

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра будівництва та експлуатації будівель, доріг та
транспортних споруд

До захисту допускається
Завідувач кафедри
будівництва та експлуатації
будівель, доріг та транспортних
споруд

_____ О.П. Новицький

«___» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

На тему: **«Вплив деяких видів послаблень поперечного перерізу
на напружено-деформований стан армованих
дерев'яних балок»**

Виконав (ла)

(підпис)

О.В. Барбін

(Прізвище, ініціали)

Група

БУД 2301 м ВН

(Науковий)

керівник

(підпис)

О.С. Савченко

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: будівництва та експлуатації будівель, доріг та транспортних споруд

Спеціальність: 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Барбін Олексій Вікторович

Тема роботи: Вплив деяких видів послаблень поперечного перерізу на напружено-деформований стан армованих дерев'яних балок

Затверджено наказом по університету № _____ від "___" _____ 2023р.
Строк здачі студентом закінченої роботи: "___" _____ 2024 р.

Вихідні дані до роботи:

4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці)

5. Перелік графічного та або мультимедійного матеріалу (з вказівкою обов'язкових креслень)

Керівник :

(підпис)

О.С. Савченко

(Прізвище, ініціали)

Консультант

(підпис)

О.С. Савченко

(Прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання:

Здобувач

(підпис)

О.В. Барбін

(Прізвище, ініціали)

Анотація

Барбін Олексій Вікторович. Вплив деяких видів послаблень поперечного перерізу на напружено-деформований стан армованих дерев'яних балок –
Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2024.

Робота складається із змісту, загальної характеристики роботи та її кваліфікаційних ознак, огляд досліджень за обраною темою, розділів основної частини, висновки за результатами МКР.

Сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, методи наукового дослідження.

Результати досліджень дозволяють на основі математичного моделювання клеєних армованих дерев'яних елементів, що зазнають згин, отримати уявлення про їх напружено-деформований стан і довести можливість використання меншого класу міцності деревини в розтягнутій зоні.

Аналіз публікацій та досліджень встановив, що армування дозволяє знизити вплив природніх вад деревини в суцільнодерев'яних конструкціях і технологічних послабленнях (зубчастий стик) в розтягнутих зонах несучих клеєних конструкціях на міцність і деформативність конструкцій і в цілому підвищити їх надійність проти руйнування.

В основній частині проведено інженерний розрахунок дощатоклеєної армованої балки заданого перерізу під задане навантаження, наведено опис скінченоелементної моделі цієї само балки, сформульовано алгоритм числового експерименту, виконано числовий експеримент.

У висновках встановлено, що використання армованих клеєних дерев'яних конструкцій дозволяє знизити деформативність конструкції, а також

знизити напруження в розтягнутій і стислій зонах перерізу дерев'яного елемента, а також що при використанні конструкції в умовах невисоких вимог до деформативності, доцільним є заміна сорту деревини в розтягнутій зоні на більш низький, що дозволяє зменшити собівартість самої конструкції.

Ключові слова: армовані дерев'яні балки, несуча здатність, вади деревини, сучки, напружено-деформований стан.

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

Барбін О. Економічний ефект впливу послаблень поперечного перерізу на напружено-деформований стан армованих дерев'яних балок // Матеріали 86-ої Міжнародної наукової конференції студентів ХНАДУ (8-12 квітня 2024 р.) – Харків, 2024.

В додатках наведено; звіт аналізу перевірки роботи на наявність запозичень, сертифікат про участь у конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи. Робота складається з основного тексту на 59 сторінках, у тому числі 7 таблиць, 26 рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 2 розділів, висновки, список з 17 використаних джерел, 3 додатків на 37 сторінках. Графічна частина складається з 35 слайдів мультимедійної презентації.

Abstract

Oleksiy Viktorovych Barbin. The influence of some types of cross-section relaxation on the stress-strain state of reinforced wooden beams – Master's qualification work on manuscript rights.

Master's qualification work in specialty 192 "Construction and civil engineering". – Sumy National Agrarian University, Sumy, 2024.

The **work consists** of the content, the general characteristics of the work and its qualification features, an overview of research on the chosen topic, sections of the main part, conclusions based on the results of the MQW.

The goal, tasks, object and subject of research, methods of scientific research.

The research results allow, based on mathematical modeling of glued reinforced wooden elements undergoing bending, to get an idea of their stressed-deformed state and to prove the possibility of using a lower strength class of wood in the stretched zone.

The analysis of publications and studies established that reinforcement allows to reduce the impact of natural defects of wood in solid wood constructions and technological weakening (tooth joint) in stretched zones of load-bearing glued constructions on the strength and deformability of constructions and in general to increase their reliability against destruction.

In **the main part**, an engineering calculation of a glued-laminated reinforced beam of a given cross-section under a given load is carried out, a description of the finite element model of this same beam is given, a numerical experiment algorithm is formulated, and a numerical experiment is performed.

The conclusions established that the use of reinforced glued wooden structures allows to reduce the deformability of the structure, as well as to reduce the stress in the stretched and compressed cross-sectional areas of the wooden element, and also that

when using the structure in conditions of low deformability requirements, it is advisable to replace the type of wood in the stretched zone to a lower one, which allows to reduce the cost of the structure itself..

Key words: reinforced wooden beams, bearing capacity, wood defects, knots, stressed-deformed state

A list of the student's publications and/or speeches at conferences:

O. Barbin. The economic effect of cross-sectional weakening on the stress-strain state of reinforced wooden beams // Materials of the 86th International Scientific Conference of Students of the National Academy of Sciences of Ukraine (April 8-12, 2024) - Kharkiv, 2024.

In the **appendices** are given; a report of the analysis of work verification for the presence of loans, a certificate of participation in the conference, an album of multimedia presentation slides.

Structure of work. The work consists of the main text on 59 pages, including 7 tables, 26 figures. The text of the work contains a general description of the work, 2 chapters, conclusions and recommendations based on the results of the work, a list of 17 used sources, 3 appendices on 37 pages. The graphic part consists of 35 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

Розділ 1. Загальна характеристика роботи	5
Розділ 2. Бібліографічний огляд досліджень	8
Розділ 3. Дослідження впливу послаблень поперечного перерізу на напружено деформований стан армованих дерев'яних балок	38
Розділ 4. Висновки	59
Список використаних джерел.....	60

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми

Несуча здатність дерев'яних конструкцій залежить від властивостей міцності, стану і кількісного співвідношення сортоутворюючих вад деревини, основними з яких є сучки. Вади деревини, особливо сучки, дуже впливають на процес склеювання, якість клейового з'єднання і конструкції в цілому. Численні дослідження клеєних конструкцій наочно показали, що при випробуваннях конструкцій на вигин однієї з основних причин руйнування є вади деревини. Для зниження впливу вад на якість конструкцій використовують сортування пиломатеріалів за гатунком. Згідно з ДСТУ EN 518:2003 [8] пиломатеріали розподіляють на 1-й, 2-й, 3-й та 4-й гатунки. При виробництві несучих клеєних конструкцій, деревину 3-го та 4-го гатунків практично не застосовують. Для підвищення якості та властивостей міцності деревини на деревообробних підприємствах широко поширене зрощування по довжині з вирізанням недопустимих вад. При цьому зі всіх видів клейових з'єднань найчастіше використовують зубчастий шип. Мала довжина та можливість повної автоматизації процесу склеювання зумовили застосування цього виду з'єднання практично на всіх вітчизняних та зарубіжних підприємствах. Але в процесі потокового виготовлення клеєних конструкцій міцність шарів, що визначають структуру клейового елемента, помітно знижується. Руйнування балок відбувається по нижньому розтягнутому шару, що природньо, оскільки зубчасте з'єднання займає всю площу поперечного перерізу елемента. Таким чином, наявність зубчастого з'єднання, особливо в елементах, що згинаються, не дозволяє використання пиломатеріалів 1-го гатунку, так як міцність таких балок із зубчастими з'єднаннями знаходиться на тому ж рівні, що і у балок з нестиківаними по довжині шарами з деревини 3-го гатунку, з природними ослабленнями в розтягнутій зоні.

Ефективним способом зниження впливу вад деревини природного походження (сучків), а також штучно створених (зубчастих з'єднань), на

міцність та несучу здатність конструкцій є армування елементів сталевими стрижнями. Воно дозволяє на 25-30% зменшити висоту перерізу дерев'яних елементів, скоротити на 30-40% витрату деревини, знизити на 15-25% монтажну масу, на 12-18% вартість, а також дає можливість застосування деревини 3-го гатунку за рахунок сприйняття арматурою значної частини зусилля. Причому з часом в арматурі значення частки зусиль, що сприймаються від діючого згинального моменту тільки збільшується.

Необхідно відмітити, що в даній роботі розглядалися найпоширеніші види послаблень: природного походження – сучки і штучно створені зубчасті з'єднання. Технологічні отвори (підрізки) не розглядалися з огляду на те, що даний вид ослаблень у конструкціях приймається виходячи з конструктивних міркувань.

Мета роботи:

Мета роботи – визначити ступінь впливу деяких видів послаблень поперечного перерізу на напружено деформований стан армованих дерев'яних балок.

Задачі досліджень:

- виконати дослідження напружено-деформованого стану армованих балок з ослабленнями у перерізі;
- виявити можливості застосування в армованих суцільнодерев'яних конструкціях (прогони, ребра плит покриття) деревини 3-го гатунку замість 2-го гатунку;
- провести чисельні дослідження та створити тривимірні моделі армованих дерев'яних балок, а також дослідити вплив виду послаблень на міцність та деформативність таких балок.

Об'єкт дослідження:

Армована дерев'яна балка з ослабленнями у перерізі.

Предмет дослідження:

Напружено-деформований стан армованих дерев'яних балок з ослабленнями у перерізі.

Методи дослідження:

1. Фізико-математичне моделювання.
2. Методи математичної статистики.

Наукову новизну роботи складають:

- результати теоретичних досліджень роботи армованих балок з ослабленим перерізом;
- обґрунтована можливість застосування в армованих конструкціях деревини 3-го ґатунку з природними та технологічними ослабленнями.

Практичне значення:

- Виявлена залежність міцності армованих дерев'яних елементів від наявності природніх послаблень;
- Запропоновано методику обліку послаблень при інженерному методі розрахунку армованих дерев'яних балок.

Апробація:

Основні положення доповідалися на 86-й Міжнародній науковій конференції студентів ХНАДУ 8-12 квітня 2024 року.

РОЗДІЛ 2. БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ

Незважаючи на широке застосування залізобетону, цегли, металу та пластмаси, значне місце у будівництві займає деревина завдяки таким властивостям, як хороша оброблюваність, довговічність, незначна об'ємна вага, малий коефіцієнт лінійного та температурного розширення та порівняно велика міцність.

Поряд з цим деревині притаманні деякі недоліки, що обмежують його застосування в будівництві: мала вогнестійкість і схильність до руйнування під впливом біологічних факторів. Дерев'яні конструкції, захищені від біологічних пошкоджень, зберігають високу якість сотні років.

Найпростіші дерев'яні конструкції застосовувалися вже у давнину. Ще на початку другого тисячоліття до нашої ери зводилися будівлі на дерев'яних палях.

Листяні палі, що залишилися від римського мосту на Дунаї, побудованого 17 століть тому і відриті в 1858 р, є прикладом, що підтверджує високу стійкість деревини.

Деревина застосовувалася і в фортифікаційних спорудах, і для пересування по воді. На зорі розвитку фабричного виробництва воно використовувалося як деталі машин. Оздоблення будівель, виготовлене з деревини, вражає високою якістю, красою, характерними тільки для цього матеріалу.

У багатьох старих житлових та громадських будівлях та спорудах основні конструкції виконувалися з деревини, особливо в районах, багатих на ліси.

Державою охороняються виконані у деревині унікальні будівлі та пам'ятки архітектури, як зразки високої художньої майстерності.

Захист дерев'яних конструкцій від біологічної руйнації – завдання величезної важливості. Біологічна руйнація дерев'яних конструкцій значною

мірою викликається порушенням тепловологого режиму експлуатації споруд та впливом несприятливих гідрогеологічних умов.

Дерев'яні дубові палі довжиною 1,5 м, діаметром 18-25 см, забиті в ґрунт понад 500 років тому і витягнуті з нього в 1959 р., виявилися ніби скам'янілими. Крокви собору св. Стефана у Відні, виготовлені із сосни, зберігаються вже 900 років, а ялинові гробниці в єгипетських пірамідах – протягом 4000 років.

Можна вказати і інші приклади, що підтверджують довговічність дерев'яних конструкцій і виробів.

Обстежені у 1966 р. дерев'яні палі довжиною 2,5 м, діаметром 22-25 см у колекторі р. Неглинки, виготовлені з деревини листяних порід і забиті в ґрунт 150 років тому, перебувають у дуже гарному стані. Деревина їх важко піддається розпилюванню і колці.

При виконанні цих обстежень у момент найменшого сезонного рівня води на ділянці довжиною 50 м вода з річки була спрямована через дві тимчасово прокладені металеві труби діаметром 800 мм кожна обвідним шляхом у той же колектор. Для перекачування води цілодобово працювала насосна станція.

Під час будівництва будівлі одного з інститутів на глибині 3,5 м від існуючої в даний час планувальної позначки дворової території разом із залишками різних дерев'яних конструкцій у землі був виявлений дерев'яний водопровід, що є обробленим відрізком стовбура дерева діаметром 40 см, всередині якого видовбано отвір діаметром 7 см. Ланки водопроводу з'єднувалися в одну систему. Незважаючи на пошкодження поверхні, деревина продовжувала зберігати строгу форму отвору для протоки води.

Інший зразок дерев'яного водопроводу діаметром 25 см знайдено у котловані на будівництві 17-поверхового житлового будинку. Довжина ланки становить 300 см, діаметр отвору 10 см. Незважаючи на тривале перебування деревини у ґрунті, вона не втратила механічної міцності.

Велике значення для довговічності дерев'яних конструкцій та споруд мають сушіння та захист деревини від ураження її грибковими захворюваннями.

При реконструкції старих будівель та заміні дерев'яних конструкцій металевими та залізобетонними необхідно здійснити огляд конструкцій та відбирати проби для мікологічних аналізів. Наприклад, у старих капітальних будинках вдалося встановити, що, як правило, кінці балок, що закладали у кладку, обгорталися берестом, окремі шматки якого зшивались між собою ликом. Торці балок залишали відкритими для доступу свіжого повітря.

Ушкодження дерев'яних конструкцій та методи їх захисту

У старих житлових та унікальних будинках міжповерхові та горищні перекриття, як правило, укладалися на дерев'яні балки.

Так, у міжповерхових перекриттях балки, укладені в поперечному напрямку, зі змінним кроком через 70-100 см на несучі внутрішні та зовнішні цегляні стіни та мають переріз 300×400; 320×370; 240×370 мм при довжині до 12-16 м.

Зі 146 засвідчених балок виявилися частково ураженими поверхневою гниллю кінці 23 балок (від країв на 35-50 см).

Через незначне пошкодження деревини конструкції не замінювалися. Для посилення зачистили або вирізали пошкоджені кінці балок на 30-75 см, закріпивши на болтах до кінців основної конструкції металеві або дерев'яні накладки.

За межами цих ділянок, де деревина не втратила механічної міцності, обмежилися лише антисептуванням поверхні балок.

Причиною ураження частини деревини могли послужити: неправильне влаштування та промерзання гнізд окремих балок; зволоження через несправність системи опалення чи водопроводу; підвищена вологість повітря.

Дерев'яні конструкції одного з театрів, що експлуатуються з 1858 р. та обстежені при його реконструкції у 1959 р., перебували у хорошому стані та не потребували заходів щодо посилення.

Найбільше зазнають пошкоджень дерев'яні конструкції в будинках, де відсутня служба спостереження або технічний персонал не обізнаний про шкоду, яка завдається тривалим протіканням води через покрівлі, стики та пошкоджені трубопроводи.

Від проникнення навіть незначної кількості води утеплювач насичується і створює сприятливе середовище для швидкого розвитку грибкових захворювань.

Такі причини викликали ураження елементів балок і накату горищного перекриття двоповерхової будівлі початку ХХ століття. Незабаром після реконструкції та оздоблення будівлі стався обвал частини накату горищного перекриття.

При лабораторних дослідженнях проб встановлено, що деревина, взята з балок горищного перекриття, має жовтувато-коричневий колір. Деревина виявилася ураженою гниллю дрібнопризматичною з поздовжніми та поперечними дрібними тріщинами. Крім того, вона була пронизана личинковими ходами, забитими дрібним бурим борошном. Механічна міцність деревини втрачена; вид руйнівника – плівчастий будинковий гриб та меблевий точильник. Вологість деревини – 14,2%.

Деревина в накаті горищного перекриття виявилася ураженою будинковим грибом. Вологість зразка 155%. Виявлені гриби належать до сильних руйнівників деревини.

Пошкодження деревини в конструкціях було викликано тривалими протіканнями, які спостерігалися через дрібні вади в покрівлі.

При обстеженні дерев'яних конструкцій горищних перекриттів необхідно, крім вибіркової перевірки, в місцях можливого пошкодження проводити повний огляд всіх елементів, звільняючи перекриття від засипки.

Такий огляд дозволить виявити уражену грибковими захворюваннями деревину та вжити профілактичних заходів у найбільш ранній стадії руйнування.

У деяких горищних перекриттях із дерев'яними конструкціями по засипці укладається так званий пароізоляційний шар, а по ньому цементна стяжка різної товщини (4-12 см). Це не тільки ускладнює перекриття, а й створює несприятливі умови для деревини. У замкнутому засипці конденсується волога, що підвищує вологість, а проникнення вологи через розчин при несправності покрівлі не дозволяє швидко встановити рівень ураження деревини.

Значного руйнування зазнали дерев'яні конструкції в обстежуваній будівлі клубу-їдальні. Будівля двоповерхова каркасна з дерев'яними стійками. Стінова обшивка – із дощок із заповненням цементнофібролітовими плитами. Несучі конструкції підлоги – дерев'яні бруски перерізом 18×20 см і прогони перерізом 20×20 см, що спираються на дерев'яні стільці та цегляні стовпи.

Незважаючи на незначний термін служби, деревина всіх конструкцій виявилася ураженою будинковим грибом на глибину 20-50 мм, а деякі елементи – по всьому перерізу. Обв'язування стін першого поверху (вінець) було з'їдено грибом у багатьох місцях на всю товщину.

У висновку з раніше проведеного обстеження будівлі клубу-їдальні зазначалося, що деревина підлоги має грибкові ураження; були надані рекомендації щодо ремонту та подальшої експлуатації. Однак вказівки були виконані лише частково, уражена деревина була повністю видалена. Протягом восьми років окремі балки та прогони першого поверху посилювалися або частково замінювалися, причому гнила деревина залишалась у підвалі. Так як загальні вказівки щодо запобігання розвитку будинкового гриба не були виконані, руйнування деревини продовжувало розвиватися з колишньою інтенсивністю, і багато конструкцій опинилися в аварійному стані.

При проведенні ремонту щодо запобігання розвитку грибкових захворювань необхідно виконувати такі вимоги.

Нова деревина, завезена для ремонту, має бути ізольованою від пошкодженої. Усю гнилий деревину слід видалити, попередньо обприскавши

конструкції, уражені будинковими грибами, і прилеглу до уражених ділянок здорову деревину.

З хімічних засобів, що використовуються для знищення грибка, найбільш ефективні 5-10% водний розчин мідного або залізного купоросу, а також антисептична паста марки 200.

Згнилі елементи видаляються із захопленням здорових ділянок не менше ніж на 40-60 см за довжиною. Поверхневу гниль видаляють, зачищаючи поверхню конструкцій до шарів здорової на вигляд деревини – з нормальним кольором та міцністю. Потрібно створювати відповідні умови для просушування деревини – продухи та інтенсивну природну вентиляцію.

Всю очищену гнилий деревину, грибні нальоти та інше органічне сміття спалюють у топці котельні або в багатті.

Найбільш інтенсивно руйнується деревина в будинках з погребями і ямами для домашнього вжитку, з непровітрюваними та неупорядкованими підпіллями, де накопичується волога від систем опалення, що проходять, і водопровідних труб.

У деяких рубаних будинках ураження деревини спостерігається невдовзі після введення в експлуатацію.

Наприклад, дерев'яні рубані будинки, збудовані в одному із селищ для службовців лікарні, виявилися ураженими будинковим грибом через рік після закінчення будівництва.

Під час обстеження з'ясувалося, що підпілля влаштовані без продухів, цегляний цоколь подекуди стикався з ґрунтом. У будинках були вириті льохи, причому земля, що виймалася, відкидалася до стін, тому всі нижні вінці торкалися землі або були нею засипані.

При виконанні робіт з видалення уражених ділянок дерев'яних конструкцій підпілля необхідно вилучити верхній шар землі товщиною 10-15 см з обов'язковим попереднім знезараженням його розчином мідного або залізного купоросу. Ґрунт належить вивезти на звалище і закопати поза територією будівництва.

Цегляні поверхні, що стикалися з загнилими елементами дерев'яних конструкцій і розташовані поблизу них, також повинні знезаражуватися після очищення від грибкових утворень – їх обприскують антисептиками, прогрівають вогнем паяльних ламп, дотримуючись протипожежних вимог.

При виконанні ремонту передбачають конструктивні заходи, що забезпечують створення нормального режиму для дерев'яних конструкцій (виконання гідроізоляції, влаштування продухів, вимощення, захист від атмосферних опадів).

Роботи із заміни та антисептування деревини виконуються кваліфікованими робітниками під керівництвом технічного персоналу.

Окрім уражень і недоліків, які утворюються в деревині в процесі експлуатації, існують також недоліки і послаблення, які природньо властиві деревині, а також ті, які технологічно утворюються при виготовленні конструкцій.

Існує цілий ряд класифікацій вад деревини. Принцип їх побудови відповідає тим завданням, які виконує та чи інша класифікація.

