. Напруження елемента знаходиться в межах II стадії напружено-деформованого стану.

За режиму $M = 0,8M_{\max}$ максимальні напруження стиску деревини спостерігаються не в крайньому волокні стиснутої зони, а дещо нижче в середині епюри стискаючих напружень елемента з деревини, що зазнає згину. В крайніх шарах стиснутої зони напруження стиску є меншими за значеннями, ніж тимчасовий граничний опір деревини стиску.

Робота балки за всіма ознаками відповідає III стадії напружено-деформованого стану – стискаючі напруження сприймаються ділянкою деревини, на якій утворилася складка та ділянкою деревини під складкою. При цьому взаємозв'язок між деформаціями і напруженнями в розтягнутій зоні є лінійним.

Усереднені напруження стиснутої та розтягнутої зони балки з клеєної деревини за кута нахилу 10° в зоні чистого згину за рівнів навантаження $a - M = 0,2M_{\max}$; $b - M = 0,4M_{\max}$. У найбільш віддалених від нейтральної лінії точках поперечного перерізу виникають максимальні значення як стиснутих, так розтягнутих напружень за рівнів навантажень $M = 0,2M_{\max}$, $M = 0,4M_{\max}$.

Зі збільшенням навантаження від $M = 0$ до $M = 0,6M_{\max}$ балки з клеєної деревини, що сприймають косий поперечний згин за кута 10° , проходить постійне збільшення напружень в найбільш віддалених шарах деревини розрахункового перерізу (рис. 22, а, рис. 22, б та рис. 23, а).

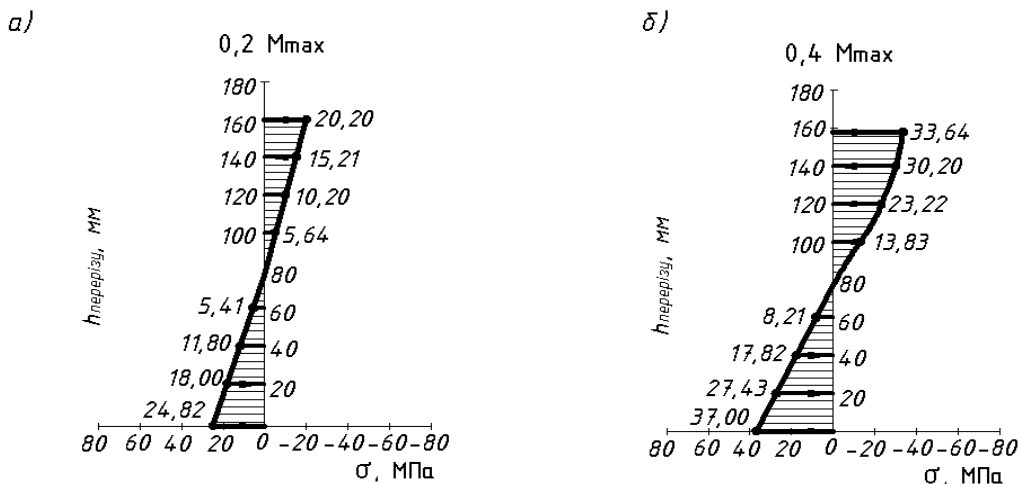


Рис. 22. Усереднені напруження стиснутої та розтягнутої зони балки з клеєної деревини за кута нахилу 10° в зоні чистого згину за рівнів навантаження: а – $M = 0,2M_{\max}$; б – $M = 0,4M_{\max}$

При цьому в розтягнутій зоні розподіл напружень лінійний, а в стиснутій зоні – криволінійний розподіл по висоті цієї зони. Також необхідно відмітити, що чим більші навантаження сприймає елемент, тим більша випуклість кривої епюри напружень в деревині цієї зони. За навантажень рівня $M = 0,8M_p$ проходить різке зростання деформацій стиснутої зони. Максимальні напруження в розрахунковому перерізі стиснутої зони $\sigma_{c,d,max} = 49,32 \text{ МПа}$. спостерігаємо на

висоті дещо нижче найбільш віддаленого стиснутого шару поперечного перерізу (рис. 23, б). В стиснутій зоні в розрахунковому поперечному перерізі балки по висоті є ділянка деревини, на якій утворилася складка, що призводить до зменшення напружень стиску в найбільш віддалених від нейтральної лінії шарах деревини. Але необхідно підкреслити, що волокна складки також чинять опір стиску, але дещо з меншою інтенсивністю.

Аналогічні результати були отримані при дослідженні роботи балок з клеєної деревини за косою згину з кутом нахилу 25° . Було встановлено, що балки за навантажень $M = 0,2M_{\max}$, $M = 0,4M_{\max}$ і $M = 0,6M_{\max}$ працюють на II стадії напружено-деформованого стану.

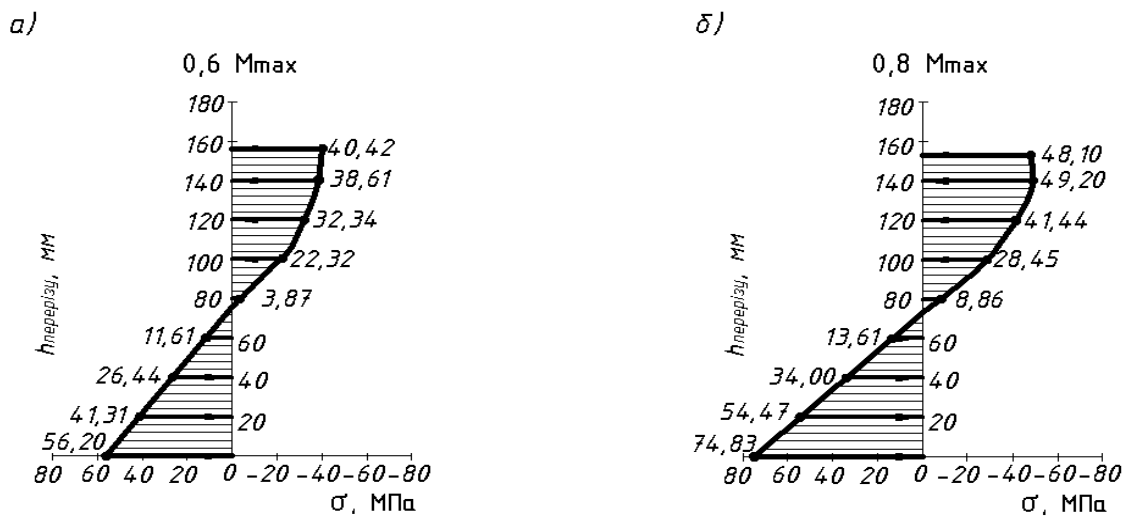


Рис. 23. Розвиток усереднених напружень стиснутої та розтягнутої зони в розрахунковому поперечному перерізі елемента з клеєної деревини з кутом нахилу 10° в зоні чистого згину за рівнів навантаження: а – $M = 0,6M_{\max}$; б – $M = 0,8M_{\max}$

Крім того, вивчався вплив повторних навантажень на напружений стан елементів за роботи на прямий та косий поперечний згин. Дослідження роботи деревини проводилося в режимі за рівнів навантажень $(0,2-0,4)M_{\max}$, $(0,2-0,6)M_{\max}$ (рис. 24), $(0,2-0,8)M_{\max}$ (рис. 25) за прикладення до двісті – п'ятисот циклів повторних навантажень.