Класифікації, що є основою для визначників пороків, будуються на описовому принципі і тому можуть бути названі морфологічними. Вихідною позицією таких класифікацій є зовнішній вигляд вади. Деякі інші класифікації мають на меті вивчення пороків. За їх допомогою встановлюються зв'язки між окремими групами та різновидами вад. Вихідною позицією таких класифікацій є походження пороку, тому такі класифікації можуть бути генетичними.

Класифікації вад для практичних цілей будуються на змішаному принципі і тому є морфолого-генетичними класифікаціями.

Розглянемо деякі класифікації вад, які істотно відрізняються за принципами їх побудови.

Класифікація вад за діючими нормативами. У цьому стандарті всі вади діляться на наступні дев'ять груп: сучки, тріщини, вади форми стовбура, вади

будови деревини, хімічні забарвлення, грибні ураження, пошкодження комахами, сторонні включення та дефекти, деформації.

Класифікація вад Паншина (Panshin, De Zeeum. Brown, 1964) є однією з найбільш повних класифікацій.

Усі вади у ній поділені на такі групи:

- 1) природні пороки, що виникають у живому дереві;
- 2) вади, що виникають при сушінні та обробці деревини;
- 3) вади, що викликаються грибами, комахами та деревоточинами.

Класифікація вад Вагенфюра (Langendorf, Schuster, Wagenftihr, 1972). У цій класифікації вади деревини поділяються на такі основні групи:

- 1) ростові вади, що включають сучки, вади форми стовбура та вади будови деревини;
- 2) ушкодження, що виникають під впливом кліматичних та технічних факторів як на корені, так і в зрубаний деревині;
- 3) пошкодження деревини, що спричиняються організмами.

Як бачимо, ця класифікація близька до класифікації вад, запропонованої Паншиним.

Дуже специфічними є класифікації вад А.С. Матвєєва-Мотіна (Матвєєв-Мотін і Алексєєв, 1963) і Б.К. Лакатоша (1966).

Класифікація вад Матвєєва-Мотіна більшою мірою відповідає таксаційним завданням. У ньому виділено такі категорії пороків: пороки зовнішні, обумовлені при зовнішньому огляді дерев на корені; вади приховані, але встановлюються після валки і при розкрязуванні стовбурів; пороки приховані, що виявляються тільки в процесі розпилювання сортиментів.

Класифікація Лакатоша розглядає вади з погляду відхилень від нормального стану деревини, що викликаються ними, стосовно методів дефектоскопії за допомогою різних приладів. Відповідно до цієї класифікації вади поділяються на такі дві групи: вади, що змінюють щільність і цілісність деревини, і вади, що змінюють фарбування деревини. Класифікація

представляє інтерес для вирішення проблеми автоматизації визначення пороків та якості деревини.

Розглядати будемо класифікацію вад наведену в нормативах з деякими змінами, що мають переважно формальний характер. Принципові відмінності обумовлені прагненням встановити зв'язок між окремими різновидами пороків і загалом надати більшого значення їх генезису. Такий принцип особливо необхідний для розуміння пороків, що являють собою стадії одного процесу, що послідовно змінюються. До таких вад насамперед належать ненормальні забарвлення та гнилі.

Згідно з запропонованою класифікацією всі вади діляться на дві групи: вади, що виникають у дереві, що росте (табл. 1), і вади, що виникають у свіжозрубаних і мертвій деревині (табл. 2). Поділ пороків залежно від часу появи на дві категорії, що дозволяє глибше досліджувати їхню природу, викликає відомі труднощі. Прийняті у випадках деякі умовності є, на жаль, неминучими.

Таблиця 1 - Пороки, які виникають в зростаючому дереві

Група	Підгрупа	Вид	Основні різновиди
Сучки		Сучок	Залежно від походження, фізіологічного стану, ступеня заростання, ступеня зрощення з деревиною стовбура, ступеня загнивання, форми розрізу, положення у сортименті
Ненормальні забарвлення та гнилі	Ранне забарвлення	Плямистість Хибне ядро	Радіальна, тангенціальна За формою; округле, зірчасте За будовою: просте, зональне, мозаїчне Світлий, темний
	Патологічне забарвлення Гнили	Водошар Грибні ядрові плями та смуги Строката, біла, бура, помірна *	Залежно від стадії розвитку, походження, розташування на поперечному зрізі та по висоті стовбура
Тріщини	Поздовжні	Метикова тріщина Відлупна тріщина Морозна тріщина Громобійна тріщина' Тріщина стиснення *	Проста, складна Неповна, кільцева
Пороки форми ствола	Поперечні	Збіжність Кривизна Закам'янілість Ексцентричність ствола *	Проста, складна Округла, ребриста

Група	Підгрупа	Вид	Основні різновиди
Рак та нарости		Жолобки * Поздовжня ребристість стовбура * Подвійна вершина* Рак **	Ступінчастий, пухлинний. гнилий, раніше
Пороки будови деревини		Наріст	Гладкий, горбистий, омеловий
Рани та їх наслідки		Нахил волокон Крень Тягова деревина Завиток Свилівість Заболонь внутрішня Серцевина Серцевина подвійна Серцеві повторення Смоляні кишеньки Механічні пошкодження Сухобокість Прорость Засмолок	Суцільна, місцева Обдир кори, затіска, заруб і запив, карра Відкрита, закрита
* Пороки, не описані в діючих нормативах. ** Пороки, нерівнозначні описаним під такою самою назвою в діючих нормативах.			

Таблиця 2 - Пороки, які виникають в свіжозрубаній і мертвій деревині

Група	Підгрупа	Вид	Основні різновиди
Ненормальні забарвлення та гнилі	Хімічні забарвлення	Жовтизна Помаранчеве забарвлення * Продубіна Чорнильні плями* Дубильні потеки	
	Заболонні грибні забарвлення і гнилі деревини, що відмирає (прілість)	Цвіль Кольорова заболонь * Темна заболонь *	Синіва Коричнече забарвлення Рожеве забарвлення Жовте забарвлення Побуріння ** Підпар Тверда, м'яка
Ушкодження комахами	Ядро-заболонні гнилі мертвої деревини	Гниль Гнила строката, біла, бура, помірна * Червоточина	
Тріщини		Тріщини усушки Тріщини, що утворюються при розпилюванні та пропарюванні деревини* Тріщини, що виникають під час валки дерева*	По глибині залягання: поверхнева неглибока, глибока По діаметру: невелика, велика
Деформації		Покоробленість	Поздовжня по пласті. поздовжня по кромці, поперечна, крилатість
Рани та їх наслідки		Механічні пошкодження	Відщеп. скол, вирив, багорні наколи
Дефекти переробки деревини		Ризики Хвилястість Ворсистість	

Група	Підгрупа	Вид	Основні різновиди
		Обзол Бахрома Опік Закоріна Рябка шпону	Тупий, гострий
* Пороки, не описані в діючих нормативах.			
** Пороки, нерівнозначні описаним під такою самою назвою в діючих нормативах.			

Із усіх наведених природних пороків деревини ми будемо розглядати виключно сучки.

Сучками в сортиментах називаються основи гілок, що залишилися в деревині стовбура – живих або відмерлих за життя дерева. Сучки є обов'язковою приналежністю до всіх круглих сортиментів. У деяких кількостях вони майже завжди присутні у пиломатеріалах, заготовках, деталях та шпоні.

Стосовно окремих дерев (рідше до сортиментів) говорять про сучкуватість деревини, розуміючи під цим терміном всю сукупність наявних у стовбурі сучків з урахуванням їх кількості, стану, розмірів і розподілу, а також впливу на технічні властивості сортиментів. Іноді термін сучкуватість використовують і при характеристиці цілого насадження. Сучкуватість залежить від деревини, умов місцезростання, спадкових особливостей окремих форм деревних порід, і навіть від повноти насадження та господарську діяльність людини.

Сучки (і сучкуватість) відносяться до основних сортовизначальних вад деревини. Ступінь впливу сучків на властивості деревини визначається різними факторами, залежно від яких сучки класифікуються: за походженням, фізіологічного стану, ступеня зрощення, загнивання, заростання, розмірів, форми та положення у сортименті.

Класифікація сучків має істотне значення не тільки для їхнього обліку та стандартизації, але і для розуміння процесів виникнення низки пороків, пов'язаних з ними (ненормальних забарвлень, гнилі, пороків будови деревини та деяких інших).

Класифікація сучків з походження

Залежно від походження сучки поділяються на первинні та вторинні.

Первинними називаються сучки, що є основами бічних гілок (побігів) дерева, що виникають в результаті розвитку так званих ростових бруньок. Живі первинні сучки мають тісний зв'язок із деревиною ствола внаслідок спільності річних шарів. Їх серцевина доходить, як правило, до серцевини стовбура (Рисунок 1, а). До первинних відноситься переважна маса сучків дерева.

Вторинні сучки (Рисунок 1, б) утворюються в результаті розвитку превертивних і адвертивних бруньок.

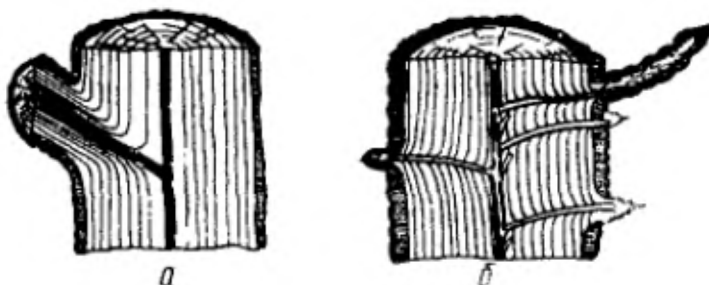


Рисунок 1 - Схема утворення сучків

а – первинних; б – вторинних.

Превертивні, або сплячі, бруньки розташовуються в нижній частині побігу і відходять від серцевини стовбура. Від ростових сплячі бруньки відрізняються тим, що утворюють

пагони лише у разі пошкодження стовбура або його освітлення. Якщо цього немає, то сплячі бруньки, залишаючись живими, щорічно нарастають у довжину на величину, рівну ширині річного шару. Сліди нерозвинених у побіг сплячих бруньок називаються вічками. Розташовані окремо й віддалені один від одного на відстані більше 10 мм очі називають розкиданими, а очі, зосереджені в кількості трьох і більше і віддалені один від одного на відстані не більше 10 мм, груповими (Рисунок 1). Іноді групові очі займають площу 50-100 см². Пагони, що утворюються від сплячих бруньок, називаються водяними, або вовчками (Рисунок 2). Такі пагони особливо часто виникають у дубу, ільма, клена, ясеня, граба, вільхи, тополь чорного та пірамідального, дещо рідше — у бука, ялиці та модрини; ще менш схильні до цього утворення сосна, береза, осика, тополя срібляста, біла акація та ялина.

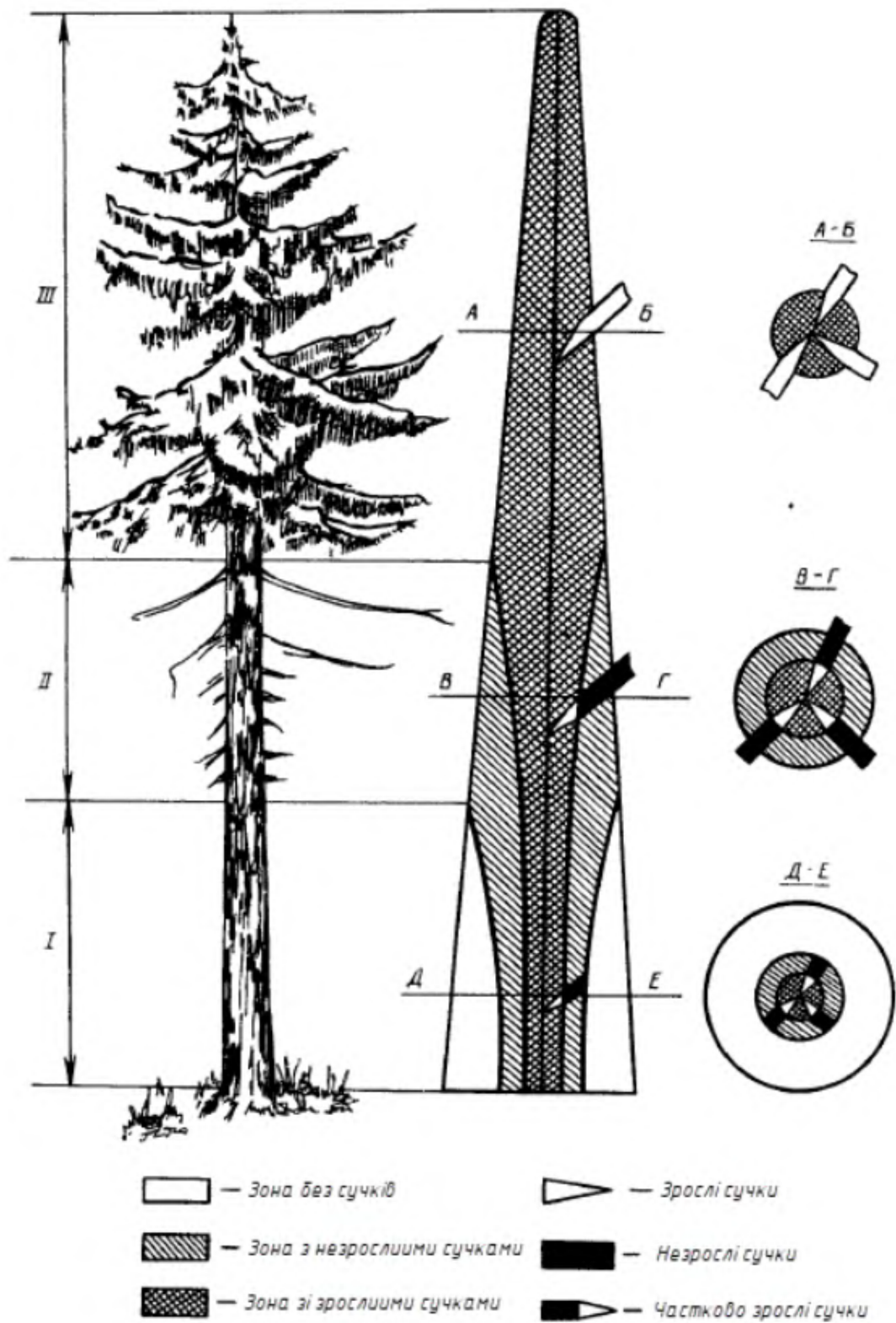


Рисунок 2 - Різномісні (по сучкам) зони стовбуру

Адвентивні, або додаткові, бруньки виникають у будь-якому місці дерева (на стовбурі або корінні) і, як правило, розвиваються в пагони. Пагони, що розвинулися з адвентивних бруньок, не пов'язані з серцевиною стовбура.

Побічні сучки, порушуючи однорідність деревини, є її пороком, проте їх значення порівняно з первинними сучками невелике.

Мутовчаті і міжмутовчаті сучки

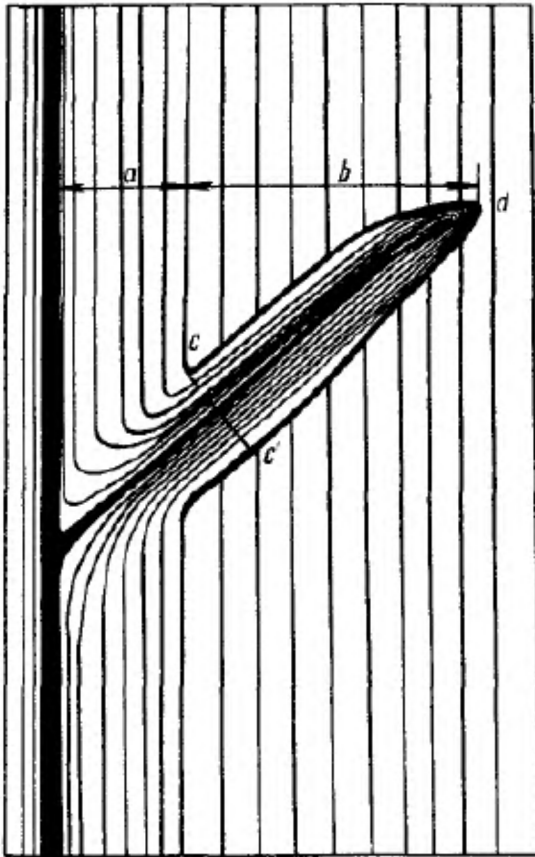


Рисунок 3 - Елементи зарослого сучка

a – зроста частина; b – незроста частина; cc' – головка; cc'd – шпилька; d – вершина.

Характер розташування сучків по довжині ствола визначається низкою чинників, у тому числі головним є тип розгалуження дерева. На кшталт розгалуження деревні породи діляться на породи з мутовчатим і немувчатим розташуванням гілок. У деревних порід, що належать до першого типу розгалуження, бічні гілки розташовуються групами, утворюючи мутовку; на решті річного побігу таких порід гілки, як правило, відсутні. Мутовчастого розташування гілок відповідає так звана розетка, що є групою зарослих сучків, видимих річного побігу таких порід гілки, як правило, відсутні. Мутовчастого

розташування гілок відповідає так звана розетка, що є групою зарослих сучків, видимих на поперечному розрізі стовбура. Групу зовнішніх чи запливних сучків у разі називають мутовкой (Рисунок 3). У пиломатеріалах сучки мутовки відносяться до групових сучок.

Типовими породами зі строго каламутним розташуванням гілок є сосна і модрина. В останньої породи можуть розвиватися міжмутовальні гілки, які,

однак, незабаром відмирають і обламуються. У зв'язку з цим сучки від міжмутувальних гілок у модрини заростають на великій глибині. Ялина, ялиця і сибірський кедр відносяться до порід з нестрогим каламутним розташуванням гілок. Тонкі гілки цих порід залишаються тривалий час живими, а після відмирання повільно руйнуються. Внаслідок цього у кедрів і особливо у ялини і ялиці утворюється велика кількість сучків, що неслися. Відмінності в розташуванні сучків у порід зі строгим і не суворим мутовчатим розташуванням гілок добре виявляються на шпону, що лущить. Мутовчасте розташування сучків менш характерне для листяних порід, хоча в деяких з них (горіхи, осики, ясена) у молодому віці та у вершинній частині стовбура дорослих дерев воно виражене досить ясно.

Класифікація сучків по фізіологічному стану

За фізіологічним станом сучки зростаючих або свіжозрубаних дерев слід насамперед підрозділити на живі та відмерлі. Живі сучки пов'язані з функціонуючими гілками. Відмерлі сучки виникають унаслідок відмирання гілок дерева. Процес відмирання гілок і виникнення мертвих сучків відбувається по всій кроні, але основна маса сучків, що відмерли, спостерігається в нижній її частині. У міру розвитку в живих сучках відбувається процес ядроутворення, характерний і для деревини стовбура. Тому живі сучки можна розділити на заболонні та ядрово-заболонні.

Заболонний живий сучок (Рисунок 4) характеризується наявністю заболонної деревини, пофарбованої в світлий тон на всьому поперечному перерізі. Такий сучок пофарбований у колір заболоні стовбура або дещо темніший за неї (але світліше за ядро), що зазвичай пов'язано з дрібношаровим сучком і наявністю в ньому кренів, а також іншим напрямком річних шарів у його перерізі. Заболоним живий сучок залишається лише в перші роки життя до утворення в ньому ядра.

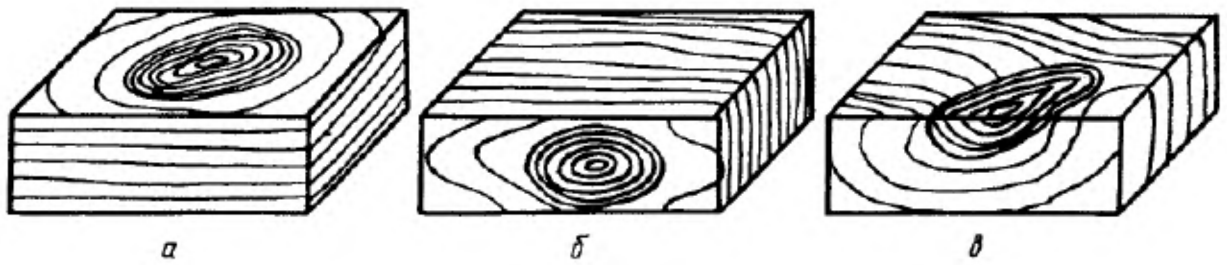


Рисунок 4 - Різновиди сучків в залежності від розташування в сортименті

а – пластьові; б – кромкові; в – реброві

Ядро-заболонний живий сучок має світлозабарвлену периферичну зону заболоні, у той час як внутрішні та річні шари являють собою темнофарбоване ядро (кол. Таблиця 1, а) або світлозабарвлену стиглу деревину (кол. Таблиця 1, б).

Заболонні та ядрово-заболонні сучки на дереві є основами живих гілок. У шпоні та фанері з без'ядрових порід іноді розрізняють сучки з темною, тобто мертвою, серцевиною та зі світлою серцевиною.

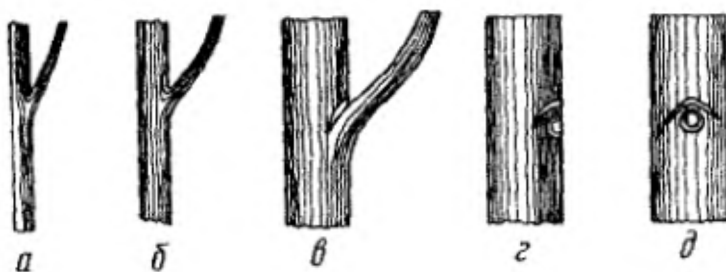


Рисунок 5 - Схема утворення вусів брівки та ранової плями:

а-в – збільшення діаметра гілки і закладення вусів брівки; г-д – утворення ранової плями після опадіння сучка

Відмерлий сучок під час рубання дерева вже був мертвим і тому на всьому своєму перерізі не має заболоні і є ядром або ядровим суком (кол. Таблиця 1, в і рис. 5). Такий сучок зазвичай темно забарвлений, аж до чорного кольору (біля

берези, бука та інших листяних порід). У спелодревесних порід ядровий сучок має стиглу, тобто світлозабарвлену, деревину. Ядровий (відмерлий) сучок просочений смолою, дубильними та ядровими барвниками; ступінь цієї просоченості і інтенсивність забарвлення вище, ніж у ядрової деревини

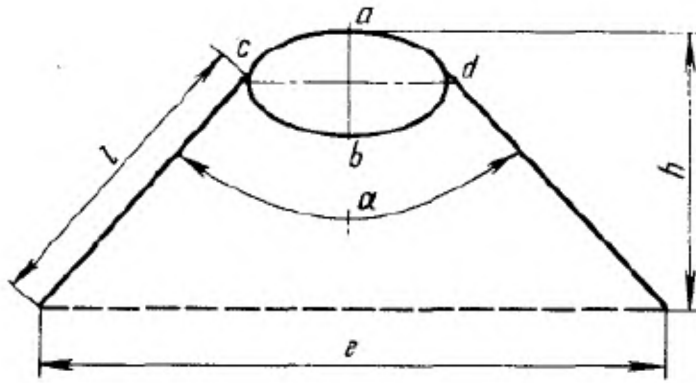


Рисунок 6 - Елементи брівки та ранової плями:

ab – висота, або поздовжній діаметр, cd – ширина, або поперечний діаметр, ранової плями; h – висота; e – ширина брівки; l – довжина вуса брівки

виклинюються.

Класифікація сучків за фізіологічним станом необхідна щодо процесів ядроутворення і виникнення ядерної стовбурової гнилі у зв'язку з очищенням стовбура від сучків.

Класифікація сучків за ступеню заростання. Елементи зарослого сучка

Після відмирання сучка починається процес його заростання, який протікає шляхом відкладення річних шарів збільшується в діаметрі дерева на пеньок, що залишився від сучка. Тривалість заростання сучка залежить від його діаметра та довжини пенька. У хвойних порід, сучки яких після відмирання просочуються смолою і тривалий час зберігаються без опадіння, процес заростання сучків може тривати десятки років.

За ступенем заростання сучки діляться на відкриті та зарослі. Пеньок відкритого сучка, що стирчить, не повністю закритий напливами річних шарів стовбура, виступає з них на різну довжину або видно в западині напливу, що змикається (Рисунок 7, Рисунок 8). Відкриті відмерлі сучки разом із живими відносяться до зовнішніх сучок.

стовбура, що примикає. На дереві цей сучок представлений у вигляді уламка чи мертвої гілки. У спеціальних пиломатеріалах розрізняють ядровий сучок з човником (Рисунок 6), коли ядро, темне забарвлення або просмолена зона поширюються від сучка в обидві сторони вздовж волокон у вигляді смуг (променів), що

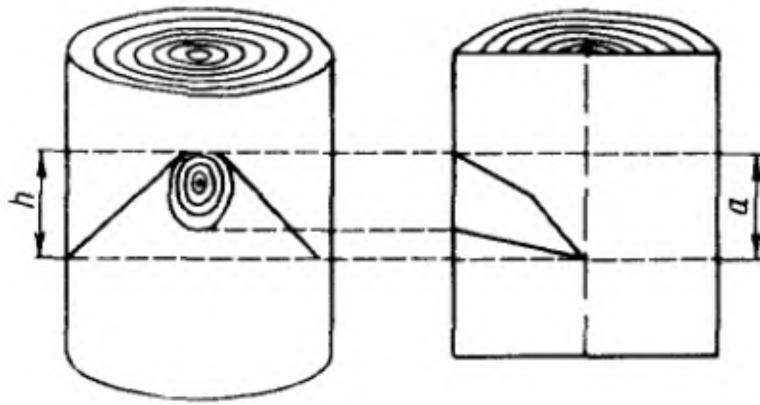


Рисунок 7 - Визначення розміру частини стовбура a , що включає живий сучок, що стирчить (розмір a дорівнює висоті брівки h)

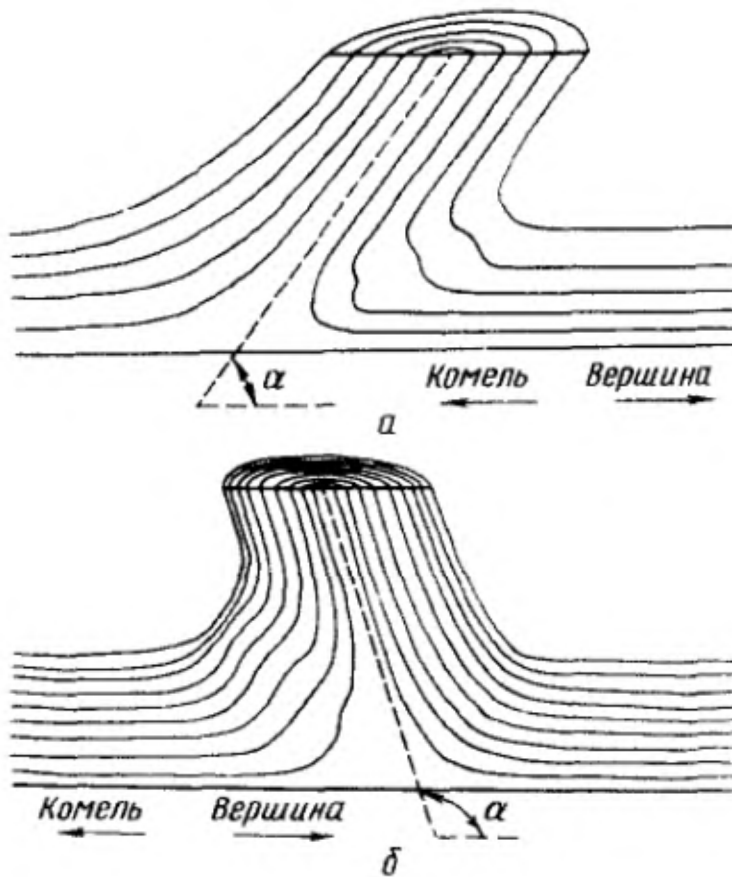


Рисунок 8 - Визначення кута прикріплення сучків α

a – гострого; $б$ – тупого.

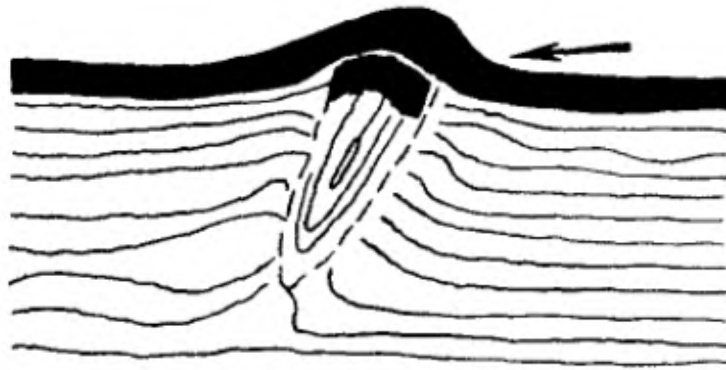
на 1 см від поверхні стовбура або круглого сортименту, і впізнається по брівці або шраму (раневій плямі).

Зарослі сучки діляться на поверхнево та глибоко зарослі.

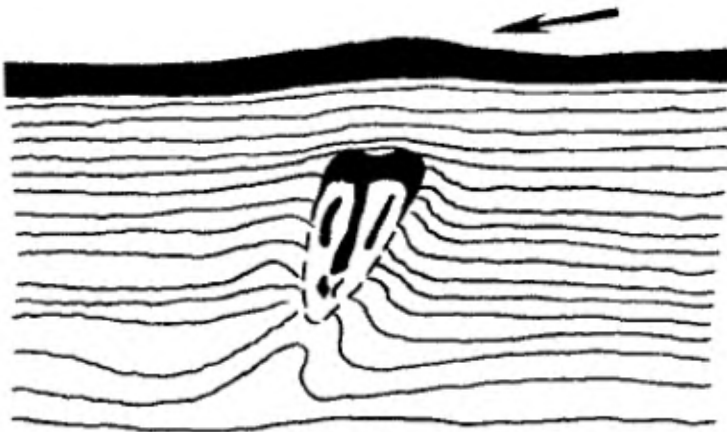
Поверхнево зарослий сучок закритий одним або декількома зовнішніми річними шарами стовбура (Рисунок 9).

Глибина залягання вершини такого сучка не перевищує 1 см. Часто такий сучок буває прикритий желвакоподібним або іншої форми здуттям на стовбурі і тому називається запливним (рис. 10). У сосни мутовки поверхнево зарослих сучків іноді зумовлюють вузлуватість стовбура, яку можна віднести до вад форми стовбура.

Глибоко зарослий сучок має вершину, розташовану глибше ніж



а



б

Рисунок 9 - Розтин (стесування) жовна із запливними сучками:

а — доцільно, оскільки оголюється сучковий пеньок і встановлюється його стан: б — недоцільно, оскільки сучковий пеньок не оголюється (Kivgge. Schute. 1966)

Зарослі сучки відносяться до внутрішніх сучок і утворюють приховану сучкуватість стовбура.

Залежно від наявності сучків, що відрізняються за ступенем заростання, стовбур по довжині можна розділити на три зони: нижню I, де є глибоко зарослі (зазвичай дрібніші) сучки (Рисунок 2, I), середню II, де розташовуються

переважно відкриті (що стирчать) мертві сучки (Рисунок 2, II), та зону живої крони III (Рисунок

2, III). Найбільш цінна, безсучкова деревина розташована в периферичних шарах нижньої (комлевої) зони стовбура.

У зарослого сучка (Рисунок 3) можна розрізнити зрощену і незрощену частини: у багатьох випадках у зарослих сучків виділяється також і частково зросла частина. Місце на зарослому сучці, в якому відбулося відмирання камбію гілки, тобто місце, де проходить межа між частинами сучка, що зрослася і незросла, називається головкою. Діаметр сучка у головки найбільший, до периферії він зменшується, перетворюючись у ряді випадків на вістря. Незросла частина заросла сучка називається шпилькою.

Периферійний кінець шпильки зветься вершини сучка. Утворення шпильки іноді супроводжується зависанням відмерлої гілки, яка протягом ряду років може перебувати у висячому положенні, не втрачаючи зв'язку з деревиною ствола. У комлевої частини ствола берези шпильку має більше половини сучків. Довжина її в середньому 25-30 мм. В окремих випадках зона шпильки збільшується до 50-60 мм. Шпильки затримують заростання сучків до 50 років.

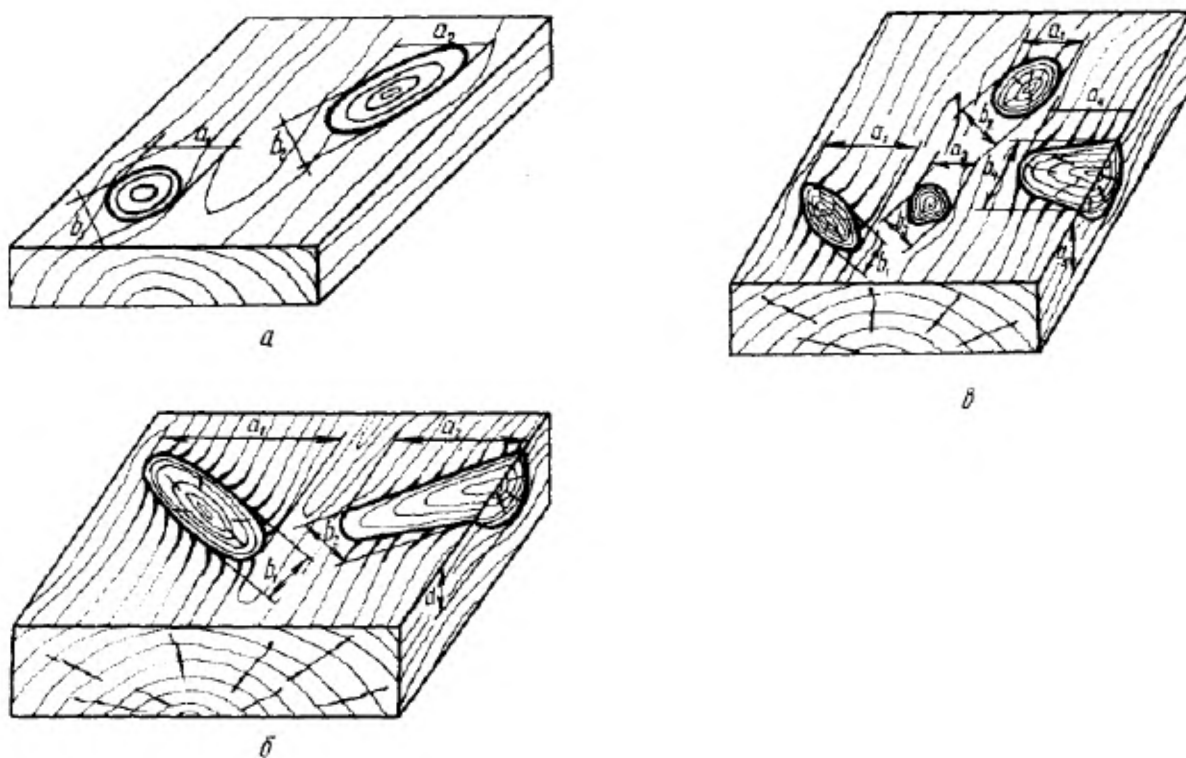


Рисунок 10 - Схема виміру сучків:

a – круглих або овальних; *б* – довгастих; *в* – групових.

Класифікація сучків за ступеню зростання

За ступенем зрощення з деревиною ствола сумки поділяються на зрощені, частково зрощені і незрощені.

Зрощеним називається сучок, річні шари якого зрослися з навколишньою деревиною протягом не менше периметра розрізу сучка. На дереві сучки, що зрослися, спостерігаються у вигляді живих або недавно

відмерлих гілок, що стирчать, що розташовуються зазвичай в зоні живої крони і безпосередньо під нею. Деревина сучка жорстка, нормальної структури.

У частково зрослого сучка (Рисунок 2) річні шари зрослися з навколишньою деревиною протягом менше $\frac{3}{4}$, але більше $\frac{1}{4}$ периметра або розрізу сучка. До частково зрослих належать сучки, що відмерли задовго до рубання дерева. При наростанні шарів у живому дереві після відмирання сучка залишок останнього обріс деревом стовбура без зрощення з нею. На дереві частково зрощені сучки спостерігаються у вигляді залишків мертвих гілок або ще незарослих слідів і отворів від обламаних мертвих гілок. Найбільше таких сучків у зоні мертвих сучків, між кроною та нижньою безсучковою частиною стовбура. Сучки, що частково зрослися, можуть бути здоровими або загнилими (див. нижче). У пиломатеріалах за відсутності часткового зв'язку в межах контуру сучка на одній поверхні сортименту цей зв'язок повинен мати місце на іншій поверхні.

У незрослого сучка річні шари не мають зрощення з навколишньою деревиною або зрослися з нею протягом менше $\frac{1}{4}$ периметрів свого розрізу. Сучок, що повністю не пов'язаний з навколишньою деревиною, називається випадającym. Зустрічається в пиломатеріалах, тесаних сортиментах, шпоні та фанері, виходить на дві поверхні сортименту, відрізняється за фарбуванням від навколишньої деревини і зазвичай зберігає нормальну структуру та твердість. Випадаючий сучок після висихання деревини легко відокремлюється, залишаючи в сортименті отвір.

Класифікація сучків за ступенем загнивання

Залежно від того, уражені чи не уражені сучки гниллю, їх можна розділити на дві групи – здорові та гнилі. До здорових відносяться сучки, що мають деревину без ознак м'якої гнилі, що зберігають нормальну структуру, твердість та фарбування. До цієї групи належать живі-заболонні або ядрово-заболонні сучки, а також відмерлі - ядрові.

Здорові сучки поділяються на світлі та темні. Світлі здорові сучки за кольором мало відрізняються від навколишньої деревини. Темні здорові сучки-сучки, деревина яких рясно просякнута смолою. дубильними та ядровими речовинами і значно темнішою за навколишню деревину і, як правило, відрізняється підвищеною твердістю.

До гнилих сучків відноситься забарвлені, загнили, власне гнилі та тютюнові. Забарвлений сучок оточений здоровою деревиною, але сам знаходиться в початковій стадії загнивання, при якій деревина сучка ще зберегла свою структуру і твердість, але місцями або протягом усього свого часу змінила нормальне забарвлення.

Сучок може бути забарвлений у світлі або темні тони або мати строкате забарвлення. У листяних без'ядрових порід сучок частіше буває чорним, але з нерівним забарвленням – зі світлими вицвітами.

Загнилий (пухкий) сучок оточений здоровою деревиною, зберігає свою форму, але місцями знаходиться в другій стадії гниття, при якій деревина втрачає початкову будову та розм'якшується. Такі розм'якшені ділянки займають до площі розрізу сучка і проходять не на всю його глибину. Колір гнилої частини такого сучка буває різним - часто сірим, сірувато-бурым, іноді з вкрапленням чорних або білих плям, смужок та ліній. До загнилих сучок відноситься чорний смолевий сучок хвойних порід, коли чорна смолиста маса густо просочила вершину відмерлого зарослого в стовбурі сучка і прилеглу прорість. До цієї ж категорії сучків відносяться і чорні сучки листяних порід, що крихаються.

Гнилий сучок – сучок, що повністю або частково розклався до такого ступеня, що деревина його втратила нормальну структуру і твердість, легко руйнується руками, іноді має дупло, але навколишня сучок деревина цілком здорова. Гнилина в деревині сучка може бути бурою, строкатою, білою або брудно-сірого кольору. На частку гнилі припадає площа більша за поверхню сучка. Більшість гнилих сучків розташовується у нижній частині зони мертвих сучків.

Загнилі і гнилі сучки утворюються в основному під впливом сапрофітів грибів безпосередньо в процесі очищення стовбура від сучків. Зовнішня частина таких сучків є своєрідною раною, і дерево, активно реагуючи на неї, ізолює здорову частину сучка шляхом виділення особливих антисептичних речовин. У зв'язку з цим гнилою зазвичай виявляється лише вершинна частина сучка. Інфекційні початки таких сучків, як правило, не проявляють себе після заростання сучків та входження їх у глибокі шари стовбурової деревини.

Тютюновий сучок – сучок, що зовсім розклався і перетворився на буру або білу масу, що розсипається в порошок при розтиранні пальцями. У стовбурі і в круглому сортименті тютюнові сучки зазвичай пов'язані з ядровою гниллю стовбура і є зовнішньою її ознакою. Лише в периферійних (заболонних) дошках і в шпоні тютюнові сучки можуть спостерігатися серед здорової деревини, але й у цьому випадку сучок буває оточений засмолком чи місцевим ядром. Тютюнові сучки зустрічаються в середній і іноді в нижній частині стовбурів, уражених ядровою гниллю, на тій же висоті, на якій розташовуються і плодови тіла дереворуйнівного гриба.

Тютюнові сучки виникають значно пізніше, ніж гнили і гнили, вже після очищення стовбура від сучків. Їх розвиток пов'язаний із процесом деструкції деревини, що відбувається під впливом грибів, що знаходяться на стадії плодоношення.

Класифікація сучків за формі розрізу і положення у сортименті

Форма розрізу сучка на поверхні сортименту визначається кутом розрізу по відношенню до поздовжньої осі сучка. Розрізняють сучки поперечні та поздовжні. Поперечні сучки зустрічаються всіх сортиментах. Вони виявляються при поперечному перерізанні сучків на тангентальній поверхні у вигляді ділянок деревини круглої або овальної форми із самостійною системою річних шарів. До поперечних відносяться круглі та овальні сучки. Круглі сучки — сучки, розрізані таким чином, що відношення більшого діаметра до меншого не перевищує 2. Овальні сучки—сучки, розрізані таким

чином, що відношення більшого до меншого діаметру більше 2, але не більше 4.

До поздовжніх відносяться сучки, що спостерігаються на радіальній поверхні сортиментів у вигляді смуг, що утворюються самостійними річними шарами. До них відносяться довгасті, зшивні та розгалужені сучки. Довгастим називається сучок, розрізаний таким чином, що відношення більшого діаметра до меншого більше 4. Довгастий сучок, поздовжній переріз якого виходить одночасно на два ребра однієї і тієї ж сторони сортименту, називається зшивним. У пиломатеріалах хвойних порід зустрічаються парні розгалужені сучки у вигляді двох симетрично розташованих щодо серцевини та виклинюються до неї смуг сильновитягнутих овалів.

По положенню в сортименті сучки класифікуються на пласт е-ві-сучки, що виходять на пласть (Рисунок 4, а), кромкові - сучки, що виходять на край (Рисунок 4, б), реброві - сучки, що виходять на ребро (Рисунок 4, в). Крім того, у пиломатеріалах розрізняють сучки наскрізні, що виходять на обидві пласти (сторони), і ненаскрізні, що виходять на один бік (пласть або на край).

Вплив сучків на якість деревини

Найчастіше сучки надають негативний впливом геть якість деревини. Підвищена їх щільність у поєднанні з викликаним сучками викривленням річних шарів у зоні присучкової порушує однорідність деревини і погіршує загалом її механічні властивості. Наявність сучків ускладнює механічну обробку деревини, сприяє нерівномірному зношуванню, призводить до збільшення витрати деревини у зв'язку зі створенням необхідного запасу міцності, а також зменшує вихід заготовок з пиломатеріалів.

Вплив сучків на якість деревини та ступінь зниження її сортності залежить від призначення та розмірів сортименту, виду та різновиду сучків, абсолютних та відносних їх розмірів, кількості та місця розташування у сортименті (деталі). За інших рівних умов найменш негативний вплив на механічні властивості деревини мають дрібні здорові та зрощені сучки, а

найбільше — великі гнілі сучки, сучки, що виходять на край або близько до неї розташовані, а також зшивні та розгалужені.

Найбільше впливають сучки на міцність деревини при розтягуванні вздовж волокон. При опорі деревини згинальним зусиллям (статичний вигин) найбільший негативний вплив мають сучки, розташовані в зоні розтягування деталі, особливо якщо сучок виходить на розтягнуту кромку. Вплив сучків у стиснутій зоні значно менший. Вплив сучків на міцність деревини при стисканні вздовж волокон значно менше, ніж при розтягуванні та згинанні. При стисканні поперек волокон і поздовжньому сколюванню міцність сучків збільшується.