За режиму роботи $(0,2-0,4)M_{\max}$, за розрахункових циклів повторних навантажень проходить затухання приросту відносних деформацій деревини в розрахунковому поперечному перерізі, тобто відбувається перерозподіл внутрішніх напружень. В стиснутій зоні затухає приріст деформацій та напружень, а в розтягнутій – вони зменшуються до 5%. Цей факт дає можливість прогнозувати безаварійну роботу елемента з клеєної деревини в такому режимі завантажень до кінця запроектованого терміну експлуатації.

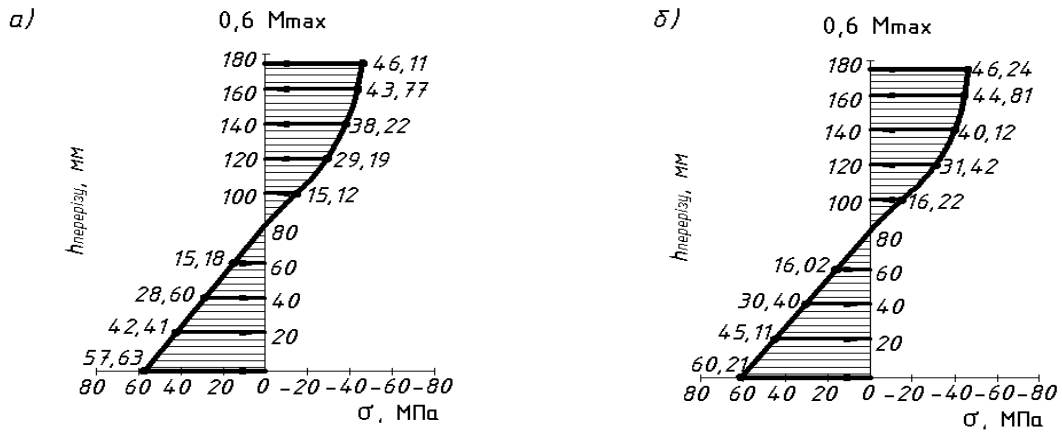


Рис. 24. Трансформація напружень стиснутої та розтягнутої зони дощатоклеєної балки БДК $25^\circ(0,2-0,6)$ за малоциклових навантажень в зоні косого чистого згину на верхньому рівні навантаження $M = 0,6M_{max}$: а – на першому циклі; б – на двохсотому циклі

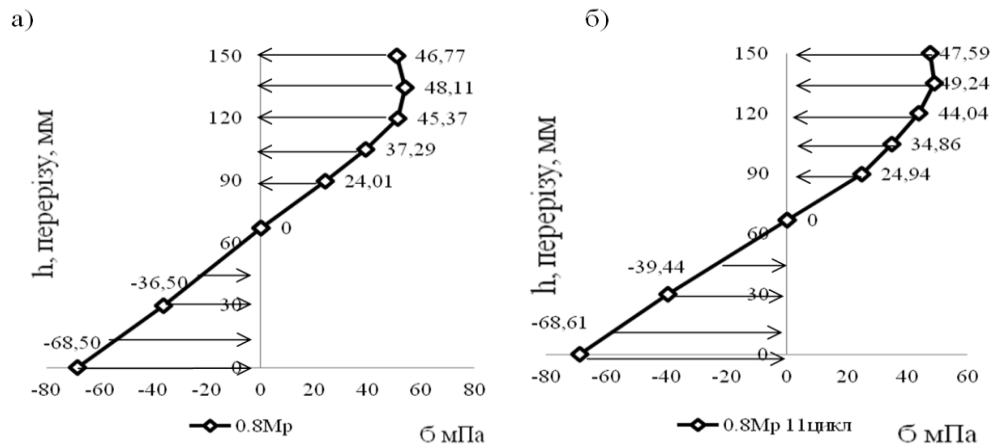


Рис. 25. Трансформація напружень стиснутої та розтягнутої зони дощатоклеєної балки БДК в перерізі чистого згину з режимом роботи $(0,2-0,8)M_{max}$ за рівня навантажень $M = 0,8M_{max}$: а – на першому циклі; б – одинадцятому циклі

За навантажень в верхньому рівні $M = 0,6M_{max}$ максимальні напруження стиску в розрахунковому поперечному перерізі у всіх балках збільшилися за двісті циклів повторних навантажень несуттєво до 3%, і вони знаходилися в найбільш віддалених шарах стиснутої зони. Форма епюри стиснутої зони має криволінійний характер. Максимальні напруження розтягнутої зони в найбільш віддаленому волокні розрахункового поперечного перерізу зросли, за двісті циклів повторних навантажень, не більше як на 4%. Спираючись на те, що за весь період роботи приріст напружень був невеликим, то можна констатувати, що дощатоклеєні балки за прямого чи косого згину на верхньому рівні завантаження $M = 0,6M_{max}$ від першого до двохсотого циклу роботи знаходилися в II стадії напружено-деформованого стану.

За режиму роботи $M = 0,8M_{max}$ балки з деревини уже на першому циклі завантаження на верхньому рівні працює у режимі III стадії напружено-

деформованого стану. Починають змінатися найбільш віддаленні волокна та утворюються складки зминання в деревині стиснутої зони в розрахунковому поперечному перерізі, частина шарів деревини втрачає початкову щільність та переходить в закритичну зону роботи деревини. Проходить перерозподіл напружень по висоті балки, стискаючи зусилля сприймаються ділянкою деревини під складкою та ділянкою деревини, на якій утворилася складка, проходить поступове значне зростання деформацій стиснутої зони. На всіх подальших циклах завантаження-розвантаження проходить подальший перерозподіл напружень по висоті стиснутої зони елементів з клеєної деревини, іде зростання відносних деформацій, як в стиснутій, так і в розтягнутій зонах, з поцикловим розвитком глибини складки. Такий режим роботи елемента з клеєної деревини призводить до руйнування на одному з циклів прикладання зовнішнього навантаження крайніх волокон деревини розтягнутої зони в розрахунковому поперечному перерізі.

В сьомому розділі викладено основні положення методики розрахунку. Основи методики розрахунку базуються на передумовах, що вказані в п'ятому розділі.

Як для прямого згину за повторних навантажень, так і для косоного згину, розрахункову діаграму фізичного стану деревини для стиснутої зони в розрахунковому поперечному розрахунковому поперечному перерізі елемента з суцільної та клеєної деревини приймаємо криволінійну, а в розтягнутій зоні – прямолінійну (рис. 26, рис. 27).

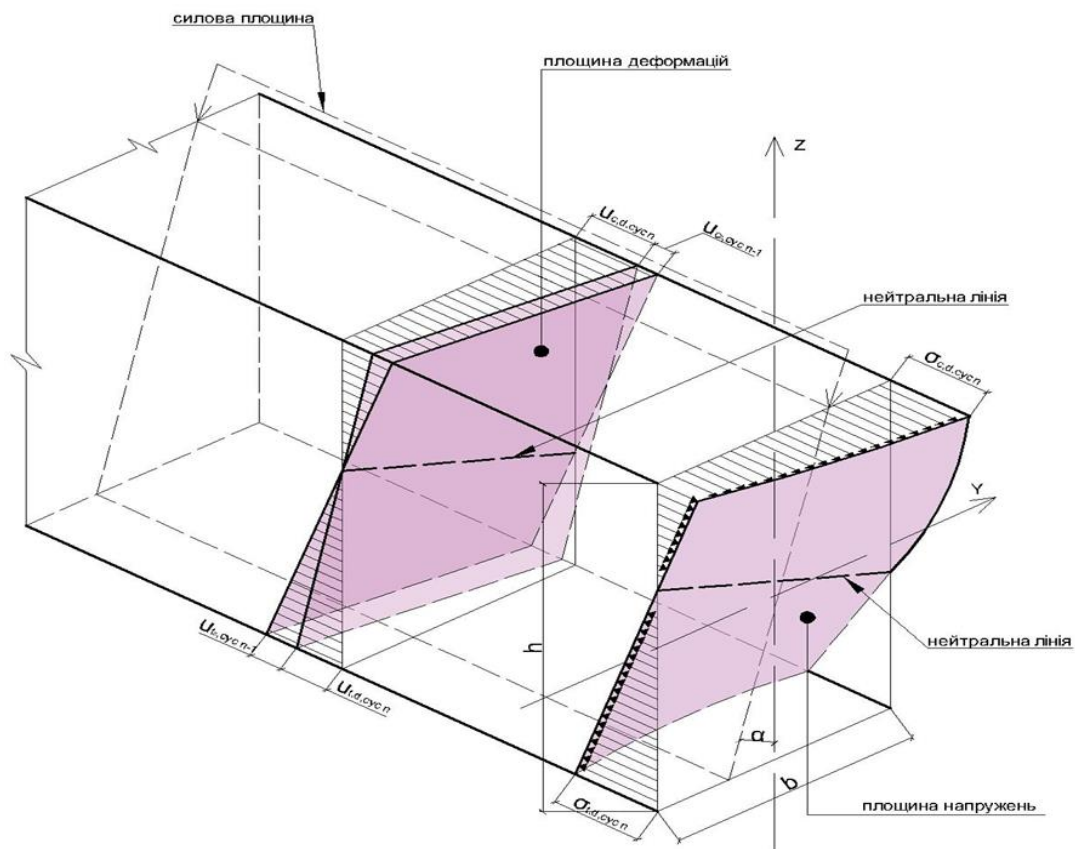


Рис. 26. Розподіл деформацій і напружень в розрахунковому поперечному перерізі елемента з деревини за косоного поперечного згину на n -му циклі прикладання малоциклового навантаження

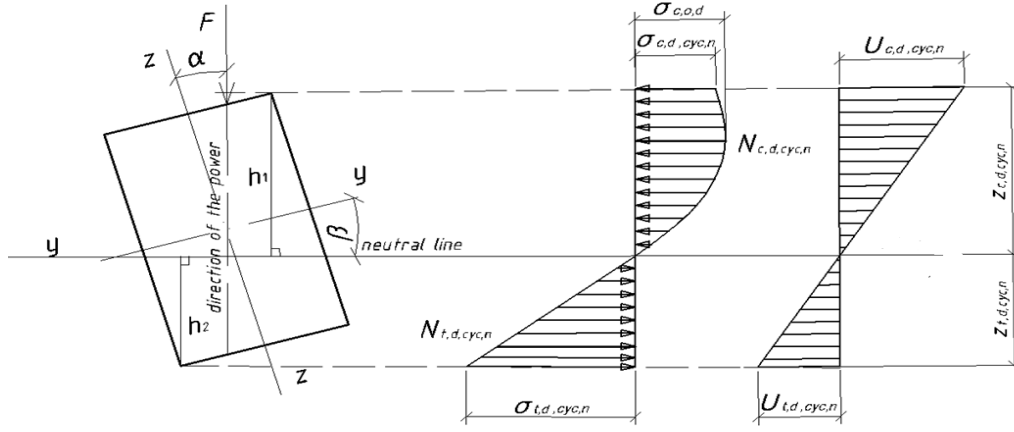


Рис. 27. Розподіл найбільших напружень та деформацій в нормальному перерізі балки за роботи на чистий косий згин

В розрахунковому поперечному перерізі деформації визначаємо через кривину в будь-якій точці перерізу з врахуванням малості їх значень, тому на n -му циклі прикладення навантаження

$$u_{c,d,cyc,n} = z_c \frac{1}{\rho_{cyc}}; \quad u_{t,d,cyc,n} = z_t \frac{1}{\rho_{cyc}}. \quad (17)$$

Рівняння рівноваги для перерізу, наведеного на рис. 25, мають вигляд

$$\sum M_{n,l,cyc,n} = 0; \quad M_{cyc,n} = M_{c,d,cyc,n} + M_{t,d,cyc,n}. \quad (18)$$

$$\sum N_{cyc,n} = 0; \quad N_{c,d,cyc,n} = N_{t,d,cyc,n}. \quad (19)$$

Зусилля стиску в нормальному розрахунковому поперечному перерізі згинального елемента визначаємо як суму зусиль, що виникають в стиснутій зоні поперечного перерізу, яка складається з двох ділянок: перша у вигляді паралелограма; друга у вигляді трикутника.