Сучки, що частково зрослися і особливо незрослі, порушуючи цілісність сортименту, знижують міцність деревини більше, ніж зрощені.

Вплив загнилих, гнилих та тютюнових сучків у хвойних та ядрових листяних порід (дуба, каштана, ільма, в'яза, береста, ясена та ін.) має оцінюватися як вплив переважно механічний, тому що при зберіганні деревини цих порід та при її службі у будівельних та іншого роду конструкціях гнилизна від таких сучків зазвичай не поширюється на навколишню деревину сортименту або деталі (виняток можуть представляти ялицеві сортименти). Тому в стандартах на сортименти хвойних і ядрових листяних порід загнилі, гнілі та тютюнові сучки слід обмежувати такою самою мірою, як і випадають.

У листяних без'ядерних порід (берези, осики, бука, липи, вільхи, клена) загнилі, гнілі та тютюнові сучки можуть поширювати грибну інфекцію на навколишню деревину, якщо сортименти довго зберігаються в непросушеному вигляді. Загнилі, гнілі та тютюнові сучки в сортиментах з деревини без'ядрових листяних порід повинні допускатися з більшими обмеженнями, ніж сучки тверді, що випадають, якщо зазначені сортименти не будуть піддаватися штучному сушінню.

Тютюнові сучки в круглих сортиментах зазвичай супроводжуються прихованою ядровою гниллю стовбура. У разі придатність сортименту оцінюється насамперед за розмірами гнілі.

Глазки, особливо групові, у малих сортиментах березової деревини знижують її міцність при статичному вигині та опір ударному вигину, якщо перебувають у небезпечному перерізі розтягнутої зони. Однак глазки майже не відбиваються на міцності деревини при стисканні та сколюванні, а групові глазки в цьому випадку навіть підвищують міцність деревини.

Скупчення будь-яких сучків в одному поперечному перерізі сортименту або на короткій ділянці його довжини дуже негативно впливає на міцність деревини. Сильно впливають на якість деревини також пасинки, тобто сучки, що розташовуються під дуже гострим кутом до осі стовбура і відносяться найчастіше до категорії дуже великих, тому в лісоматеріалах хвойних та листяних порід вищих сортів такі сучки не допускаються.

В окремих випадках сучки сприяють підвищенню якості деревини як оздоблювального матеріалу. Красива текстура часто створюється завдяки вічкам. Характерний для порід з каламутним розташуванням сучків малюнок деревини при вмілому підборі матеріалу дозволяє отримати особливий декоративний ефект, який використовується при обробці меблів та інтер'єрів.

Вимір і облік сучків

Ступінь розвитку сучків у сортименті (сучковатість сортименту) визначається розмірами, якістю та числом сучків на одиницю довжини або площі сортименту, а також місцем та характером розташування сучків. Основні правила вимірювання та обліку сучків у сортиментах такі:

1. Розміри сучків виражають або в абсолютних величинах (міліметрах), або у відносних - у частках розмірів сторін сортименту, на які вони виходять, з підрахунком кількості на 1 м довжини або на весь сортимент.

2. Розмір сучка у круглих сортиментах визначають за його найменшим діаметром. Присучковий наплив розмір сучка не включають.

3. Розміри сучків у пиломатеріалах визначають одним із двох способів:

а) по відстані між дотичними до контуру сучка, проведеними паралельно ребрам сортименту;

б) за найменшим діаметром перерізу сучка.

4. Сучки круглі та овальні вимірюють за способом *a* (розміри a_1 і a_2 або b_1 , b_2 на Рисунок 10, а).

5. Сучки довгасті та розгалужені вимірюють: 1) за способом *a* по відстані між ребром і дотичної до контуру сучка, проведеної паралельно ребру, з вимірюванням на тій стороні сортименту, куди виходить поперечний переріз сучка (Рисунок 10, б, розмір d); вимірювання довгастих сучків допускається, крім того, по відстані між дотичними, контуру сучка, проведеними паралельно ребрам сортименту (Рисунок 10, б, розмір a_1), або по відстані між ребром і дотичної до контуру сучка, проведеної паралельно ребру, з вимірюванням на тій стороні сортименту, куди виходить поздовжнє переріз сучка (див. Рисунок 10, б, розмір a_2); 2) за способом *b* (див. Рисунок 10, б розміри b_1 і b_2).

Для розгалужених сучків допускається вимір за сумою розмірів складових сучків (див. Рисунок 10, б) з виміром кожного з них за способом, що відповідає його різновиду:

$$S_a = a_1 + a_2 \text{ і } S_b = b_1 + b_2$$

6. Сучки реброві вимірюють: 1) за схемою на Рисунок 10, в: по відстані між ребром і дотичної до контуру сучка, проведеної паралельно ребру (розміри a_4 і a_5); 2) за протяжністю на ребрі (Рисунок 10, в, розмір b_4).

7. Сучки групові (див. Рисунок 10, в) вимірюють сумою розмірів усіх сучків, що виходять на один бік, з виміром кожного сучка за способом, що відповідає його різновиду:

$$S_a = a_1 + a_2 + a_3 + a_4$$

$$S_b = b_1 + b_2 + b_3 + b_4$$

8. У лущеному шпоні та клеєній фанері за розмір сучка приймають найбільший його діаметр.

9. Розкидані та групові очі враховують у пиломатеріалах, заготовках, шпоні та фанері спеціального призначення (пиломатеріалах та заготовках авіаційних, ложових, шпоні акумуляторному, авіафанері). У пиломатеріалах і заготовках вічка вимірюють у міліметрах, а у шпоні та фанері враховують

лише темні вічка, вимірюючи їх найбільший діаметр у міліметрах та відстань між ними.

Групові очі вимірюють по ширині і довжині займаної ними зони і кількості в штуках: в пилопродукції - на 1 м довжини або всієї сторони сортименту; у шпоні-на 1 м² або всієї площі листа.

10. Сучки, що частково зрослися і випадають, а також гнилі та тютюнові враховують у загальній кількості допустимих зрощених сучків або ж понад це число.

11. По довжині сортименту можна розрізнити розташування сучків: рівномірне, нерівномірне, наприклад у вершинній частині сортименту, у нижній якій зоні сортименту і т. д. Можна визначати і найменшу відстань між сучками, обмежувати суму розмірів сучків, що знаходяться в одному поперечному перерізі сортименту або на деякому невеликому відрізку довжини, що дорівнює або кратному ширині сортименту.

12. Допускається спрощена характеристика розмірів сучків шляхом віднесення їх до тих чи інших умовних категорій: голчасті, або шпильки, розміром менше 5 мм, олівцеві, 5-10 мм, дрібні, 11-15 мм, середні, 16-25 мм, великі, 26-50 мм, дуже великі, понад 50 мм.

13. Розмір пасинка визначають за найменшим діаметром перерізу, а в пиломатеріалах, крім того, і вимірюванням відстані між двома дотичними до контуру розрізу пасинка, проведеними паралельно осі сортименту, в міліметрах або частках ширини (товщини) сортименту і довжини - в сантиметрах або частках довжини сортименту.

Сучки – одна з істотних вад деревини природного походження. Вплив сучка на міцність деревини обумовлений переважно двома факторами:

1) ослабленням, яке виробляє сучок, що володіє зниженим опором (вздовж волокон) деревини, що оточує його, і до того ж слабо пов'язаний з цією деревиною (частково зрощені, незрості і випадаючі сучки);

2) відхиленням волокон деревини у сучка, що утворює місцеву косослу.

Особливо значно знижують несучу здатність розтягнутих елементів, розташовані на кромках сучки, викликаючи появу ослаблення поперечного перерізу. Наявність сучка в стиснутій зоні елементів, що згинаються, позначається на їх міцності меншою мірою у зв'язку з істотним опором стиску самого сучка і меншим впливом нахилу волокон присучкової косошарової деревини при стисканні.

Як правило, руйнування елементів конструкцій часто відбувається за найбільш ослабленими ділянками.

Проблему підвищення міцності деревини вирішують шляхом видалення неприпустимих вад деревини з подальшим склеюванням дощок.

Найчастіше використовується з'єднання елементів на зубчастий стик. Невелика довжина стику (25-50 мм) дозволяє з'єднати відрізки дощок довжиною від 250 мм, що дасть можливість використовувати якісні короткомірні відходи та сприяє підвищенню сортності пиломатеріалів.

Однак руйнування зразків починається частіше у розтягнутих зубчастих з'єднаннях. Проведений аналіз результатів випробувань на вигин 300 клеєних елементів натурних розмірів показав, що 52 % балок зруйнувалися за зубчастими сполуками, 28 % - за природними вадами, 20 % - за чистою деревиною.

Проведені останнім часом випробування балок показали, що в умовах масового виробництва основним місцем руйнування є зубчасті з'єднання (близько 50 %), а також сучки в шарах розтягнутої зони конструкцій.

Таким чином, наявність сучків або зубчастих з'єднань у найбільш напружених шарах розтягнутої зони клеєних елементів, що згинаються, призводить, як правило, до їх руйнування саме за цими послабленнями.

Для зниження впливу сучка та зубчастого стику було запропоновано підкріплювати дерев'яні елементи сталевими.

Перші розробки та дослідження армованих клеєних дерев'яних конструкцій провів Х. Гранхольм (Швеція). З'єднання арматури з деревиною у

цих конструкціях виконувалося за допомогою епоксидних та фенолоформальдегідних клеїв.

Розвиток армованих дерев'яних конструкцій йде у двох напрямках: використання звичайної арматури та попередньо напруженої арматури. Перший спосіб армування знаходить ширше застосування, оскільки дає позитивний ефект при невеликих трудовитратах і капіталовкладень у спеціальне технологічне обладнання. Крім поздовжнього армування поширене поперечне та поздовжньо-поперечне армування для забезпечення надійності при опорних перерізах конструкцій проти сколювання та розколювання.

У роботах В.Ю. Щуко, О.О. Смирнова виявлено, що оптимальним вважається армування дерев'яних перерізів не більше 1,5—3,5 % площі перерізу, при цьому арматура може приймати від 30 до 80 % діючих зусиль у перерізі армованої конструкції. В армованих балках при тривалій експлуатації відбувається зміна напружень в арматурі та дереві. Внаслідок повзучості деревини відбувається перерозподіл зусиль у перерізах армованої балки. Внаслідок цього напруги в арматурі зростають з часом, а в деревині відповідно знижуються. Подібне явище, що призводить до збільшення частки участі арматури в роботі балки, загалом позитивно позначається на роботі конструкції та призводить до підвищення надійності та зменшення деформативності у часі.

Аналіз результатів раніше проведених досліджень показує, що армування дозволяє знизити вплив природних пороків (сучки) в цільнодерев'яних конструкціях (ребра каркаса плит покриття, прогони тощо) і технологічних послаблень (зубчастий стик) в розтягнутих зонах клеєних конструкціях, що несуть, на деформативно конструкцій і загалом підвищити їхню надійність проти обвалення.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПОСЛАБЛЕНЬ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ НА НАПРУЖЕНО ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН АРМОВАНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК

На першому етапі дослідження визначалася максимальна несуча здатність нормальних перерізів балок.

Найважливішим завданням при дослідженні дерев'яних конструкцій є створення розрахункових моделей на основі врахування пружно-пластичних властивостей реальної деревини. У зв'язку з цим є актуальним питання апроксимації роботи деревини аналітичними виразами, що максимально близько описують фізичну нелінійність матеріалу.

На сьогодні відомо досить багато різноманітних діаграм деформування деревини при стисканні.

Перша форма зв'язку (після закону Гука) між напруженнями і деформаціями запропонована в 1729 р. Г.Б.Бюльфінгером. Вона представляє собою ступеневий закон виду:

$$\sigma = A\varepsilon^k \quad (1)$$

де A – константа, що має розмірність напружень; k – показник ступеня (безрозмірна величина).

Постійні A і k запропоновано знаходити виходячи з рівності меж міцності та питомих енергій деформацій, що визначаються за експериментальною діаграмою та апроксимує її залежності.

Найбільшого поширення набула апроксимація роботи деревини при стисненні та розтягуванні, запропонована В. Прагером [9, 10] та Ф.П. Белянкіним [11]. Приймається, що на ділянці від $\sigma = \sigma_p^{пч}$ до $\sigma = \sigma_c^{пч}$ залежність $\sigma(\varepsilon)$ прямолінійна і $\sigma = E\varepsilon$ (пружна робота). Потім деформації зростають від ε^e до ε^c при постійній нарузі $\sigma = \sigma^c$ (пластична робота). Ця апроксимація отримала назву ідеалізованої діаграми Белянкіна-Прагера (рис.1). Вона використовувалася на роботах Ф.П. Белянкина [11, 12]. В.М. Коченова, Г.І. Дибенко, В.А. Шляпіна.

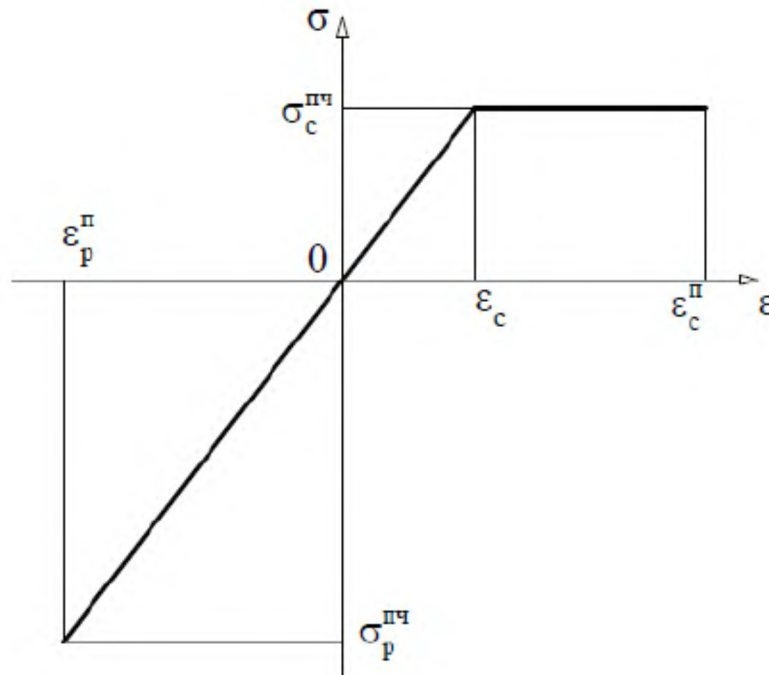


Рисунок 11 - Діаграма Белянкiна-Прагера

За результатами експериментальних досліджень побудовано наведену діаграму роботи сосни на стиск уздовж волокон (рис. 2). На ділянці діаграми від 0 до $\varphi = 0,5$ залежність має лінійний характер. За межею пропорційності, прийнятою рівною $0,5\sigma_{тч}$, рівняння криволінійної частини діаграми отримано у такому вигляді

$$\varphi = 0,00203x^4 + 0,0322x^3 + 0,233x^2 + 0,889x - 0,620 \quad (2)$$

де $x = 1000\varepsilon$.

Д.О. Кочетков для ділянки наведеної діаграми від $\varepsilon = 0,2\%$ до $\varepsilon = 0,5\%$ підібрав рівняння

$$\sigma = 1200\sqrt{\varepsilon - \varepsilon^2} - 280 \quad (3)$$

В.В. Биковим використаний поліном третього ступеня

$$\varphi = A_1\varepsilon + A_2\varepsilon^2 + A_3\varepsilon^3 \quad (4)$$

Поліном другого ступеня використаний В.Г. Ленновим для апроксимації наведеної гранично низької діаграми стиснення вздовж волокон деревини сосни

$$\varphi = A_1\varepsilon - A_2\varepsilon^2 = 0,3394\varepsilon - 0,0462\varepsilon^2 \quad (5)$$

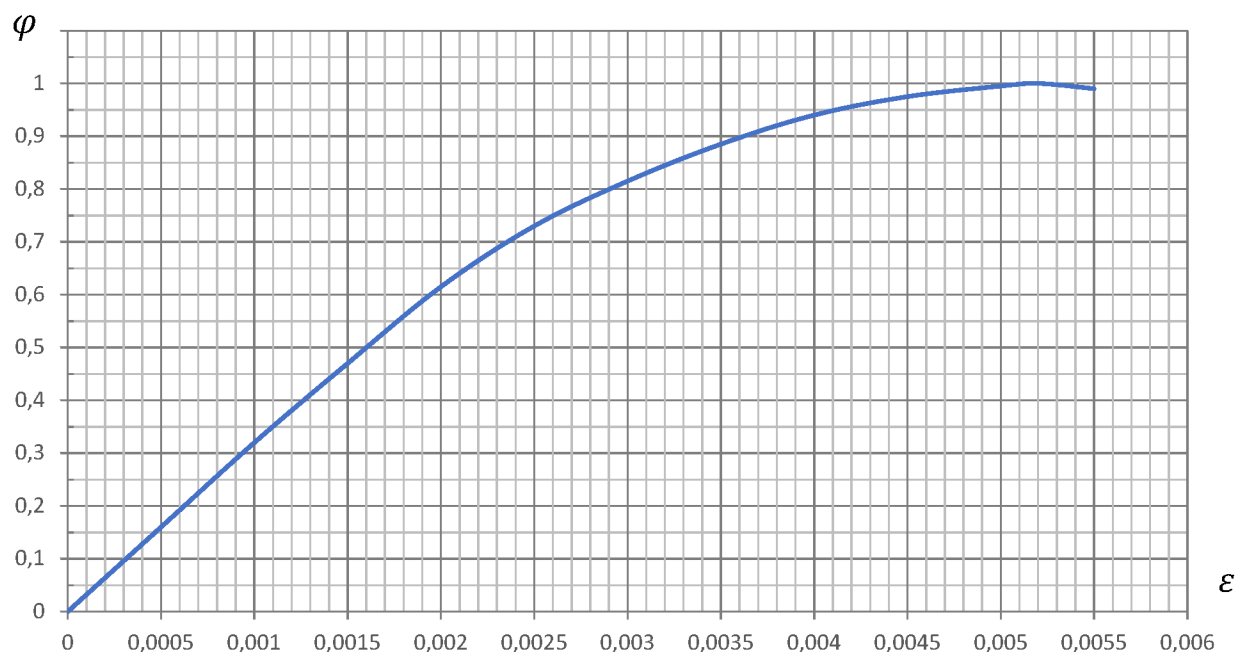


Рисунок 12 - Приведена діаграма стиску сосни О.Б. Губенка

Рівняння квадратної параболи були використані у роботах В.В. Пінаджана та А.М. Іванова.

П.А. Лукаш та А. Улінен [13] запропонували апроксимацію за допомогою кубічної параболи

$$\sigma = A_1 \varepsilon - A_2 \varepsilon^3 \quad (6)$$

У роботі Н. Хоффа вказується, що рівняння

$$\frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = \frac{\sigma}{\sigma_0} + \alpha^* \left(\frac{\sigma}{\sigma_0} \right)^n \quad (7)$$

може становити залежність «напруга-деформація» всім конструкційних матеріалів. Г.Е. Бельський, використовуючи дане рівняння і знайшовши по експериментальній діаграмі стиснення деревини сосни значення постійних, отримав апроксимуючий вираз у наступному вигляді:

$$\frac{\varepsilon}{0,0032} = \frac{\sigma}{322} + 0,719 \left(\frac{\sigma}{322} \right)^{12,07} \quad (8)$$

І.С. Воронюк задає апроксимуючу функцію для діаграм розтягування та стиснення деревини сосни, запозичених із робіт А.В. Губенка та А.І. Рабіновича наступними рівняннями:

$$\varphi = 333\varepsilon \text{ (розтяг)} \quad (9)$$

$$\varphi = 385\varepsilon - 2,14 \times 10^4 \varepsilon^{1,895} \text{ (стиск)} \quad (10)$$

Параметри рівняння (10) підбрані з умови збігу експериментальних точок теоретичної та дослідної кривих та рівності площ діаграм деформацій в інтервалі $0 < \varepsilon < 5,5 \times 10^{-3}$.

А.Г. Рафаїлов пропонує систему апроксимуючих функцій:

$$\sigma = A_0 \varepsilon^{\sum_{i=1}^N A_i \lg^{i-1} \varepsilon} \quad (11)$$

Проведені автором дослідження показали, що для апроксимації нелінійної ділянки діаграми практично всіх конструкційних матеріалів достатньо обмежитися двома-трьома членами ряду (11), при цьому відхилення від кривої деформування не перевищує 1-3%.

К.П. П'ятикрестовський вважає, що діаграму деформування деревини доцільно апроксимувати параболічною залежністю Ф.І. Герстнера

$$\sigma = E_0 \varepsilon - \frac{E_0^2}{4\sigma_{ls}} \varepsilon^2 \quad (12)$$

де σ , ε – поточні значення напружень та відносних деформацій; E_0 – миттєвий початковий модуль деформацій; σ_{ls} – короткочасна межа міцності.

Аналіз пропозицій щодо апроксимації експериментальних діаграм роботи деревини показує, що у ряді випадків аналітичні функції мають суттєві недоліки. Так, наприклад, деякі з них добре апроксимують дослідні криві лише у певних областях деформування, інші викликають труднощі їх використання через свою складність. Узагальнення та порівняльної оцінки придатності тієї чи іншої функції для апроксимації роботи деревини не проводилося.

У роботі О.А. Труля для оцінки ступеня згладжування між досвідченими даними та даними, знайденими за рівнянням, перехвалюється обчислювати «кореляційне відношення»

$$\bar{\eta} = \sqrt{1 - \frac{\sum \Delta^2}{\sum \alpha^2}} \quad (13)$$

де $\Delta = \sigma_{\text{сер}} - \sigma_{\text{апр}}$ – відхилення значень напружень усередненої діаграми від відповідних (для заданого ε) по апроксимуючому рівнянню: $\alpha = \sigma_{\text{сер}} - M$ – центральне відхилення; $M = \frac{\sum \sigma_{\text{сер}}}{n}$ – середнє арифметичне значення напружень за експериментальною діаграмою.