Зусилля стиску яке сприйме стиснута зона визначиться

$$\begin{aligned} N_{c,d,cyc,n} = & b \left(k_1 \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) \frac{z_{1c,cyc,n}^2}{2} + k_c \left(\frac{1}{\rho} \right)^2 \frac{z_{1c,cyc,n}^3}{3} \right) + k_1 \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) a_1 \frac{z_{2c,cyc,n}^3}{3} + \\ & + k_1 \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) a_2 \frac{z_{2c,cyc,n}^2}{2} + k_c \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right)^2 a_1 \frac{z_{2c,cyc,n}^4}{4} + k_c \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right)^2 a_2 \frac{z_{2c,cyc,n}^3}{3} - \\ & - k_1 \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) a_1 \frac{z_{1c,cyc,n}^3}{3} - k_1 \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) a_2 \frac{z_{1c,cyc,n}^2}{2} - k_c \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right)^2 a_1 \frac{z_{1c,cyc,n}^4}{4} - \\ & - k_c \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right)^2 a_2 \frac{z_{1c,cyc,n}^3}{3}. \end{aligned} \quad (20)$$

Зусилля розтягу в нормальному розрахунковому поперечному перерізі згинального елемента визначаємо як суму зусиль, що виникають в розтягнутій зоні поперечного перерізу, яка складається з двох ділянок: перша у вигляді паралелограма; друга у вигляді трикутника і воно визначиться

$$\begin{aligned}
N_{t,d,cyc,n} = & E_t \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) b \frac{z_{1t,cyc,n}^2}{2} + E_t \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) a_1 \frac{z_{2t,cyc,n}^3}{3} + E_t \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) a_2 \frac{z_{2t,cyc,n}^2}{2} - \\
& - E_t \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) a_1 \frac{z_{1t,cyc,n}^3}{3} - E_t \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) a_2 \frac{z_{1t,cyc,n}^2}{2}.
\end{aligned} \tag{21}$$

Момент, що сприйме стиснута зона розрахункового поперечного перерізу елемента з деревини за косою згину визначається

$$\begin{aligned}
M_{c,d,cyc,n} = & b \left(k_1 \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) \frac{z_{1c,cyc,n}^3}{3} + k_c \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right)^2 \frac{z_{1c,cyc,n}^4}{4} \right) + k_1 \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) a_1 \frac{z_{2c,cyc,n}^4}{4} + \\
& + k_1 \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) a_2 \frac{z_{2c,cyc,n}^3}{3} + k_c \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right)^2 a_1 \frac{z_{2c,cyc,n}^5}{5} + k_c \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right)^2 a_2 \frac{z_{2c,cyc,n}^4}{4} - \\
& - k_1 \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) a_1 \frac{z_{1c,cyc,n}^4}{4} - k_1 \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) a_2 \frac{z_{1c,cyc,n}^3}{3} - k_c \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right)^2 a_1 \frac{z_{1c,cyc,n}^5}{5} - \\
& - k_c \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right)^2 a_2 \frac{z_{1c,cyc,n}^4}{4}.
\end{aligned} \tag{22}$$

Момент, що сприйме розтягнута зона розрахункового поперечного перерізу елемента з деревини за косою згину

$$\begin{aligned}
M_{t,d,cyc,n} = & E_t \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) b \frac{z_{1t,cyc,n}^3}{3} + E_t \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) a_1 \frac{z_{2t,cyc,n}^4}{4} + \\
& + E_t \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) a_2 \frac{z_{2t,cyc,n}^3}{3} - E_t \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) a_1 \frac{z_{1t,cyc,n}^4}{4} - E_t \left(\frac{1}{\rho_{cyc}} \right) a_2 \frac{z_{1t,cyc,n}^3}{3}.
\end{aligned} \tag{23}$$

Для визначення згинаючого моменту за формулою (19), який може сприйняти балка, необхідно значення відносних деформацій, за яких виконується умова рівноваги зусиль $N_{c,d,cyc,n} = N_{t,d,cyc,n}$, підставити у формули (22), (23).

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

На даний час в теорії розрахунку конструкцій з деревини назріла задача впровадження в норми проектування нових методів їх розрахунку, котрі б ґрунтувалися на деформаційній розрахунковій моделі. Виконана програма експериментально-теоретичних досліджень науково-технічної проблеми дала можливість розробити основи деформаційної теорії розрахунку конструкцій з деревини, яка базується на дійсних діаграмах повздовжнього деформування деревини за різного напружено-деформованого стану. На базі виконання комплексу експериментально-теоретичних досліджень отримані такі результати:

1. Удосконалена методика та устаткування виконання експериментальних досліджень дозволила отримати достатньо достовірні дані про параметри нелінійності повних діаграм повздовжнього деформування цільної та клеєної деревини, стиску деревини в отворах нагельних з'єднань, волокон деревини поряд шва повздовжнього сколювання та за роботи волокон поряд площини клейових швів за дії одноразових короткочасних навантажень.

2. Встановлена подібність кривих деформування цільної та клеєної деревини за повздовжнього стиску, в отворах нагельних з'єднань, волокон деревини поряд

шва повздожнього сколювання та за роботи волокон поряд площини клейових швів за дії одноразових короткочасних навантажень дозволяє використовувати залежність, як апроксимуючу, у вигляді поліному другого степеня (2.4). Статистичний аналіз результатів порівняння відхилень теоретичних напружень від експериментальних на діаграмі деформування деревини зі спадною (низхідною) віткою, обчислених за формулою (2.4) засвідчив задовільну збіжність між цими величинами.

3. Запропонована методика визначення коефіцієнтів полінома другого степеня для апроксимації повної діаграми повздожнього стиску цільної та клеєної деревини за однократного центрального деформування. Залежності для практичного застосування, за допомогою яких з достатньою точністю визначаються всі параметри діаграми встановлюються на основі призмової міцності цільної та клеєної деревини на зразках конструкційних розмірів.

4. На протязі багатьох років вперше проведено об'ємні експериментальні дослідження та отримані нові результати роботи деревини та з'єднань елементів дерев'яних конструкцій за дії короткочасних малоциклових навантажень.

5. На основі статистичного порівняння отриманих експериментальних даних встановлена закономірність малоциклової витривалості деревини (сосни) повторним стискаючим навантаженням вздовж та поперек волокон в залежності від верхнього рівня повторних навантажень, довговічність клейових і нагельних з'єднань. Встановлено межу малоциклового пристосування деревини та дерев'яних з'єднань повторним навантаженням, якою можна вважати рівень навантаження $\eta_{\text{сус}} = 0,4\Delta_u$ за вологості деревини $W=12\%$ та рівень $\eta_{\text{сус}} = 0,3\Delta_u$ – для нагельних з'єднань з вологістю деревини $W=30\%$.

6. На основі виконаних експериментально-статистичних досліджень встановлено, що січний модуль деформацій $E'_{c,d}$ зі зростанням навантажень зменшується внаслідок зростання еластичних та пластичних деформацій деревини, а функція «січний модуль деформацій – рівень навантаження» ($E'_{c,d} - \eta_{c,d}$) є лінійно змінною. За будь-якими двома експериментальними точками можна достовірно побудувати графік залежності $E'_{c,d} - \eta_{c,d}$ та встановити початковий модуль пружності деревини $E_{0,c,d}$.

7. В результаті проведення експериментальних досліджень встановлено, що деформативність балок з клеєної деревини, отримана після завершення заданої програми повторних навантажень з довантаженням до руйнування (за умови, що зразок не зруйнувався від малоциклової втоми) залежить від верхнього рівня навантажень та кількості циклів. В експериментальних дослідженнях встановлено три характерні випадки:

а) за режиму роботи $\eta=(0,2-0,4)M_{\text{max}}$ за прямого згину та косоного згину за кутів нахилу 10° та 25° стабілізація приростів відносних деформацій в стиснутій та розтягнутій зонах проходила до 5 циклу, що говорить про пристосування деревини балок до даного режиму роботи.

б) за режиму роботи $\eta=(0,2-0,6)M_{\text{max}}$ за прямого поперечного згину проходив невеликий приріст відносних деформацій на протязі всього випробування, за

косоного згину з кутом нахилу 10° стабілізація приростів відносних деформацій стиснутої та розтягнутої зони і, відповідно, пристосування до даного режиму роботи проходило до 12 циклу, а за кута нахилу 25° – до 20 циклу.

в) за режиму роботи вище $\eta = (0,2 - 0,6)M_{max}$ за прямого та косоного згину проходило поступове збільшення відносних деформацій з наступним руйнуванням балки на 10-103 циклі випробувань.

8. Встановлено, що розрахунковим поперечним перерізом елемента з деревини є переріз зі складкою в стиснутій зоні. Складка, як найслабкіша ділянка, і є тим визначальним критерієм, яким необхідно користуватись при оцінці опору матеріалів. Для перерізу зі складкою можна застосовувати відомі закони розподілення деформацій по висоті, як в стиснутій, так і в розтягнутій зонах, тому що можна використовувати апарат нескінченно малих величин за умови нерозривності функції в околиці точки перерізу, яка обумовлюється гіпотезою суцільності і однорідності матеріалу.

9. Обґрунтовано та сформульовано головні передумови та допущення та запропоновано залежності для оцінки напружено-деформованого стану розрахункового перерізу конструкцій з цільної та клеєної деревини на довільній стадії завантаження та перед руйнуванням за дії короткочасного та малоциклового навантаження.

10. Вперше науково обґрунтовано та виділено чотири характерні стадії роботи напружено-деформованого стану нормального розрахункового поперечного перерізу деревини під навантаженням.

11. Запропонована удосконалена методика визначення напружено-деформованого стану поперечних перерізів з використанням повних діаграм деформування деревини за стиску дозволила розв'язувати задачі з розрахунку елементів з деревини за будь-якого стиску чи згину не тільки в граничних, але й на проміжних стадіях в режимі роботи за одноразових статичних та малоциклових змінних навантажень. Встановлено величини напружень та форми епюри напружень в поперечному перерізі балок з цільної та клеєної деревини, які знаходяться в умовах прямого та косоного поперечного згину на різних рівнях завантаження.

12. Проведений аналіз трансформації напружень в стиснутій та розтягнутих зонах поперечного перерізу балки в умовах поперечного згину за дії одноразових та повторних малоциклових навантажень засвідчив, що руйнування балок з цільної та клеєної деревини розпочинається з утворення складки в стиснутій частині розрахункового поперечного перерізу зони чистого згину, після чого відбувається руйнування крайніх волокон деревини в розтягнутій частині цього перерізу. Тріщина з крайніх волокон (дошки) поширюється на верхні шари балки з деревини, що призводить до руйнування зразка в цілому. Утворення складки в стиснутій зоні балки на епюрах напружень підтверджується деяким зменшенням величин напружень в найбільш віддалених від нейтральної лінії волокнах деревини.

13. Аналіз характеру роботи елементів за дії малоциклових навантажень, форми епюр напружень та їх величини показують, що за рівнів навантажень

$0,2M_{max}$, $0,4M_{max}$ та $0,6M_{max}$ балки з цільної та клеєної деревини за прямого та косоного поперечного згину працюють в другій стадії напружено-деформованого стану. За рівня навантаження вище $0,6M_{max}$ балки з деревини працюють в третій стадії, яка характеризується утворенням складки в стиснутій зоні.

14. Сформульовані основні передумови та допущення, на базі яких розроблено методику оцінки напружено-деформованого стану розрахункового поперечного перерізу з цільної чи клеєної деревини за дії короткочасного чи малоциклового навантаження. Розроблено пропозиції щодо визначення несучої здатності елементів з цільної та клеєної деревини прямокутного поперечного перерізу, які працюють за прямого чи косоного поперечного згину при дії одноразових чи малоциклових навантажень.

15. Розроблено методику прогнозування часу працездатності конструкцій за дії повторних навантажень, що працюють на прямий чи косий поперечний згин.

16. На основі нових результатів експериментально-теоретичних досліджень опору деревини силовим факторам розвинуто представлення про напружено-деформований стан елементів, вперше виявлені характерні стадії роботи елементів за різних деформацій, встановлені ознаки виникнення позаграничних станів, що дає можливість розробити деформаційну методику розрахунку елементів з цільної та клеєної деревини, яка гармонізована з європейськими стандартами.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографії:

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

2. Гомон С. С., Алексієвець В. І. Робота та розрахунок сталевих нагельних з'єднань дерев'яних конструкцій за повторних навантажень : монографія. Рівне : НУВГП, 2013. 111с.

Статті у наукових періодичних виданнях іноземних держав та у наукових виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз

3. Gomon S., Karavan V., Gomon P., Podhorecki A. Calculated cross-sectional model and stages of the stress-strain state of the wood element for transverse bending. AIP Conference Proceedings 2077, 020019 (2019). P. 1–6. URL: <https://doi.org/10.1063/1.5091880>. (Автору належить загальна методологія та методика розрахунку). (SCOPUS).

4. Gomon S., Gomon S., Pavluk A., Gomon P., Sobczak-Piastka J. Complete deflections of glued beams in the conditions of oblique bend for the effects of low cycle loads. AIP Conference Proceedings 2077, 020021 (2019). P. 1–6. URL: <https://doi.org/10.1063/1.5091882>. (Автору належить постановка задачі та методика досліджень). (SCOPUS).

5. Gomon S., Gomon S., Karavan V., Gomon P., Sobczak-Piastka J. Investigation of solid and glued wood on the effect of variables of low-cycle repeated loads. AIP Conference Proceedings 2077, 020020 (2019). P. 1–6. URL: <https://doi.org/10.1063/1.5091881>. (Автору належить постановка задачі та

методика випробувань). (SCOPUS).