Після відповідної обробки експериментальних діаграм для кожного зразка була отримана діаграма в координатах «напруження-відносні деформації» (Рисунок 13). Усі діаграми мають спадаючу ділянку. Середня межа міцності деревини сосни склав 67,1 МПа

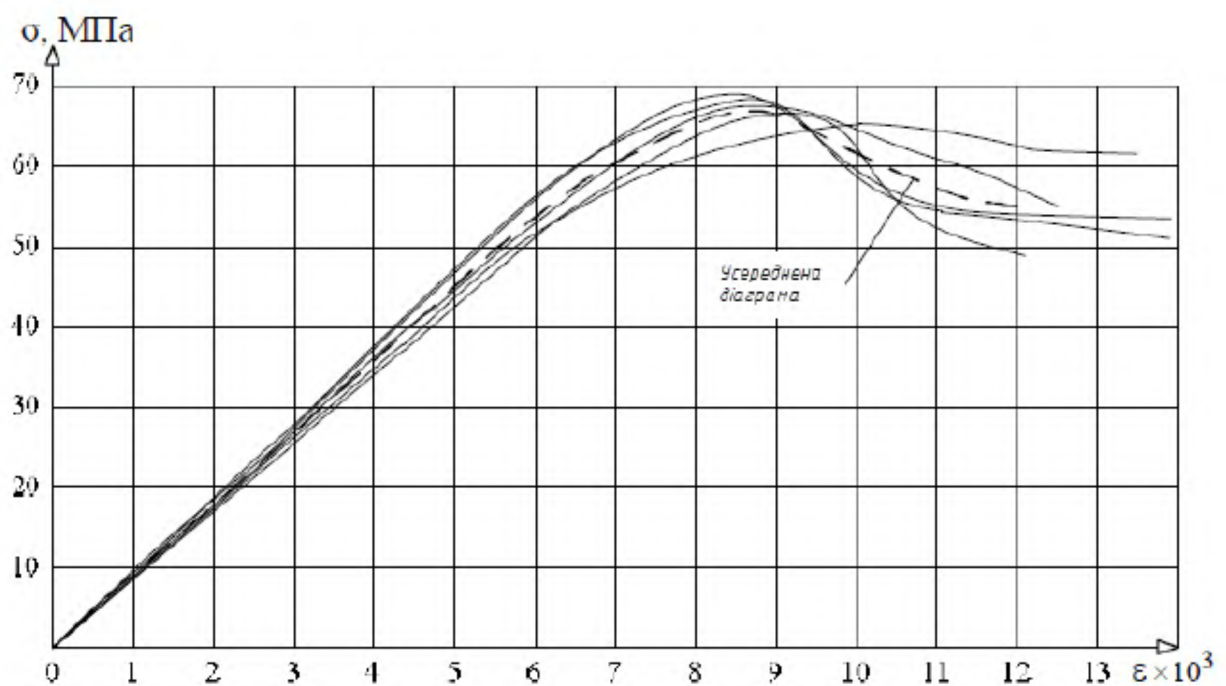


Рисунок 13 - Експериментальні і усереднена діаграми стиску сосни

На підставі експериментальних діаграм була отримана усереднена діаграма стиску сосни. Значення напруження усередненої діаграми є середніми арифметичними напружень, знайдених за вихідними діаграмами для відповідних значень відносних деформацій.

Для апроксимації усередненої діаграми роботи деревини на стиск скористаємося такими виразами:

$$\sigma = A_1 \varepsilon + A_2 \varepsilon^2 \quad (14)$$

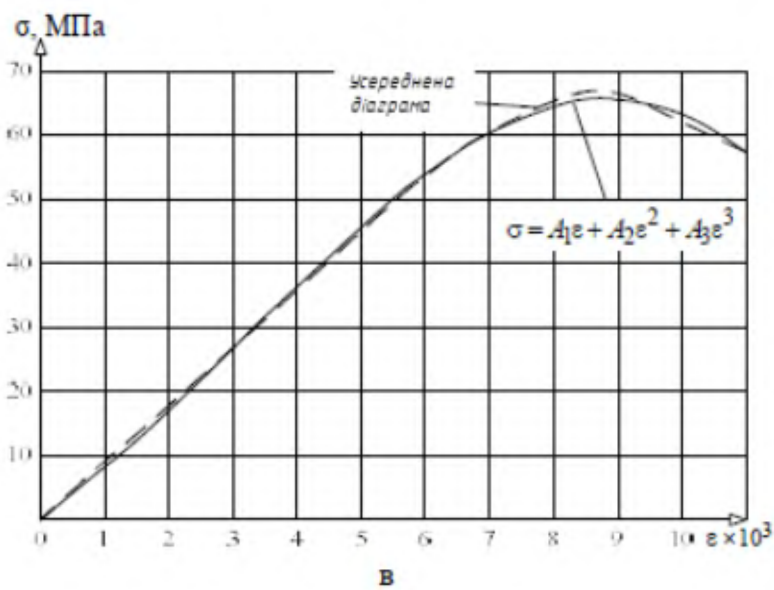
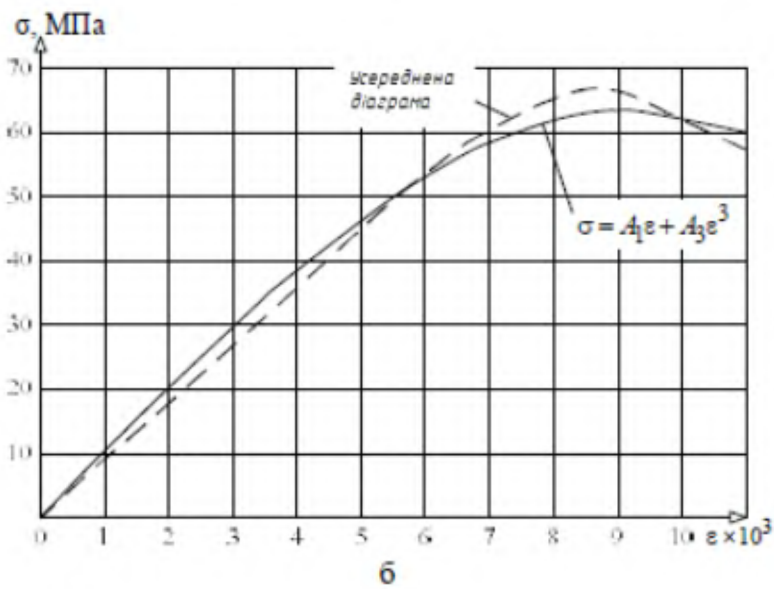
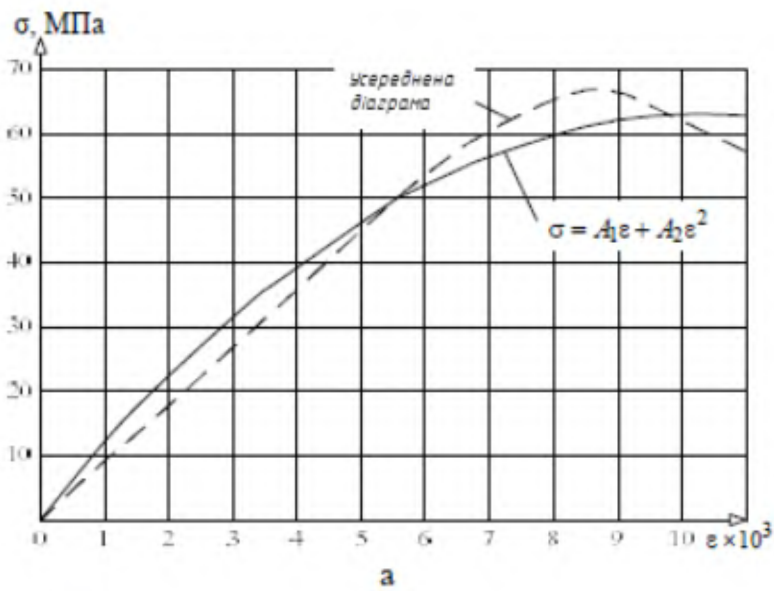


Рисунок 14 - Апроксимуючі діаграми, побудовані за аналітичними виразами: а - (14), б - (15), в - (16), а також усереднена діаграма

$$\sigma = A_1\varepsilon + A_3\varepsilon^3 \quad (15)$$

$$\sigma = A_1\varepsilon + A_2\varepsilon^2 + A_3\varepsilon^3 \quad (16)$$

Параметри A_1 , A_2 та A_3 легко знайти за допомогою методу найменших квадратів, відповідно до якого сума квадратів відхилень експериментальних даних від ймовірних середніх значень знайдених за апроксимуючим рівнянням буде найменшою.

Результати обчислення коефіцієнтів та значень показника кореляції η представлені в таблиці.

На Рисунок 14 представлені апроксимуючі діаграми, побудовані за аналітичними виразами (14)-(16). а також середня діаграма.

Таблиця 3 - Результати апроксимації

	A_1	A_2	A_3	$\bar{\eta} = \sqrt{1 - \frac{\sum \Delta^2}{\sum \alpha^2}}$
$\sigma = A_1\varepsilon + A_2\varepsilon^2$	12187	-587319	--	0,979
$\sigma = A_1\varepsilon + A_3\varepsilon^3$	10296	--	-40072970	0,993
$\sigma = A_1\varepsilon + A_2\varepsilon^2 + A_3\varepsilon^3$	7132	886105	-96578196	0,999

Найбільший ступінь близькості між дослідними та обчисленими за рівняннями даними дає вираз (16), для якого $\bar{\eta} = 0,999$ (у межі $\bar{\eta} = 1$). Рівняння (15) також дає хорошу збіжність з експериментальними даними і є більш простим, ніж рівняння (16).

Вирази (15) і (16) апроксимують спадаючу ділянку діаграми, що відображає реальну роботу деревини на стиск перед руйнуванням і в момент вичерпання несучої здатності. Таким чином, обидва вирази можуть бути використані у розрахункових моделях дерев'яних елементів.

Таким чином для апроксимації роботи деревини при стисканні рекомендується для використання в розрахункових моделях дерев'яних елементів поліном третього ступеня.

Зазвичай же для розрахунку дерев'яних конструкцій використовують спрощені інженерні моделі розрахунку, які описуються у нормативних

документах. Розглянемо для прикладу розрахунок дощатоклеєної армованої балки прольотом $L = 6$ м. Розрахункове навантаження по довжині балки $q = 12$ кН/м. Ширина балки $b = 120$ мм. Висота перерізу балки $h = 10 \times 40$ мм = 400 мм. Для виготовлення дощатоклеєної балки використовуємо однакову деревину для усіх шарів класом Т14 (С24), що відповідає для клеєної деревини відповідно таблиці 3 [14] класу GL24h. Балка армована в розтягнутій зоні 2-ма стержнями арматури класу А400 діаметром $\varnothing 10$ мм.

Максимальний розрахунковий згинальний момент

$$M_d = \frac{qL^2}{8} = \frac{12 \cdot 6^2}{8} = 54 \text{ кН} \cdot \text{м} = 5400 \text{ кН} \cdot \text{см}$$

Максимальна розрахункова поперечна сила

$$Q_d = \frac{qL}{2} = \frac{12 \cdot 6}{2} = 36 \text{ кН}$$

Відповідно таблиці Б.1 [17] характеристичні значення міцності для однорідної клеєної деревини класу GL24h $f_{m,g,k} = 24$ МПа – міцність при згині; $f_{t,0,g,k} = 16,5$ МПа, $f_{t,90,g,k} = 0,4$ МПа – міцність при розтягу відповідно вздовж і поперек волокон деревини; $f_{c,0,g,k} = 24$ МПа, $f_{c,90,g,k} = 2,7$ МПа – міцність при стиску відповідно вздовж і поперек волокон деревини; $f_{v,g,k} = 2,7$ МПа – міцність при сколюванні; $E_{0,g,mean} = 11600$ МПа – модуль пружності деревини вздовж волокон; $E_{90,g,mean} = 390$ МПа – модуль пружності деревини поперек волокон; $G_{g,mean} = 720$ МПа – модуль зсуву.

Розрахункові значення міцності клеєної деревини визначаємо відповідно формули (6.1) [17], а жорсткості відповідно формул (6.2) і (6.3) [17]:

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

k_{mod} – коефіцієнт перетворення, що враховує тривалість дії навантаження та температурно-вологісні умови експлуатації, приймається за таблицею А.1 [17]

γ_M – коефіцієнт надійності за матеріалом, приймається за таблицею 6.1 [17].

$$E_d = \frac{E_{mean}}{\gamma_M}$$

$$G_d = \frac{G_{mean}}{\gamma_M}$$

Відповідно для клеєної деревини приймаємо $\gamma_M = 1,25$. При призначенні конструкції експлуатаційного класу 2 приймаємо $k_{mod} = 0,6$.

Розрахункова міцність при згині:

$$f_{m,g,d} = 0,6 \frac{24 \text{ МПа}}{1,25} = 11,52 \text{ МПа}$$

Розрахункова міцність при розтягу

$$f_{t,0,g,d} = 0,6 \frac{16,5 \text{ МПа}}{1,25} = 7,92 \text{ МПа}$$

$$f_{t,90,g,d} = 0,6 \frac{0,4 \text{ МПа}}{1,25} = 0,192 \text{ МПа}$$

Розрахункова міцність при стиску

$$f_{c,0,g,d} = 0,6 \frac{24 \text{ МПа}}{1,25} = 11,52 \text{ МПа}$$

$$f_{c,90,g,d} = 0,6 \frac{2,7 \text{ МПа}}{1,25} = 1,296 \text{ МПа}$$

Розрахункова міцність при сколюванні

$$f_{v,g,d} = 0,6 \frac{2,7 \text{ МПа}}{1,25} = 1,296 \text{ МПа}$$

Розрахунковий модуль пружності деревини вздовж волокон

$$E_{0,g,d} = \frac{11600 \text{ МПа}}{1,25} = 9280 \text{ МПа}$$

Розрахунковий модуль пружності деревини поперек волокон

$$E_{90,g,d} = \frac{390 \text{ МПа}}{1,25} = 312 \text{ МПа}$$

Розрахунковий модуль зсуву

$$G_{g,d} = \frac{720 \text{ МПа}}{1,25} = 576 \text{ МПа}$$

Площа поперечного перерізу балки

$$A_w = b \cdot h = 12 \cdot 40 = 480 \text{ см}^2$$

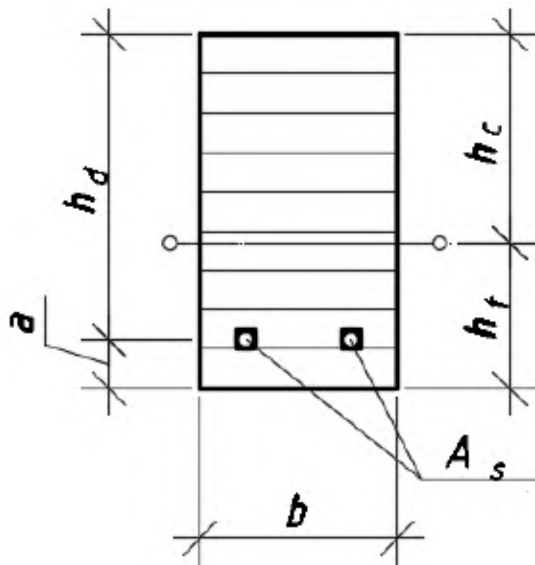


Рисунок 15 - Поперечний переріз армованої балки

Площа 2-х стержнів арматури $\varnothing 10$ мм складає $A_y = 1,57 \text{ см}^2$

Розрахунок виконується із приведених характеристик перерізу, для чого визначаємо процент армування конструкції:

$$\mu = \frac{A_y}{A_w} 100 = \frac{1,57}{480} \cdot 100 = 0,33 \%$$

Модуль пружності арматурної сталі $E_y = 210000 \text{ Мпа}$

Відношення модулів пружності арматури і деревини:

$$n_y = \frac{E_y}{E_{0,g,d}} = \frac{210000}{9280} = 22,6$$

Приведений момент інерції при армуванні тільки в розтягнутій зоні визначаємо за формулою:

$$I_{ew,inst} = I_w + A_w \left(\frac{h_c}{2} - h_t \right)^2 + A_y n_y (h_t - a)^2$$

Положення нейтральної осі визначається за методом будівельної механіки

Спочатку визначаємо статичний момент відносно нижньої грані перерізу:

$$S'_w = A_w \cdot \frac{h}{2} = 480 \cdot \frac{40}{2} = 9600 \text{ см}^3$$

$$S'_y = A_y \cdot a \cdot n_y = 1,57 \cdot 4,5 \cdot 22,6 = 159,7 \text{ см}^3$$

$$h_t = \frac{S'_w + S'_y}{A_w + A_y \cdot n_y} = \frac{9600 + 159,7}{480 + 1,57 \cdot 22,6} = 18,9 \text{ см}$$

$$h_c = h - h_t = 40 - 18,6 = 21,1 \text{ см}$$

$$I_w = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{12 \cdot 40^3}{12} = 64000 \text{ см}^4$$

$$I_{ew,inst} = 64000 + 480 \cdot \left(\frac{21,1}{2} - 18,9 \right)^2 + 1,57 \cdot 22,6 \cdot (18,9 - 4,5)^2$$

$$= 104824 \text{ см}^4$$

$$W_{ew,inst} = \frac{I_{ew,inst}}{h_c} = \frac{104824}{21,1} = 4968 \text{ см}^3$$

Перевіряємо прийнятий переріз по максимальним нормальним напруженням в середині прольоту:

$$\sigma = \frac{M_d}{W_{ew,inst}} = \frac{5400}{4968} = 1,09 \text{ кН/см}^2 = 10,9 \text{ МПа} < f_{m,g,d} = 11,52 \text{ МПа}$$

Дотичні напруження перевіряються за формулою

$$\tau = \frac{Q_d S_{ew,inst}}{I_{ew,inst} b}$$

$$S_{ew,inst} = b \cdot \frac{h_c^2}{2} = 12 \cdot \frac{21,1^2}{2} = 2671 \text{ см}^3$$

$$\tau = \frac{36 \cdot 2671}{104824 \cdot 11,5} = 0,08 \text{ кН/см}^2 = 0,8 \text{ МПа} < f_{v,g,d} = 1,296 \text{ МПа}$$

Умови виконуються, тобто прийнятий переріз дощатоклеєної армованої балки витримує прикладене до неї навантаження. Окрім міцності перевіримо і деформативність балки за формулою:

$$u = \frac{5}{384} \cdot \frac{q_k L^4}{E_{0,g,d} I_{ew,inst}} = \frac{5}{384} \cdot \frac{0,1 \cdot 600^4}{928 \cdot 104824} = 1,73 \text{ см}$$

Відносна деформація

$$\frac{u}{L} = \frac{1,73}{600} \approx \frac{1}{346} < \left[\frac{u}{L} \right] = \frac{1}{250}$$

Умова деформативності також виконується.

Наступним кроком дослідження створимо математичну модель, яка буде описувати напружено-деформований стан армованої дощатоклеєної балки, яка за параметрами (геометричні розміри і фізичні властивості матеріалів) буде відповідати розрахованій балці.

Для моделювання використовуємо програмний комплекс Лира-САПР 2016. Моделювання балки виконуємо об'ємними скінченими елементами, як деревину, так і арматуру.

Для всіх елементів, які моделювали деревину, задавалися фізичні характеристики та жорсткість матеріалів з урахуванням їх ортотропності, напрямом головних осей яких показано на Рисунок 16.



Рисунок 16 - Напрямок головних осей в дерев'яному елементі

На початковому етапі виконувався розрахунок без урахування армування балки. Для деревини класу міцності Т14(С24) характеристики наведені в Таблиця 4 і прийняті згідно з діючими нормами. Відсутні значення коефіцієнта Пуассона ν_{xy} для деревини прийнятий з наукової роботи Глухих В.Н. і Черних А.Г.

Таблиця 4 - Характеристики деревини, що використовуються при розрахунку

Назва характеристики	Позначення	Одиниці виміру	Значення
Щільність	ρ	кг/м ³	350
Модуль пружності X	E_x	кН/см ²	1100
Модуль пружності Y	E_y	кН/см ²	37
Модуль пружності Z	E_z	кН/см ²	37
Коефіцієнт Пуассона XY	ν_{xy}	-	0.018
Коефіцієнт Пуассона YZ	ν_{yz}	-	0.3
Коефіцієнт Пуассона XZ	ν_{xz}	-	0.018

Назва характеристики	Позначення	Одиниці виміру	Значення
Модуль зсуву XY	G_{xy}	кН/см ²	69
Модуль зсуву YZ	G_{yz}	кН/см ²	7
Модуль зсуву XZ	G_{xz}	кН/см ²	7

Моделювання конструкції виконуємо об'ємними скінченими елементами. Розмір елемента приймемо 20×40×50 мм. Жорсткість об'ємних елементів задаємо з урахуванням ортотропії матеріалу різним в трьох напрямках дії зусиль.

Завантажуємо модель балки рівномірно розподіленим навантаженням по верхній грані балки. Інтенсивність навантаження приймаємо еквівалентною навантаженню, прийнятому в аналітичному розрахунку, тобто $q = 12 \text{ кН/м}$. Оскільки ширина балки прийнята 120 мм, то для визначення інтенсивності навантаження необхідно рівномірно розподілене навантаження по довжині поділити на ширину балки. В такому випадку отримаємо $q = \frac{12}{0,12} = 100 \text{ кН/м}^2$. В програмному комплексі навантаження прикладаємо до грані скінченого елемента.