6. Gomon S., Pavluk A. Study on working peculiarities of glue laminated beams under conditions of slanting bending. *Підводні технології*. Київ : КНУБА, 2017. № 07. С. 42–48. (Автору належить методика досліджень). (Index Copernicus).

7. Гомон С. С., Полищук Н. В. Способ определения упруго-пластических характеристик цельной и клееной древесины на образцах конструкционных размеров при сжатии. *Natural and Technical Sciences*. Budapest, 2018. VI(21) ISSUE 179. P. 17–20. (Автору належить загальна методологія та методика розрахунку). (Index Copernicus).

8. Гомон С. С., Сасовский Т. А. Работа изгибаемых элементов из клееной древесины при малоцикловых нагрузках. *Вестник Белорусско-Российского университета*. Могилев, 2016. № 1 (50). С. 130–139. (Автору належить постановка задачі та методика досліджень).

9. Гомон С. С., Павлюк А. П. Работа балок из цельной и клееной древесины при косом изгибе. *Вестник Белорусско-Российского университета*. Могилев, 2017. Вып. 3(56). С. 111–121. (Автору належить методика досліджень).

10. Gomon S., Gomon S., Gomon P., Shkirenko S. The Basis of the Deformation Method for Calculating of Elements from Wood under Cross-Section Bending. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. Vol. 7 (4.8). P. 109–114. DOI: 10.14419/ijet.v7i4.8.27223 (Автору належить наукове обґрунтування та методика розрахунку).

Статті у наукових фахових виданнях України

11. Babich E. M., Gomon S. S. Calculation of bending elements of wood after the action of low-cycle repeated loads on the criterion of deformation destruction. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2019. Вип. 37. С. 106–117. (Автору належить методика розрахунку).

12. Гомон С. С., Глагов'як В. Ц., Мацьоха Л. Є., Стасюк І. О. Процес деформування нагельного з'єднання з деталей сухої та вологої деревини. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2000. Вип. 5. С. 152–157. (Автору належить методика досліджень).

13. Гомон С. С., Алексієвець В. І. Несуча здатність нагельних з'єднань дерев'яних конструкцій за дії одноразових навантажень. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2009. Вип. 18. С. 163–168. (Автору належить методика розрахунку).

14. Гомон С. С., Алексієвець В. І. Несуча здатність нагельних з'єднань дерев'яних конструкцій. *Галузеве машинобудування, будівництво* : зб. наук. праць. Полтава : ПолтНТУ ім. Юрія Кондратюка. 2009. Вип. 3 (25). Том 3. С. 54–58. (Автору належить методика розрахунку).

15. Гомон С. С., Сасовський Т. А. Работа модифікованої силором деревини поперек волокон за дії малоциклових навантажень. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2010. Вип. 20. С. 170–174. (Автору належить методика досліджень).

16. Гомон С. С. Стадії напружено-деформованого стану нормальних перерізів роботи деревини на згин. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2011. Вип. 21. С. 176–180.

17. Гомон С. С., Алексієвець В. І. Особливості роботи болтових з'єднань за одноразових статичних навантажень. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2011. Вип. 22. С. 260–265. (Автору належить загальна методологія та методика розрахунку).

18. Гомон С. С., Сасовський Т. А., Яцук В. О. Визначення напружено-деформованого стану нормального перерізу за роботи деревини на поперечний згин з урахуванням повної діаграми деформування матеріалу. *Проблеми розвитку міського середовища* : науково-технічний збірник. НАУ. Київ, 2012. Вип. 8. С. 56–62. (Автору належить наукове обґрунтування, методологія та методика розрахунку).

19. Гомон С. С., Сасовський Т. А., Гомон С. С. Діаграма механічного стану деревини сосни за одноразового короткочасного деформування до повної втрати міцності матеріалу. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2012. Вип. 23. С. 166–170. (Автору належить загальна методологія та методика досліджень).

20. Гомон С. С. Расчет элементов конструкций из древесины при работе на кривой изгиб с использованием полной диаграммы деформирования материала. *Современные строительные конструкции из металла и древесины* : сб. науч. трудов. Одесса : ОГАСА, 2012. № 16. Часть 1. С. 64–70.

21. Гомон С. С., Гомон С. С., Сасовський Т. А. Діаграми механічного стану деревини сосни за повторного деформування до повної втрати міцності матеріалу. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2012. Вип. 24. С. 106–112. (Автору належить загальна методологія та методика досліджень).

22. Гомон С. С. Критерій руйнування позacentрово стиснутих та згинальних елементів з деревини з урахуванням пружно пластичної роботи матеріалу з обмеженою деформативністю. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2013. Вип. 25. С. 248–253.

23. Гомон С. С., Сасовський Т. А. Дослідження напруженого стану згинальних елементів із деревини з використанням повної діаграми деформування матеріалу. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2013. Вип. 27. С. 62–67. (Автору належить загальна методика досліджень).

24. Гомон С. С., Сасовський Т. А. Дослідження роботи згинальних елементів із клеєної деревини за дії повторних навантажень. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2014. Вип. 28. С. 163–167. (Автору належить загальна методика досліджень).

25. Гомон С. С. Передумови до запобігання прогресуючому руйнуванню конструкцій з деревини при дії різних видів навантажень. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2014. Вип. 29. С. 108–116.

26. Гомон С. С., Павлюк А. П., Ющук О. В. Дослідження роботи деревини на сколювання вздовж волокон за дії повторних навантажень. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2015. Вип. 30. С. 116–121. (Автору належить загальна методика досліджень).

27. Гомон С. С., Павлюк А. П. Робота дерев'яних балок в умовах косоного згину. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2015. Вип. 31. С. 422–428. (Автору належить загальна методологія та методика розрахунку).

28. Гомон С. С., Павлюк А. П. Жорсткість балок з цільної деревини за косоного згину залежно від характеру обпирання і прикладання навантаження. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2016. Вип. 32. С. 143–149. (Автору належить наукове обґрунтування, методологія та методика розрахунку).

29. Гомон С. С., Павлюк А. П. Деформативність балок з цільної деревини в умовах косоного згину. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2016. Вип. 33. С. 137–142. (Автору належить загальна методика досліджень).

30. Гомон С. С., Поліщук М. В. Експериментально-статистичні дослідження залежностей «січний модуль-рівень напружень» для цільної та клеєної деревини. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2018. Вип. 35. С. 60–67. (Автору належить загальна методологія та методика розрахунку).

31. Гомон С. С., Поліщук М. В. Експериментально-статистичні дослідження січного модуля пружності деревини залежно від тривалості її насичення водою. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2018. Вип. 36. С. 96–101. (Автору належить загальна методологія та методика розрахунку).

32. Гомон С. С., Павлюк А. П. Робота балок з клеєної деревини в умовах косоного згину. *Вісник Львівського національного аграрного університету. Архітектура і сільськогосподарське будівництво*. Львів, 2018. № 19. С. 84–89. (Автору належить загальна методика досліджень).

33. Гомон С. С., Алексієвець В. І. Малоциклове пристосування з'єднань дерев'яних елементів на цвяхах. *Современные строительные конструкции из металла и древесины* : сб. науч. трудов. Одесса : ОГАСА, 2010. № 14, Часть 1. С. 74–79. (Автору належить наукове обґрунтування, методологія та методика розрахунку).

34. Гомон С.С., Сасовський Т.А. Малоциклова витривалість деревини повторним навантаженням. *Современные строительные конструкции из металла и древесины*. Сборник научных трудов. №15, Часть 3. ОГАСА. Одесса, 2011. С. 18-22. (Автору належить наукове обґрунтування, методологія та методика розрахунку).

35. Гомон С. С., Павлюк А. П., Поліщук М. В. Зміна положення нейтральної лінії балок з цільної деревини за косоного згину в залежності від характеру обпирання і прикладення навантаження. *Містобудування та територіальне планування* : науково-технічний збірник. К. : КНУБА, 2016. Вип. 61. С. 120–127. (Автору належить постановка задачі та методика досліджень).

36. Гомон С. С., Алексієвець В. І. Дослідження роботи з'єднань дерев'яних елементів на цвяхах за дії малоциклових навантажень. *Вісник НУВГП* : зб. наук.

праць. Рівне, 2007. Вип. 4(40). С. 239–244. (*Автору належить постановка задачі, методологія та методика досліджень*).

37. Бабич Є. М., Гомон С. С. Особливості розрахунку елементів з деревини при прямому поперечному згині за деформаційною методикою. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві* : зб. наук. праць. Луцьк, 2019. Вип. 12. С. 21–30. (*Автору належить методологія та методика досліджень*).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

38. Гомон С. С., Алексієвць В. І. Робота з'єднань дерев'яних елементів на цвяхах за дії малоциклових навантажень. *Современные строительные конструкции из металла и древесины* : сб. науч. трудов Международного симпозиума. Одеса : ОГАСА, 2008. Часть 1. С. 26–31. (*Автору належить загальна методика досліджень*).

39. Гомон С. С., Алексеев В. И. Определение малоциклового выносливости соединений древесины на гвоздях. *Современные металлические и деревянные конструкции* : сб. науч. трудов Международного симпозиума. Брест, 2009. С. 50–54. (*Автору належить загальна методологія та методика розрахунку*).

40. Гомон С. С., Алексієвць В. І. Несуча здатність вологих з'єднань на цвяхах при малоциклових навантаженнях. *Розвиток житлово-комунального комплексу міст* : зб. тез доповідей науково-практичної конференції. Одеса : ОДАБА, 2010. С. 131–133. (*Автору належить загальна методика досліджень*).

41. Гомон С. С., Алексеев В. И., Шекиризянов В. Д. Работа болтовых соединений деревянных конструкций при действии статических и малоцикловых нагрузок. *Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии* : материалы Международной научно-технической конференции. Могилев : ГУ ВПО Белорусско-Российский университет. 2012. Часть 2. С. 79–80. (*Автору належить загальна методика досліджень*).

42. Гомон С. С., Сасовський Т. А. Методика дослідження роботи дощатоклеєних балок за дії повторних навантажень. *Перспективи розвитку будівельної галузі* : матеріали Всеукраїнської конференції молодих учених і студентів. Полтава : ПолтНТУ, 2013. С. 145–148.

43. Гомон С. С., Сасовський Т. А. Дослідження міцності та деформативності деревини сосни за повторного деформування до досягнення повної втрати міцності матеріалу. *Сучасні технології та методи розрахунків у будівництві*. 2014. Вип. 1. С. 40–46. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/stmbr_2014_1_8.]. (*Автору належить загальна методика досліджень*).

44. Гомон С. С., Павлюк А. П. Изменение положения нейтральной линии балок из цельной древесины при косом изгибе. *Образование, наука и производство в XXI веке: современные тенденции развития* : материалы юбилейной международной конференции. Могилев, 2016. С. 89–90. (*Автору належить наукове обґрунтування, методологія та методика розрахунку*).

45. Гомон С. С., Павлюк А. П. Жорсткість балок з цільної деревини в умовах прямого та косоного згину. *Ресурсозберігаючі технології в проектуванні, землевпорядкуванні та будівництві. Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція з міжнародною участю* : матеріали конференції. Кременчук : КрНУ, 2017. С. 191–202. (*Автору належить загальна методика досліджень*).

46. Gomon S., Pavluk A. Installation of tension in the beams of glued wood for slanting bend different stages of work using the deformation model. *Proceedings of the 1st Eastern Europe Conference on Timber Constructions*. Kharkiv–«Madrid» Typography, 2018. P. 137–142. (Автору належить методологія та методика досліджень).

47. Гомон С. С., Поліщук М. В. Влаштування комбінованого армування балок з клеєної деревини. Ефективні технології і конструкції в будівництві та архітектура села. *Розробка інноваційних моделей екопоселень Прикарпаття та Карпат* : тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції. Дубляни. ЛНАУ. 2019. С. 99–100. (Автору належить методологія та методика досліджень).

У інших виданнях

48. Гомон С. С., Сасовский Т. А. Работа згинальних елементів із клеєної деревини за дії мало циклових навантажень. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Вип. 29. Рівне : НУВГП, 2014. С. 123–128. (Автору належить методологія та методика досліджень).

49. Гомон С. С. Конструкції з дерева та пластмас : навч. посіб. Рівне : НУВГП, 2016. 219 с.

50. Гомон С. С., Павлюк А. П. Жорсткість балок з клеєної деревини в умовах косоного згину. *Будівельні конструкції. Теорія і практика* : зб. наук. праць. К. : КНУБА, 2017. Вип. 1. С. 69–74. (Автору належить методологія та методика досліджень).

51. Гомон С. С., Павлюк А. П. Работа дощатоклеєних дерев'яних балок в умовах косоного згину при дії одноразових та повторних навантажень. *Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди* : зб. наук. праць. Рівне, 2017. Вип. 34. С. 118–128. (Автору належить загальна методика досліджень).

52. Гомон С. С., Поліщук М. В. Клеєна дерев'яна балка: пат. 135229 Україна: МПК E04C 3/12 (2006.01). № u201900104; заяв. 03.01.2019; опубл. 25.06.2019, Бюл. № 12. 4 с. (Автору належить методологія та наукове обґрунтування).

53. Гомон С. С., Бабич Є. М., Павлюк А. П. Розрахунок несучої здатності дерев'яних балок за поперечного згину з використанням деформаційної моделі : рекомендації. Рівне : НУВГП, 2019. 28 с.