Задля визначення ефективності армування дощатоклеєних балок перше виконаємо розрахунок без армування балки. Причому в таблицю жорсткостей задаємо одразу усі необхідні жорсткості і таблиця жорсткостей прийме вигляд:

Таблиця 5 - Таблиця жорсткостей

Тип жорсткості	Ім'я	Параметри
1#	3D (дерево 1 сорт)	E1=1600, E2=53, E3=53, Ro=4.6e-006
		G12=100, G13=10, G23=100
		V12=0.018, V21=0.018, V13=0.3
		V31=0.3, V23=0.018, V32=0.018
4#	3D (дерево 2 сорт)	E1=1100, E2=37, E3=37, Ro=3.5e-006
		G12=69, G13=6.9, G23=69
		V12=0.018, V21=0.018, V13=0.3
		V31=0.3, V23=0.018, V32=0.018
5#	3D (дерево 3 сорт)	E1=700, E2=23, E3=23, Ro=2.9e-006
		G12=44, G13=4.4, G23=44
		V12=0.018, V21=0.018, V13=0.3
		V31=0.3, V23=0.018, V32=0.018
6#	3D (дерево експеримент)	E1=1130, E2=90.3, E3=174, Ro=3.5e-006
		G12=100.5, G13=8.2, G23=65.3
		V12=0.306, V21=0.306, V13=0.504
		V31=0.504, V23=0.306, V32=0.306
8	3D (сталь)	E=21000, V=0.25, Ro=7e-005

Отже розрахункова схема буде мати вигляд, зазначений на Рисунок 17.

Затримане 1

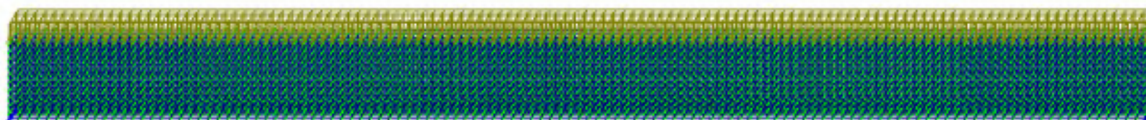


Рисунок 17 - Розрахункова схема балки

Усі вузли на лівій опорі балки закріплюємо від переміщення вдовж осей X, Y, Z і від повороту навколо осей uX, uZ, а на правій опорі те саме, окрім

переміщення вздовж осі X. При розрахунку визначимо переміщення вузлів розрахункової схеми і напруження в її елементах.

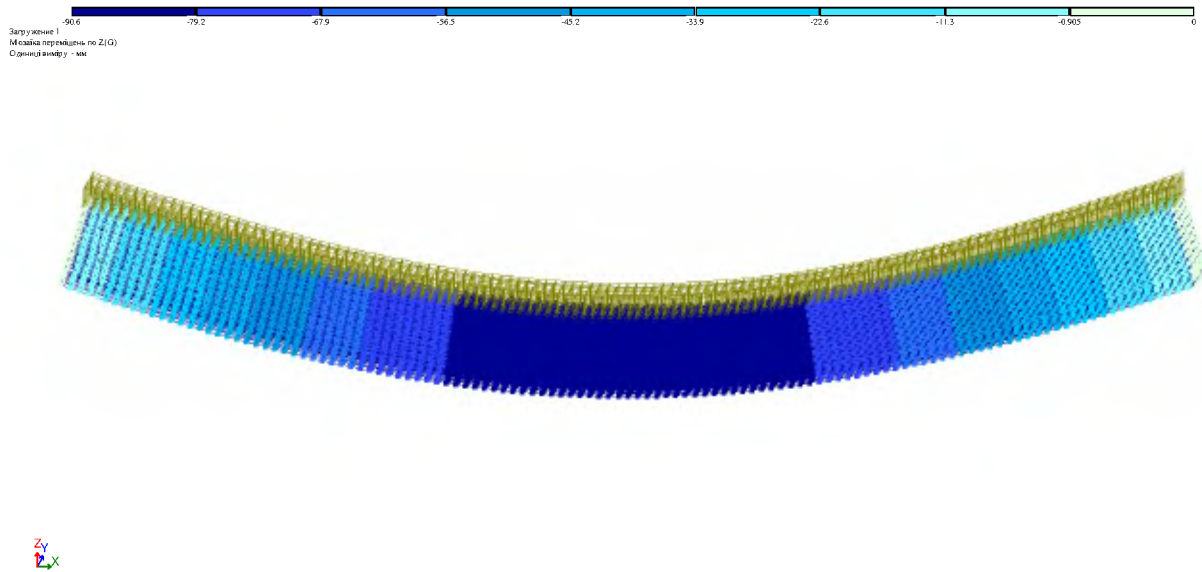


Рисунок 18 - Мозаїка деформацій вузлів неармованої балки

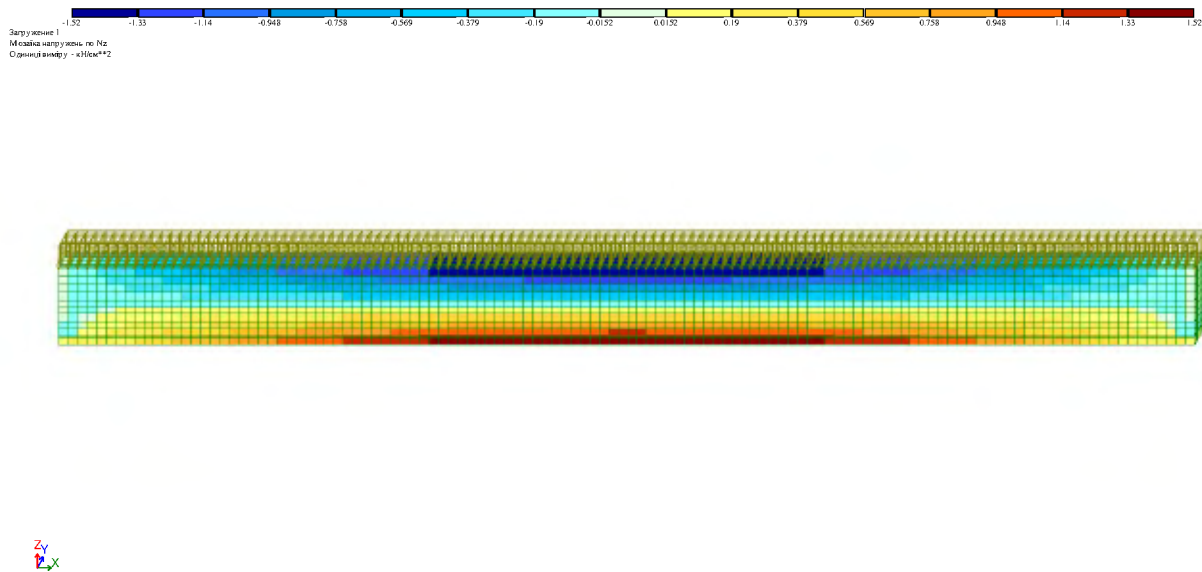


Рисунок 19 - Ізополя нормальних напружень неармованої балки

Із розрахунку визначено, що найбільші вертикальні переміщення наявні в середині балки і складають 90,5 мм. При цьому максимальні нормальні напруження також виникають в середині балки і складають:

- розтяг $\sigma_t = 1,52 \text{ кН/см}^2$
- стиск $\sigma_c = -1,52 \text{ кН/см}^2$

Як видно із результатів розрахунку – нейтральна вісь проходить посередині перерізу балки.

Наступним кроком введемо в розрахункову схему елементи, що будуть моделювати арматуру. Розрахунок будемо виконувати у припущенні, що деформації деревини і сталі будуть сумісними і однаковими.

Розміри елементів, що будуть моделювати арматурні стержні визначаємо виходячи із еквівалентної площі. Тобто, якщо площа одного стержня арматури $\varnothing 10$ мм має площу $A_y = 0,789 \text{ см}^2$, то для отримання еквівалентної площі потрібен елемент квадратного перерізу зі стороною $b = \sqrt{0,789} \approx 0,9 \text{ см}$.

Переріз розрахункової схеми із зазначенням жорсткостей елементів буде мати вигляд, зазначений на

Затручене 1

Z
L_y

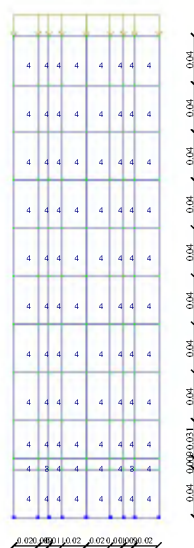


Рисунок 20 - Поперечний переріз розрахункової схеми

При виконанні розрахунку з тими самими умовами закріплення і тими самими навантаженнями отримаємо також переміщення вузлів і напруження в найбільш розтягнутих і найбільш стиснутих зонах балки.

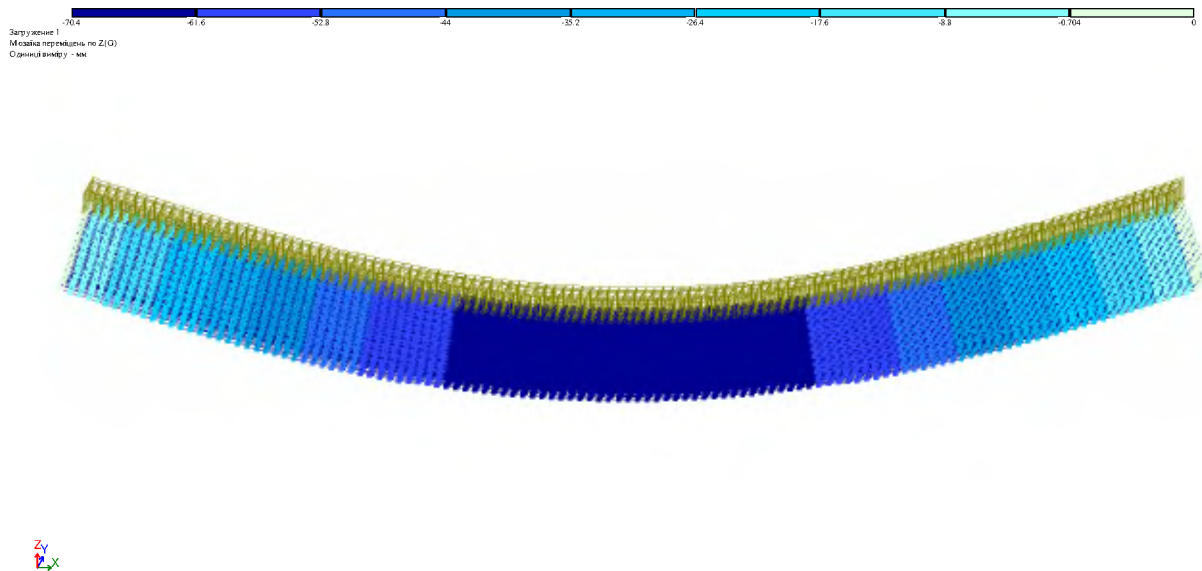


Рисунок 21 - Мозаїка деформацій вузлів армованої балки

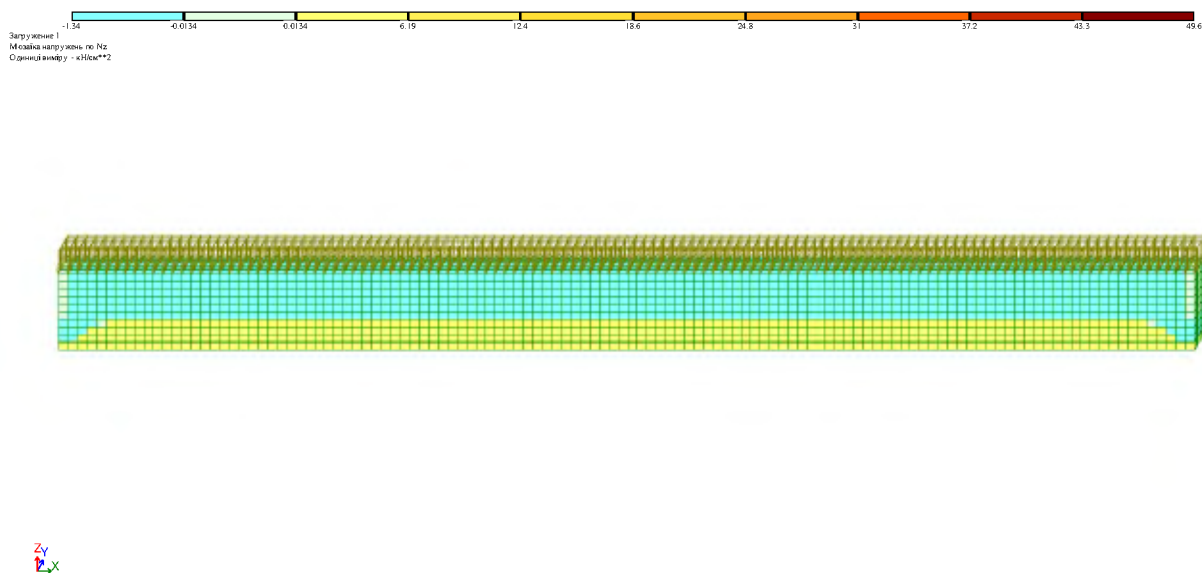


Рисунок 22 - Ізополя нормальних напружень армованої балки

Із розрахунку визначено, що найбільші вертикальні переміщення наявні в середині балки і складають 70,4 мм. При цьому максимальні нормальні напруження також виникають в середині балки і складають:

- розтяг $\sigma_t = 1,01 \text{ кН/см}^2$
- стиск $\sigma_c = -1,33 \text{ кН/см}^2$

При аналізі можна визначити, що при армуванні балки двома стержнями арматури Ø10 класу А400 деформації зменшилися на 22%, напруження стиску

знизилися на 13%, а розтягу навіть на 34%, що найбільш вагомо при врахуванні гіршої роботи деревини на розтяг.

Наступним кроком змодельовано наявність вад деревини (сучків) в деревині балки шляхом видалення окремих елементів розрахункової схеми. Однак для описання більш наближеної до справжньої роботи балки, необхідно змінити жорсткісні характеристики деревини до ідеальної. За ідеальну приймемо деревину класу С50, для якої приймемо характеристики відповідно [17], зазначені в Таблиця 6

Таблиця 6 -Характеристики деревини класу С50, що використовуються при розрахунку

Назва характеристики	Позначення	Одиниці виміру	Значення
Щільність	ρ	кг/м ³	460
Модуль пружності X	E_x	кН/см ²	1600
Модуль пружності Y	E_y	кН/см ²	53
Модуль пружності Z	E_z	кН/см ²	53
Коефіцієнт Пуассона XY	ν_{xy}	-	0.018
Коефіцієнт Пуассона YZ	ν_{yz}	-	0.3
Коефіцієнт Пуассона XZ	ν_{xz}	-	0.018
Модуль зсуву XY	G_{xy}	кН/см ²	100
Модуль зсуву YZ	G_{yz}	кН/см ²	10
Модуль зсуву XZ	G_{xz}	кН/см ²	100

Відповідно до вимог [16] для другого сорту деревини сумарний діаметр сучків на довжині 20 см пиломатеріалів не повинен перевищувати 1/3 ширини пиломатеріалу. Тобто для ширини 120 мм сумарна ширина сучків не повинна перевищувати 40 мм. При врахуванні круглої форма сучків, їх площа буде складати:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 4^2}{4} = 12,6 \text{ см}^2$$

Площа одного елемента розрахункової схеми по пласті складає 10 см², що є близьким до необхідної. Таким чином можна видаляти в кожному шарі 1 елемент через три.

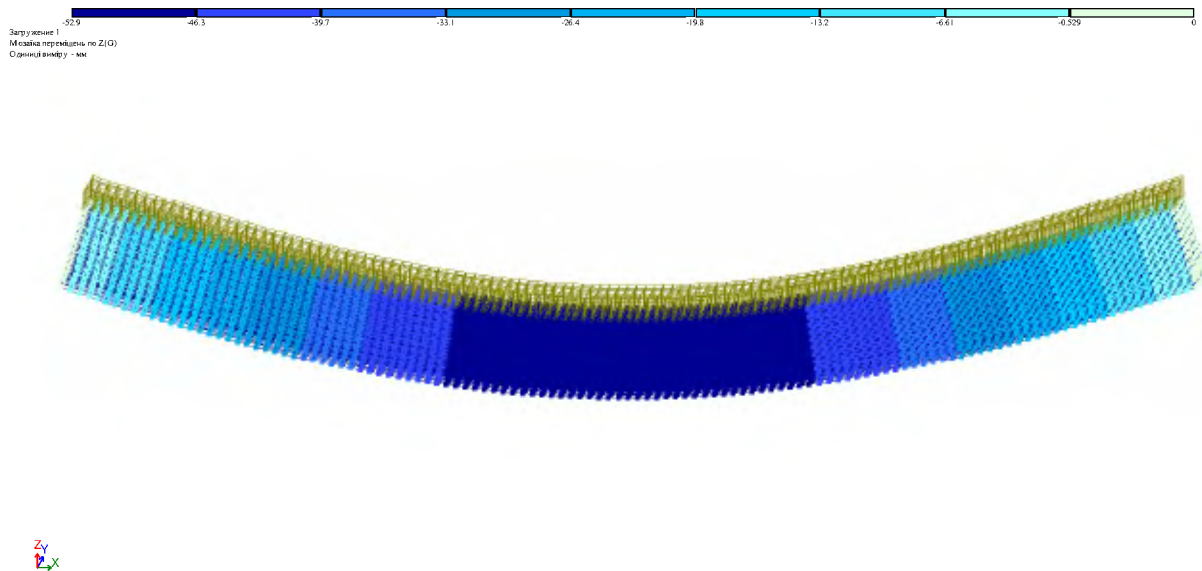


Рисунок 23 - Мозаїка деформацій вузлів армованої балки при моделюванні 2-го сорту шляхом видалення окремих елементів

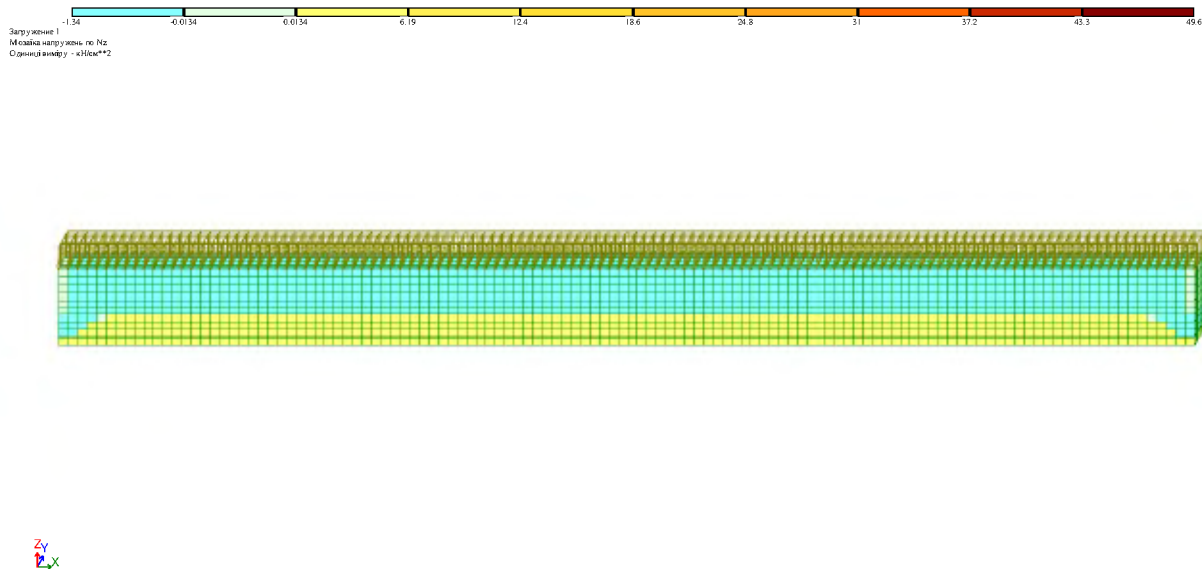


Рисунок 24 - Ізополі нормальних напружень армованої балки при моделюванні 2-го сорту шляхом видалення окремих елементів

Із розрахунку визначено, що найбільші вертикальні переміщення наявні в середині балки і складають 52,9 мм. При цьому максимальні нормальні напруження також виникають в середині балки і складають:

- розтяг $\sigma_t = 1,12 \text{ кН/см}^2$
- стиск $\sigma_c = -1,41 \text{ кН/см}^2$

Видно, що деформація балки дещо зменшується, а напруження в розтягнутій та стиснутій зоні дещо збільшилися в порівнянні з попереднім варіантом моделювання армованої балки. Це можна пояснити занадто зконцентрованим послабленням сучками в порівнянні з реальним, а також виключенням сучків із роботи стислої зони, хоча невинюючи сучки реально включаються в роботу і сприймають долю навантаження. Тобто для спрощення складання розрахункової схеми з достатнім ступенем точності можна використовувати характеристики жорсткості для деревини другого сорту.

Наступним кроком перевіримо можливість використання деревини третього сорту в розтягнутій зоні армованої балки. Третій сорт відповідає класу деревини С14 з наступними характеристиками

Таблиця 7 -Характеристики деревини класу С50, що використовуються при розрахунку

Назва характеристики	Позначення	Одиниці виміру	Значення
Щільність	ρ	кг/м ³	290
Модуль пружності X	E_x	кН/см ²	700
Модуль пружності Y	E_y	кН/см ²	23
Модуль пружності Z	E_z	кН/см ²	23
Коефіцієнт Пуассона XY	ν_{xy}	-	0.018
Коефіцієнт Пуассона YZ	ν_{yz}	-	0.3
Коефіцієнт Пуассона XZ	ν_{xz}	-	0.018
Модуль зсуву XY	G_{xy}	кН/см ²	44
Модуль зсуву YZ	G_{yz}	кН/см ²	4
Модуль зсуву XZ	G_{xz}	кН/см ²	44

Деревину третього сорту розташовуємо виключно в розтягнутій зоні балки. Для цього попередньо виконуємо розрахунок з однаковою жорсткістю для всього перерізу армованої балки. Після цього визначаємо висоту стислої і розтягнутої зон перерізу армованої балки. При цьому жорсткість деревини, розташованої в розтягнутій зоні замінюється на жорсткість деревини класу С14.

При виконанні розрахунку з тими самими умовами закріплення і тими самими навантаженнями отримаємо також переміщення вузлів і напруження в найбільш розтягнутих і найбільш стиснутих зонах балки.

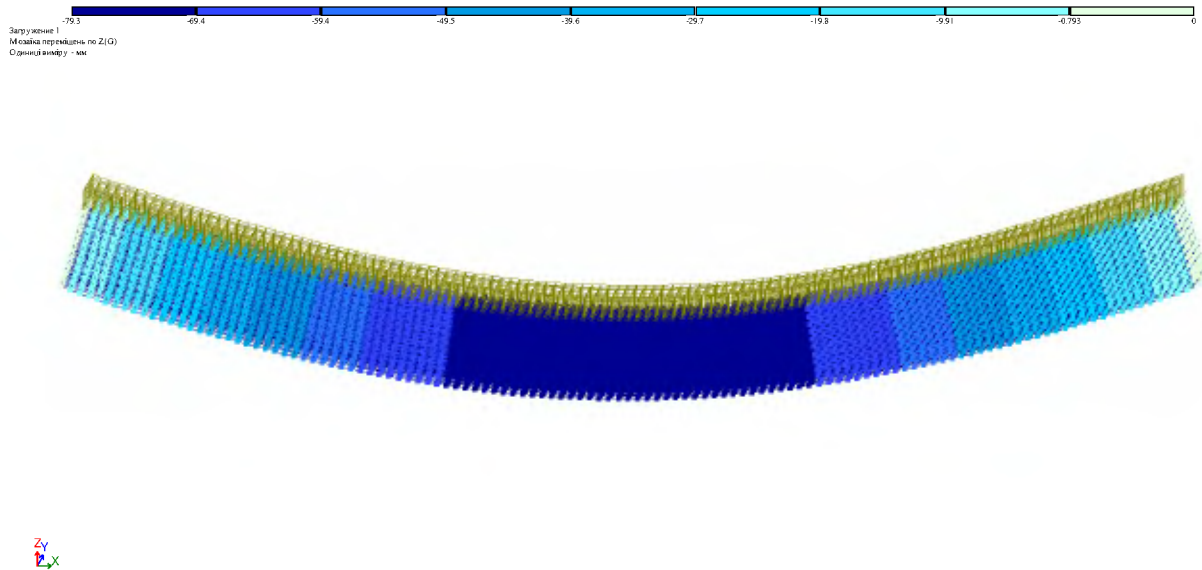


Рисунок 25 - Мозаїка деформацій вузлів армованої балки при розташуванні деревини 3-го сорту в розтягнутій зоні

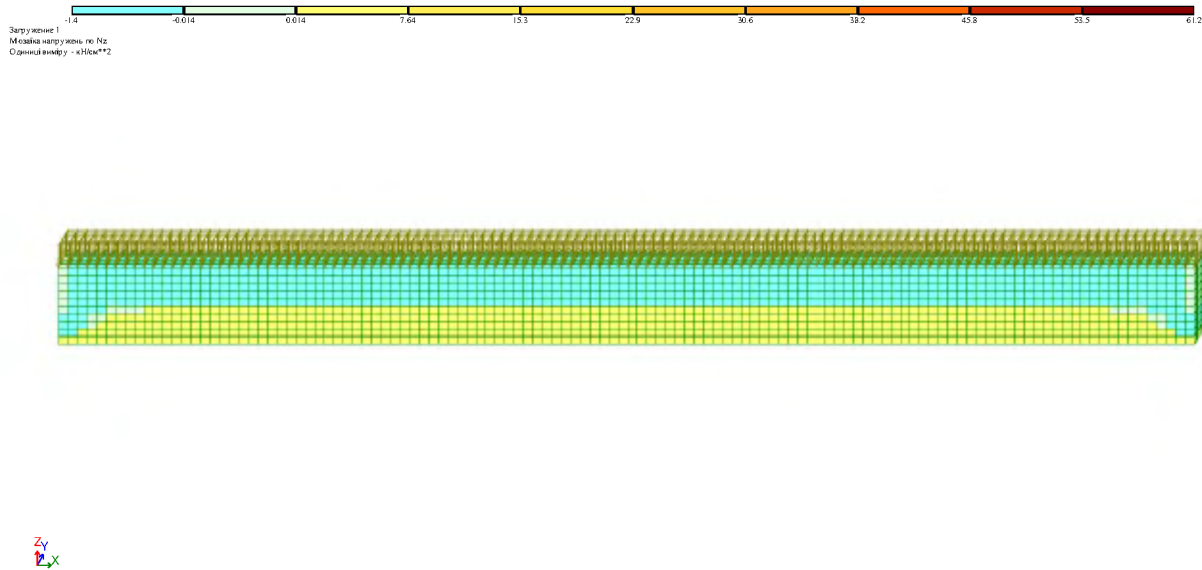


Рисунок 26 - Ізополя нормальних напружень армованої балки при розташуванні деревини 3-го сорту в розтягнутій зоні

Із розрахунку визначено, що найбільші вертикальні переміщення наявні в середині балки і складають 79,3 мм. При цьому максимальні нормальні напруження також виникають в середині балки і складають:

- розтяг $\sigma_t = 0,76 \text{ кН/см}^2$
- стиск $\sigma_c = -1,4 \text{ кН/см}^2$

Порівнюючи результати розрахунку армованої балки при використанні деревини третього сорту в розтягнутій зоні і результати розрахунку армованої балки з використанням деревини другого сорту по всьому перерізу, можна сказати, що деформація збільшилася на 12 %, напруження розтягу знизилися на 25 %, а напруження стиску збільшилися всього на 5 %.

Таким чином можна зробити висновок, що при використанні конструкції в умовах невисоких вимог до деформативності, дійсно доцільним є заміна сорту деревини в розтягнутій зоні на більш низький, що дозволяє зменшити собівартість самої конструкції.

РОЗДІЛ 4. ВИСНОВКИ

На основі виконаних досліджень можна зробити наступні висновки:

1. Використання армованих клеєних дерев'яних конструкцій дозволяє знизити деформативність конструкції, а також знизити напруження в розтягнутій і стислій зонах перерізу дерев'яного елемента.
2. Метод скінчених елементів невиправдано ускладнює процес створення розрахункової моделі для врахування пороків (сучків) в масиві деревини, тому з достатнім ступенем точності враховувати їх можна за рахунок введення відповідних фізичних характеристик матеріалу.
3. При використанні конструкції в умовах невисоких вимог до деформативності, доцільним є заміна сорту деревини в розтягнутій зоні на більш низький, що дозволяє зменшити собівартість самої конструкції.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Vorgespannte Bauteile im konstruktiven Holzbau / S. Geßner et al. *Bautechnik*. 2019. Vol. 96, no. 11. P. 800–814.
URL: <https://doi.org/10.1002/bate.201900046> (date of access: 25.06.2024).
2. Zahn J. J. Design of wood members under combined load. *Journal of structural engineering*. 1986. Vol. 112, no. 9. P. 2109–2126.
URL: [https://doi.org/10.1061/\(asce\)0733-9445\(1986\)112:9\(2109\)](https://doi.org/10.1061/(asce)0733-9445(1986)112:9(2109)) (date of access: 25.06.2024).
3. Reiterer A., Sinn G., Stanzl-Tschegg S. E. Fracture characteristics of different wood species under mode I loading perpendicular to the grain. *Materials Science and Engineering: A*. 2002. Vol. 332, no. 1-2. P. 29–36.
URL: [https://doi.org/10.1016/s0921-5093\(01\)01721-x](https://doi.org/10.1016/s0921-5093(01)01721-x) (date of access: 25.06.2024).
4. Сурмай М. І. Міцність та деформативність дощатоклеєних балок армованих склопластиковою та базальтовою арматурою : Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук. Львів, 2015. 185 с.
5. Rug W., Mönck W. *Holzbau: Bemessung und Konstruktion*. Beuth Verlag, 2015.
6. Rug W., Mönck W. *Holzbau. Bemessung und Konstruktion unter Beachtung von Eurocode 5*. Verlag Bauwesen, 2000. 368 p.
7. EN 338:2016. Structural timber - Strength classes. Replaces EN 338:2010 ; effective from 2016-04-22. Official edition. 11 p.
8. ДСТУ EN 518:2003. Лісоматеріали конструкційні сортування. Вимоги до стандартів на візуальне сортування за міцністю. На заміну Уведено вперше ; чинний від 2004-07-01. Вид. офіц. Київ : Держспоживстандарт України, 2004. 6 с.
9. Prager W. Uber die Querschnittbemessung zweigurtiger Holzholme // Z.F.M. 1933. №19. S.197-201.
10. Prager W. Ein neues Verfahren zur Bemessung auf Biegung beanspruchber Holzstabe // Schweizerische Bauzeitung. 1934. Bd.104. №18. S.201-202.

11. Белянкин Ф.П. Пластические деформации дерева при изгибе. М.: Изд-во ЦАГИ, 1936. 49 с.
12. Белянкин Ф.П. Яценко В.Ф. Прочность и деформативность деревянных стержней при центральном, внецентренном сжатии и чистом изгибе. Киев.: Изд-во АН УССР, 1960. 85 с.
13. Ylinen A. Uber die Bestimmung der zeitbedingten elastischen und Festigkeitseigenschaften des Holzes mit Hilfe eines allgemeinen nichtlinear visko-elastischen reologischen Modelles // Holz als Roh- und Werkstoff. 1965. V.23. №5. S.193-196.
14. ДСТУ EN 14080:2019(EN 14080:2013, IDT). Конструкції дерев'яні. Шарувата клеєна деревина та масивна клеєна деревина. Вимоги. На заміну Уведено вперше ; чинний від 2020-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП "УкрНДНЦ", 2019. 103 с.
15. EN 338:2016. Structural timber - Strength classes. Replaces EN 338:2010 ; effective from 2016-01-30. Official edition. Brussel : EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2016. 11 p.
16. prEN 1912:2023. Structural Timber - Strength classes - Assignment of visual grades and species. Replaces EN 1912:2012 ; effective from 2024-04-02. Official edition. Brussel : EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION, 2022. 41 p.
17. ДБН В.2.6-161:2017. Дерев'яні конструкції. Основні положення. На заміну ДБН В.2.6-161:2010 ; чинний від 2018-02-01. Вид. офіц. Київ : М-во регіон. розвитку, буд-ва та житлово-комун. госп-ва України, 2017. 111 с.
- 18.

Протокол аналізу звіту подібності науковим керівником

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: БАРБІН Олексій Вікторович

Співавтор:

Назва: Вплив поздовжніх тріщин на напружено-деформований стан дерев'яних елементів, що зазнають згин

Науковий керівник: Савченко О.С.

Підрозділ: SNAU

Коефіцієнт подібності 1: 3.8%

Коефіцієнт подібності 2: 1%

Мікропробіли: 73

Заміна букв: 1

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2024-07-22 13:29:56.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2024-07-22

Надія Бараннік

Дата

експерт



ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНІЙ УНІВЕРСИТЕТ

СЕРТИФІКАТ

засвідчує, що

БАРБІН О.

брав(ла) участь у 86-ій Міжнародній науковій конференції студентів ХНАДУ
з доповіддю на тему
“Економічний ефект впливу послаблень поперечного перерізу на
напружено деформований стан армованих дерев’яних балок”

ДЕКАН ФУБ



ІННА ШЕВЧЕНКО

8-12 квітня, 2024.
Харків, Україна

Вплив деяких видів послаблень поперечного перерізу на напружено- деформований стан армованих дерев'яних балок

Автор: БАРБІН Олексій

Керівник: к.т.н., доцент САВЧЕНКО Олександр

Мета роботи:

визначити ступінь впливу деяких видів послаблень поперечного перерізу на напружено деформований стан армованих дерев'яних балок.

Задачі досліджень:

- виконати дослідження напружено-деформованого стану армованих балок з ослабленим перерізом;
- виявити можливості застосування в армованих суцільнодерев'яних конструкціях (прогони, ребра плит покриття) деревини 3-го гатунку замість 2-го гатунку;
- провести чисельні дослідження та створити тривимірні моделі армованих дерев'яних балок, а також дослідити вплив виду послаблень на міцність та деформативність таких балок.

Об'єкт дослідження:

Армована дерев'яна балка з ослабленнями у перерізі

Предмет дослідження:

Напружено-деформований стан армованих дерев'яних балок з ослабленнями у перерізі.

Методи дослідження:

1. Фізико-математичне моделювання.
2. Методи математичної статистики.

Наукову новизну роботи складають:

- ✓ результати теоретичних досліджень роботи армованих балок з ослабленим перерізом;
- ✓ обґрунтована можливість застосування в армованих конструкціях деревини 3-го гатунку з природними та технологічними ослабленнями.

Практичне значення:

- ✓ Виявлена залежність міцності армованих дерев'яних елементів від наявності природніх послаблень;
- ✓ Запропоновано методику обліку послаблень при інженерному методі розрахунку армованих дерев'яних балок.

Вади деревини

```
graph TD; A[Вади деревини] --> B[Недоліки і послаблення, які природньо властиві деревині]; A --> C[Недоліки і послаблення, які технологічно утворюються при виготовленні];
```

Недоліки і
послаблення, які
природньо властиві
деревині

Недоліки і
послаблення, які
технологічно
утворюються при
виготовленні

Існує цілий ряд класифікацій вад деревини

- ▶ за діючими нормативами
- ▶ Класифікація вад Паншина (Panshin, De Zeeum. Brown, 1964).
- ▶ Класифікація вад Вагенфюра (Langendorf, Schuster, Wagenftihr, 1972).

Класифікація вад за діючими нормативами

- ▶ сучки,
- ▶ тріщини,
- ▶ вади форми стовбура,
- ▶ вади будови деревини,
- ▶ хімічні забарвлення,
- ▶ грибні ураження,
- ▶ пошкодження комахами,
- ▶ сторонні включення,
- ▶ дефекти, деформації.

Класифікація вад Паншина (Panshin, De Zeeuw. Brown, 1964) є однією з найбільш повних класифікацій.

Усі вади у ній поділені на такі групи:

- ▶ природні пороки, що виникають у живому дереві;
- ▶ вади, що виникають при сушінні та обробці деревини;
- ▶ вади, що викликаються грибами, комахами та деревоточцями.

Класифікація вад Вагенфюра (Langendorf, Schuster, Wagenftihr, 1972).

У цій класифікації вади деревини поділяються на такі основні групи:

- ▶ 1) ростові вади, що включають сучки, вади форми стовбура та вади будови деревини:
- ▶ 2) ушкодження, що виникають під впливом кліматичних та технічних факторів як на корені, так і в зрубаній деревині:
- ▶ 3) пошкодження деревини, що спричиняються організмами.

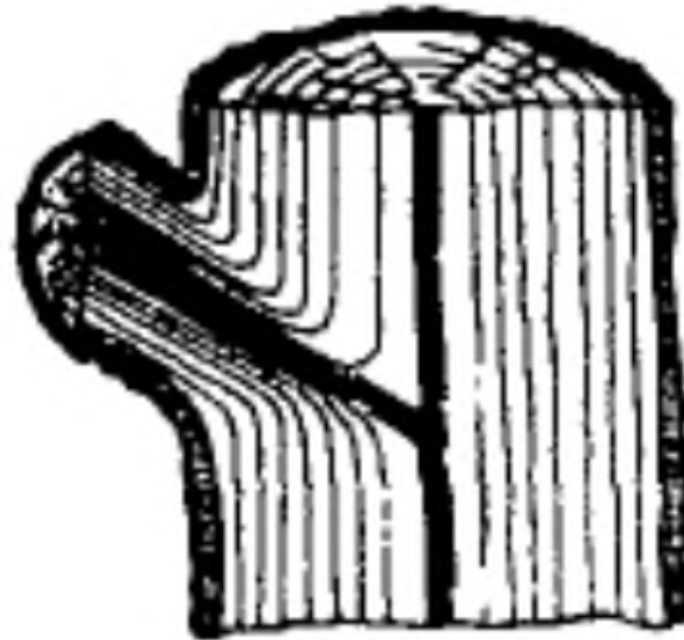
Із усіх наведених природних пороків деревини ми будемо розглядати виключно сучки.

Сучками в сортиментах називаються основи гілок, що залишилися в деревині стовбура - живих або відмерлих за життя дерева. Сучки є обов'язковою приналежністю до всіх круглих сортиментів.

Від походження

Первинні

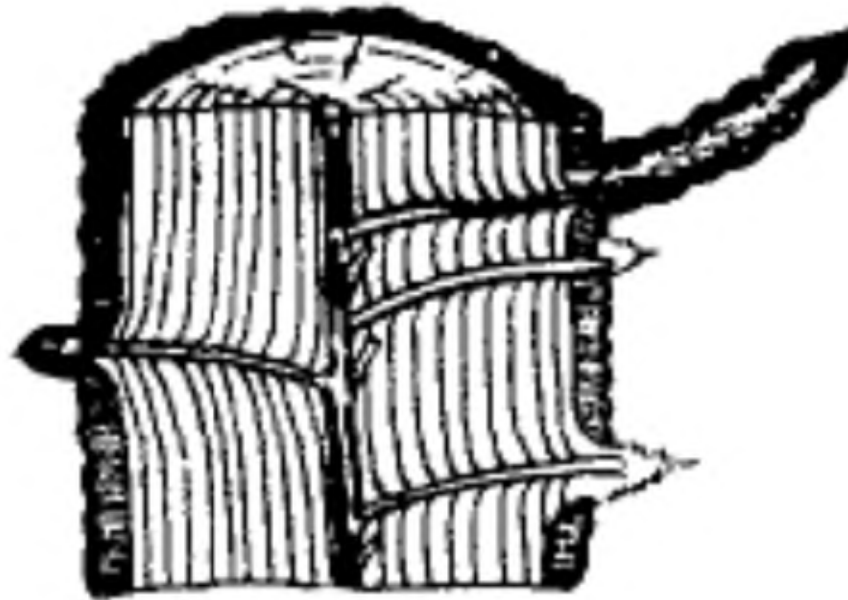
сучки, що є основами бічних гілок (побігів) дерева, що виникають в результаті розвитку так званих ростових бруньок.

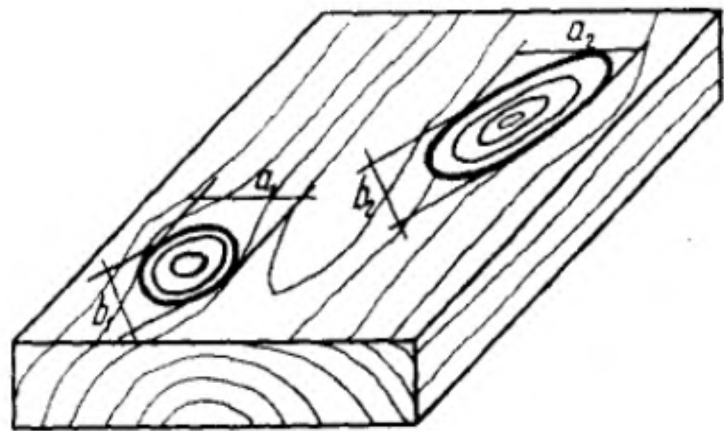


Від походження

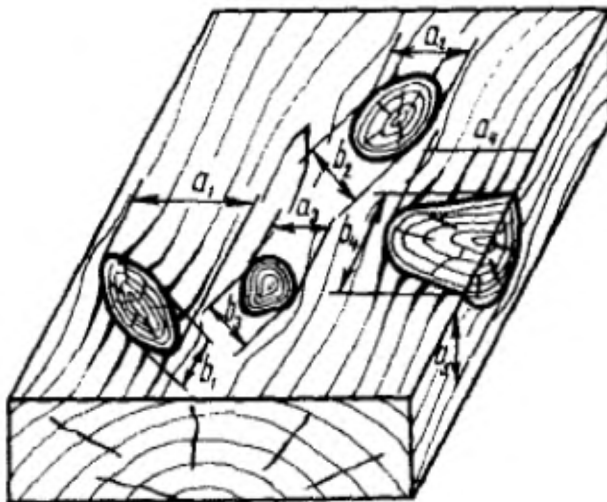
Вторинні

утворюються в результаті розвитку преентивних і адвентивних бруньок.

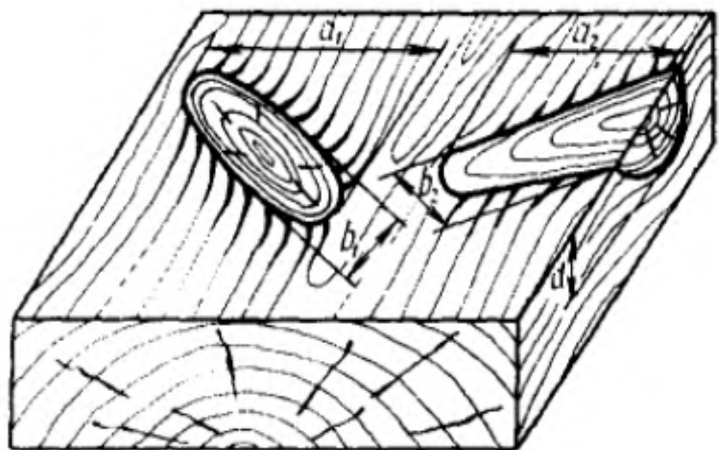




a



б



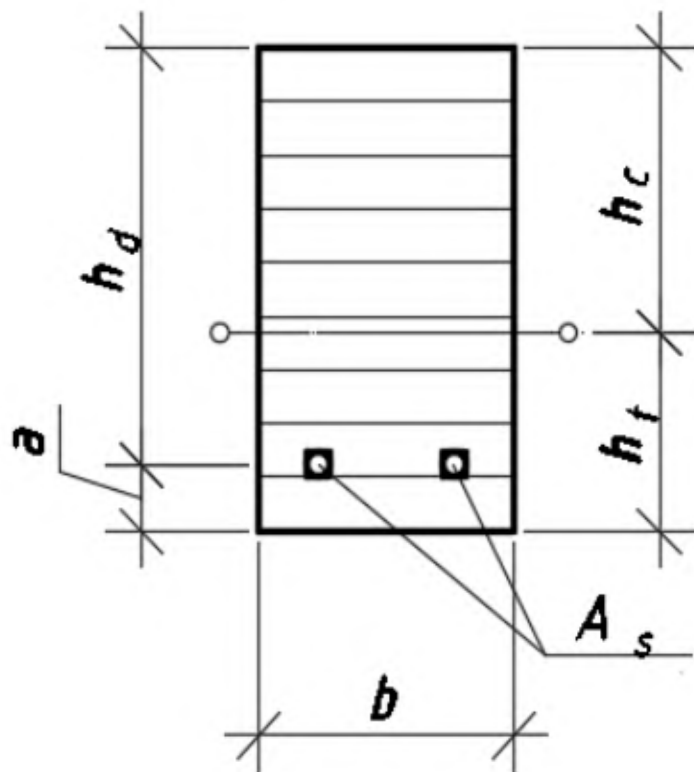
в

Схема виміру сучків:

а – круглих або овальних; б – довгастих; в – групових.