АНОТАЦІЯ

Гомон С. С. Напружено-деформований стан і розрахунки за деформаційною методикою елементів з деревини при дії одноразових та повторних навантажень. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 192 – Будівництво та цивільна інженерія (05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди»). – Національний університет «Львівська політехніка», Львів, 2020.

Запропоновано теоретично та експериментально обґрунтовану теорію деформування елементів з цільної та клеєної деревини за стиску, розтягу, прямого та косоного поперечного згину при дії одноразових та повторних навантажень.

Доведено, що для розрахункового перерізу зі складкою можна застосовувати відомі закони розподілення деформацій по висоті, як в стиснутій, так і в розтягнутій зонах, які обумовлюється гіпотезою суцільності і однорідності матеріалу.

Встановлено існування стадій напружено-деформованого стану елементів з деревини з наявністю утворення складок в стиснутій зоні, розроблено аналітичний апарат і запропоновано деформаційну методику визначення напружено-деформованого стану нормальних перерізів дерев'яних елементів, що зазнають поперечного згину.

Обґрунтовано пропозиції щодо вибору критеріїв вичерпання несучої здатності елементів з деревини виходячи з доведеної трансформації фізичного стану в механічний.

АННОТАЦИЯ

Гомон С. С. Напряженно-деформированное состояние и расчет по деформационной методике элементов с древесины при действии одноразовых и повторных нагрузок. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 192 – Строительство и гражданская инженерия (05.23.01 «Строительные конструкции, здания и сооружения»). – Национальный университет «Львівська політехніка», Львов, 2020.

Предложено теоретически и экспериментально обоснованную теорию деформирования элементов из цельной и клееной древесины при сжатии, растяжении прямо и косо поперечном изгибе при действии однократных и повторных нагрузок.

Доказано, что для расчетного сечения со складкой можно применять известные законы распределения деформаций по высоте, как в сжатой, так и в растянутой зоне, которые обуславливается гипотезой сплошности и однородности материала.

Установлено существование стадий напряженно-деформированного состояния элементов из древесины с наличием образования складок в сжатой зоне, разработан аналитический аппарат и предложено деформационный метод определения напряженно-деформированного состояния нормальных сечений деревянных элементов, испытывающих поперечный изгиб.

Обоснованы предложения по выбору критериев исчерпания несущей способности элементов из древесины исходя из доказанной трансформации физического состояния в механический.

ABSTRACT

Gomon S. S. Stress-strain state and calculations according to the deformational method of wood elements under single and repeated loads. – On the rights of the manuscript.

The dissertation for the Doctor of Technical Sciences degree in specialty 192 – Construction and civil engineering (05.23.01 «Building structures, buildings and structures»). – Lviv Polytechnic National University, Lviv, 2020.

The introduction substantiates the relevance, purpose and objectives of research, the general characteristics and scientific novelty, the practical value of the work.

The first section provides an overview of the features of loading elements from wood, the stages of the theory of the development of deformation and resistance to force action of wood. A thorough analysis of the current state of experimental and theoretical research and existing methods for testing elements of wood is presented. On the basis of the inspection, the directions of scientific research and the ways of solving the tasks set in the thesis are indicated

The second section is devoted to experimental and theoretical studies of the diagrams of the mechanical state of wood under the action of a one-time short-term longitudinal compression, stretching, chipping, as well as in nailed and glued joints. The developed equipment and experimental research methods made it possible to obtain complete diagrams of longitudinal compression of wood. An analysis of the results of experimental studies and an analytical description of the mechanical state of solid and glued wood during a single short-term deformation along the fibers in the hard load application mode to complete failure is performed. The main characteristic sections and parameters of the mechanical state of wood under compression - tension along the fibers, as well as the state of deformation of the wood under short-term, long-term, repeated, constant and episodic loading are established.

The third section presents the results of experimental-theoretical studies of the mechanical state diagrams of solid and glued wood at various work cycles under the action of low-cycle loads. The features of the work of wood under various modes of repeated loads during longitudinal compression, of wood fibers adjacent to the plane of longitudinal cleaving and adjacent to the plane of adhesive joints are highlighted. Methods have been developed for determining the low-cycle adaptation of wood and its endurance in glued and nailed joints. The results of experimental studies of the operation of nailed joints from dry and wet wood and wood in the holes of these compounds under the influence of low-cycle loads are presented.

The fourth section is devoted to experimental and theoretical studies of the operation of wood elements in direct and oblique transverse bending. A study of the basic deformative characteristics of wood under longitudinal compression and lateral bending was carried out, and a new method was proposed for determining the elastic modulus on samples of structural dimensions. The laws of determining the layer-by-layer deformation of solid and glued wood by the height of the normal section of the bending element at various levels and load conditions are established. A technique is proposed for determining the neutral cross-section line and patterns of change in its position under the action of single and low-cycle loads are shown. The critical and limiting values of the relative deformations under the longitudinal action of loads are established.

In the fifth section, working hypotheses and prerequisites for modeling the stress-strain state of the normal section of solid and glued wood elements are proposed. A design apparatus for determining the bearing capacity of wood elements and criteria for its loss have been developed. In the calculations, the normal calculated cross section is taken to be the portion of the bending element made of wood, where a fold is formed in the compressed zone at the stage of work before fracture, since the section with the fold is a weak section. In the calculations, the apparatus of infinitesimal quantities was used, since the condition of continuity of the function in the vicinity of the section point is

fulfilled, and in solid mechanics it is determined by the hypothesis of continuity and homogeneity of the material. The possibility of transforming physical state diagrams into diagrams of the mechanical state of wood elements is substantiated, the concept of the stages of work of wood structures under load is proposed for the first time.

The sixth section is devoted to the determination of the stress-strain state of normal sections of solid and glued wood elements with direct and oblique bending at different stages of operation under the influence of short-term single and low-cycle loads. And their detailed analysis was performed.

The seventh section sets out the main provisions of the calculating method for the strength of normal design sections of wood elements in transverse bending based on the deformation model. A mathematical apparatus has been developed for calculating normal sections of solid and glued wood beams under the action of single and repeated loads when working in conditions of direct and oblique transverse bending. A technique for predicting the performance of wood structures under repeated loads is proposed.

Keywords: wood elements, stiffness, state diagrams, critical deformations, work stages, estimated section, fracture criteria, bearing capacity.

Підписано до друку 06.11.2020 р. Формат 60×90¹/₁₆.
Ум.-друк. арк. 1,9. Тираж 100 прим.
Зам. № 5500.

*Видавець і виготовлювач
Національний університет
водного господарства та природокористування,
вул. Соборна, 11, м. Рівне, 33028.*

*Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до державного
реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції РВ № 31 від 26.04.2005 р.*