На першому етапі:

За допомогою інженерного розрахунку виконаний розрахунок дощатоклеєної армованої балки



Проліт $L = 6$ м

Розрахункове навантаження $q = 12$ кН/м

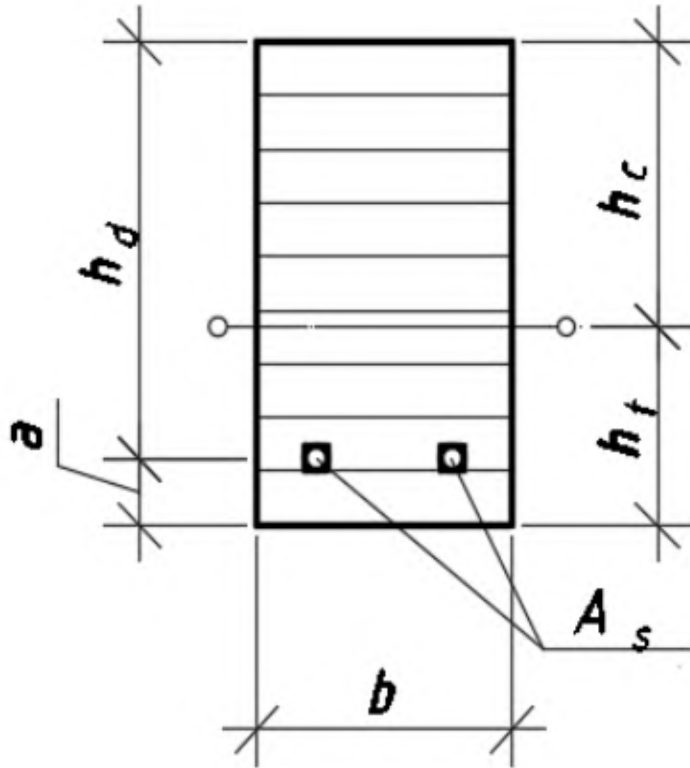
Ширина балки $b = 120$ мм

Висота перерізу балки $h = 10 \times 40$ мм = 400 мм

Балка армована в розтягнутій зоні 2-ма стержнями арматури класу А400 діаметром $\varnothing 10$ мм

На першому етапі:

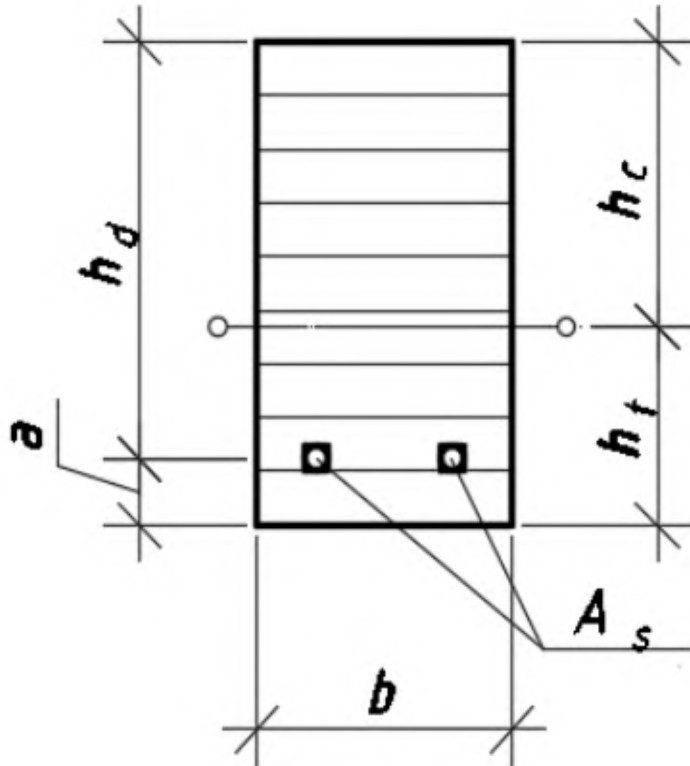
За допомогою інженерного розрахунку виконаний розрахунок дощатоклеєної армованої балки



Для виготовлення балки для усіх шарів використана однакова деревина класом Т14 (С24), що відповідає для клеєної деревини відповідно таблиці 3 ДБН класу GL24h.

На першому етапі:

За допомогою інженерного розрахунку виконаний розрахунок дощатоклеєної армованої балки



За результатами інженерних розрахунків:

Нормальні напруження:

$$\sigma = 10,9 \text{ МПа} < f_{m,g,d} = 11,52 \text{ МПа}$$

Дотичні напруження:

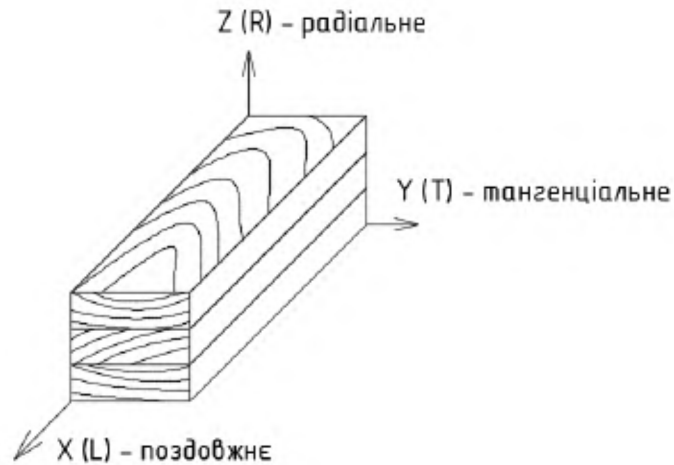
$$\tau = 0,8 \text{ МПа} < f_{v,g,d} = 1,296 \text{ МПа}$$

Деформація:

$$u = 1,73 \text{ см}$$

На другому етапі:

В програмному комплексі Лира-САПР 2016 створювалася математична модель для дослідження напружено-деформованого стану армованої дощатоклеєної балки.



Для всіх елементів, які моделювали деревину, задавалися фізичні характеристики та жорсткість матеріалів з урахуванням їх ортотропності, напрямком головних осей яких показано на рисунку.

На другому етапі:

Для деревини класу міцності Т14(С24) характеристики наведені в таблиці і прийняті згідно з діючими нормами. Відсутні значення коефіцієнта Пуассона для деревини прийняті з наукової роботи Глухих В.Н. і Черних А.Г.

Назва характеристики	Позначення	Одиниці виміру	Значення
Щільність	ρ	кг/м ³	350
Модуль пружності X	E_x	кН/см ²	1100
Модуль пружності Y	E_y	кН/см ²	37
Модуль пружності Z	E_z	кН/см ²	37
Коефіцієнт Пуассона XY	ν_{xy}	-	0.018
Коефіцієнт Пуассона YZ	ν_{yz}	-	0.3
Коефіцієнт Пуассона XZ	ν_{xz}	-	0.018
Модуль зсуву XY	G_{xy}	кН/см ²	69
Модуль зсуву YZ	G_{yz}	кН/см ²	7
Модуль зсуву XZ	G_{xz}	кН/см ²	7

На другому етапі:

Моделювання конструкції виконуємо об'ємними скінченими елементами. Розмір елемента приймемо 20×40×50 мм. Завантажуємо модель балки рівномірно розподіленим навантаженням по верхній грані балки інтенсивністю при ширині балки 120 мм

$$q = \frac{12}{0,12} = 100 \text{ кН/м}^2$$

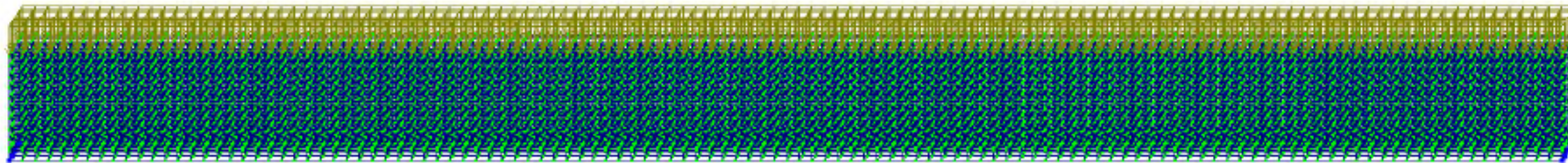
В таблицю жорсткостей задаємо одразу усі необхідні жорсткості і таблиця жорсткостей прийме вигляд:

Тип жорсткості	Ім'я	Параметри
1#	3D (дерево 1 сорт)	E1=1600, E2=53, E3=53, Ro=4.6e-006
		G12=100, G13=10, G23=100
		V12=0.018, V21=0.018, V13=0.3
		V31=0.3, V23=0.018, V32=0.018
4#	3D (дерево 2 сорт)	E1=1100, E2=37, E3=37, Ro=3.5e-006
		G12=69, G13=6.9, G23=69
		V12=0.018, V21=0.018, V13=0.3
		V31=0.3, V23=0.018, V32=0.018
5#	3D (дерево 3 сорт)	E1=700, E2=23, E3=23, Ro=2.9e-006
		G12=44, G13=4.4, G23=44
		V12=0.018, V21=0.018, V13=0.3
		V31=0.3, V23=0.018, V32=0.018
6#	3D (дерево експеримент)	E1=1130, E2=90.3, E3=174, Ro=3.5e-006
		G12=100.5, G13=8.2, G23=65.3
		V12=0.306, V21=0.306, V13=0.504
		V31=0.504, V23=0.306, V32=0.306
8	3D (сталь)	E=21000, V=0.25, Ro=7e-005

На другому етапі:

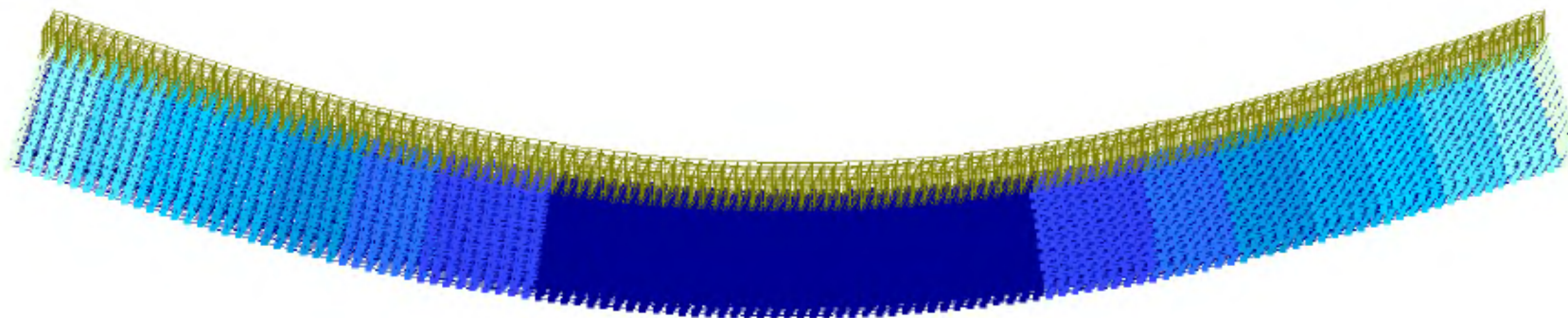
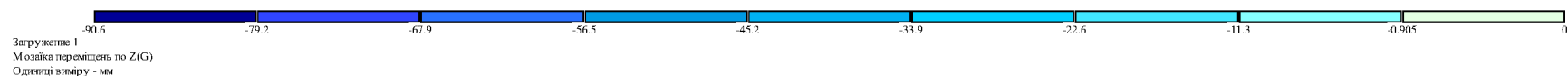
Задля визначення ефективності армування дощатоклеєних балок по-перше виконаємо розрахунок без армування балки.

Розрахункова схема балки



На другому етапі:

Мозаїка деформацій вузлів неармованої балки

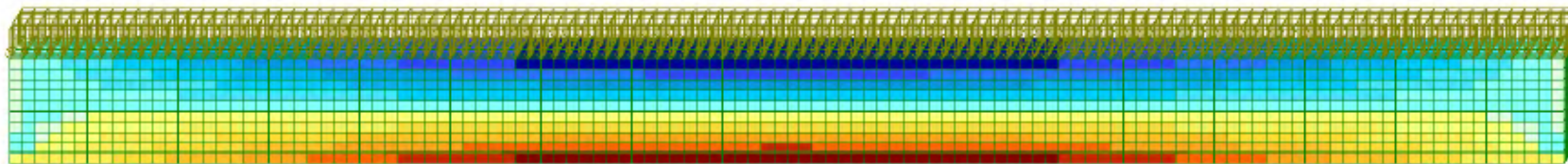
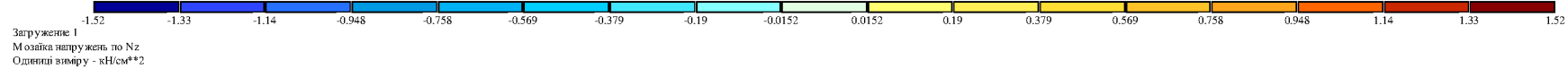


найбільші вертикальні переміщення наявні в середині балки і складають 90,5 мм



На другому етапі:

Ізополя нормальних напружень неармованої балки



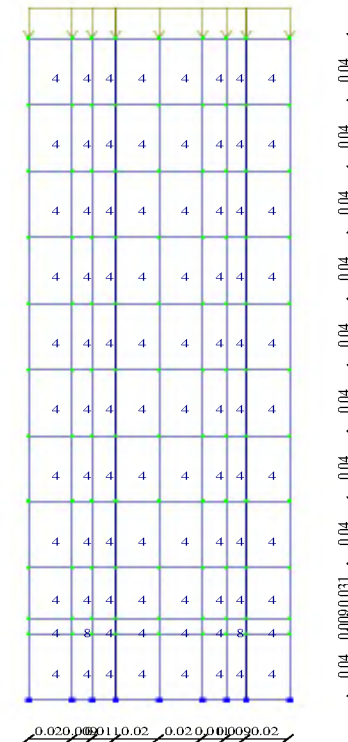
максимальні нормальні напруження

- розтяг $\sigma_t = 1,52 \text{ кН/см}^2$
- стиск $\sigma_c = -1,52 \text{ кН/см}^2$

На третьому етапі:

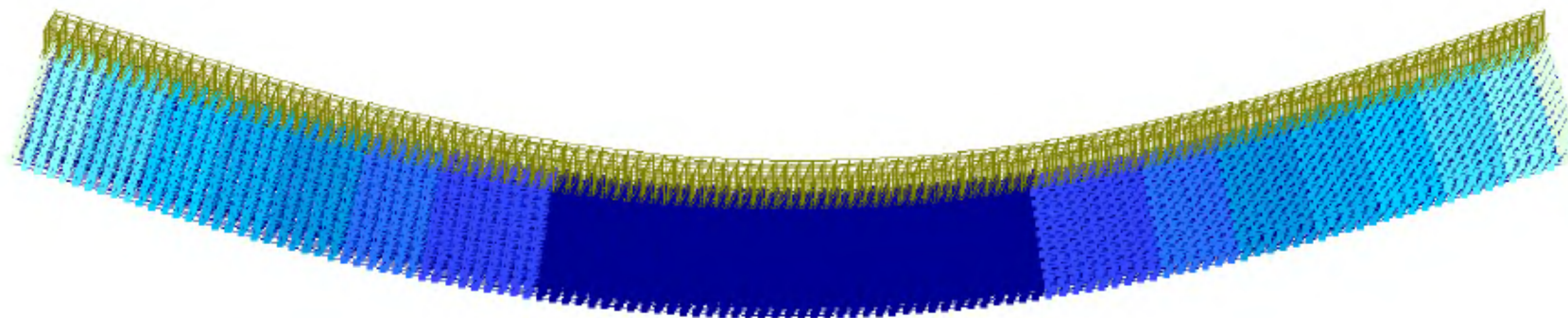
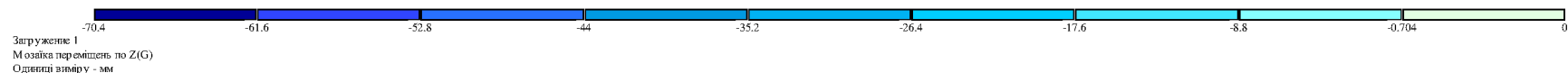
В розрахункову схему вводимо елементи, що будуть моделювати арматуру. Розрахунок виконуємо у припущенні, що деформації деревини і сталі будуть сумісними і однаковими.

Розміри елементів, що моделюють арматурні стержні визначаємо виходячи із еквівалентної площі. Тобто, якщо площа одного стержня арматури $\varnothing 10$ мм має площу $A_y = 0,789 \text{ см}^2$, то для отримання еквівалентної площі потрібен елемент квадратного перерізу зі стороною $b = \sqrt{0,789} \approx 0,9 \text{ см}$.



На третьому етапі:

Мозаїка деформацій вузлів армованої балки

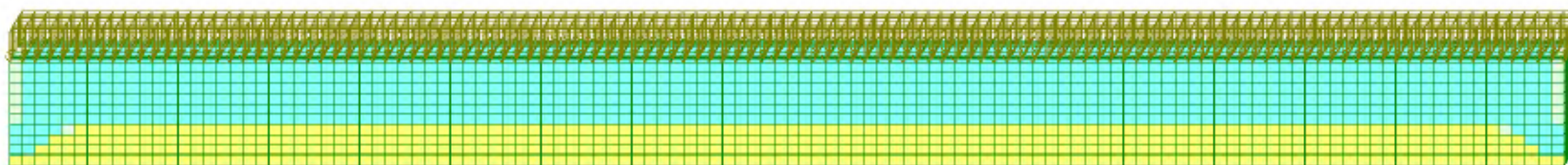
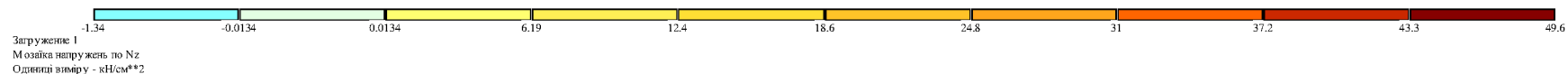


найбільші вертикальні переміщення наявні в середині балки і складають 70,4 мм




На третьому етапі:

Ізополя нормальних напружень армованої балки



максимальні нормальні напруження

- розтяг $\sigma_t = 1,01 \text{ кН/см}^2$
-  стиск $\sigma_c = -1,33 \text{ кН/см}^2$

На третьому етапі:

При аналізі можна визначити, що при армуванні балки двома стержнями арматури Ø10 класу А400 деформації зменшилися на 22%, напруження стиску знизилися на 13%, а розтягу навіть на 34%, що найбільш вагомо при врахуванні гіршої роботи деревини на розтяг.

На четвертому етапі:

змоделюємо наявність вад деревини (сучків) в деревині балки шляхом видалення окремих елементів розрахункової схеми. Однак для описання більш наближеної до справжньої роботи балки змінюємо жорсткісні характеристики деревини. Прийmemo жорсткісні характеристики деревини класу С50

Назва характеристики	Позначення	Одиниці виміру	Значення
Щільність	ρ	кг/м ³	460
Модуль пружності X	E_x	кН/см ²	1600
Модуль пружності Y	E_y	кН/см ²	53
Модуль пружності Z	E_z	кН/см ²	53
Коефіцієнт Пуассона XY	ν_{xy}	-	0.018
Коефіцієнт Пуассона YZ	ν_{yz}	-	0.3
Коефіцієнт Пуассона XZ	ν_{xz}	-	0.018
Модуль зсуву XY	G_{xy}	кН/см ²	100
Модуль зсуву YZ	G_{yz}	кН/см ²	10
Модуль зсуву XZ	G_{xz}	кН/см ²	100

На четвертому етапі:

Для другого сорту деревини сумарний діаметр сучків на довжині 20 см пиломатеріалів не повинен перевищувати 1/3 ширини пиломатеріалу.

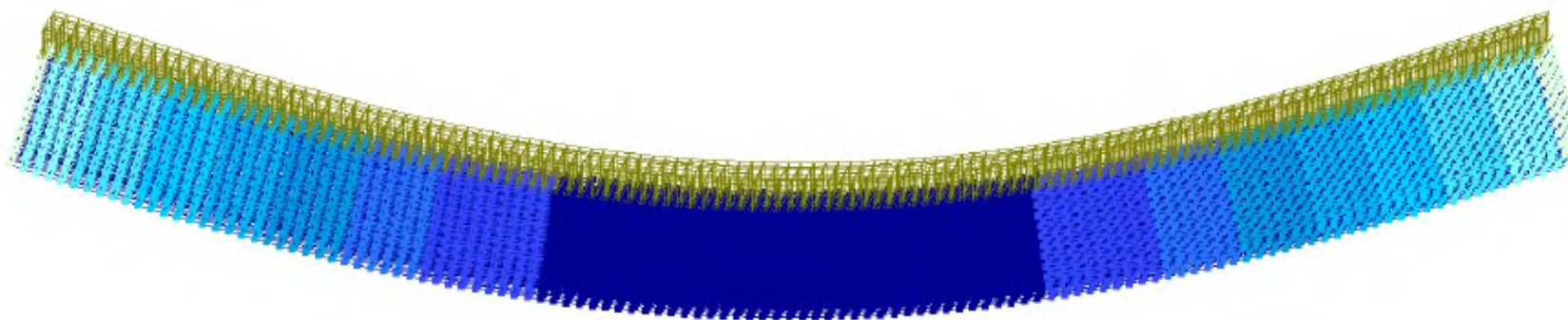
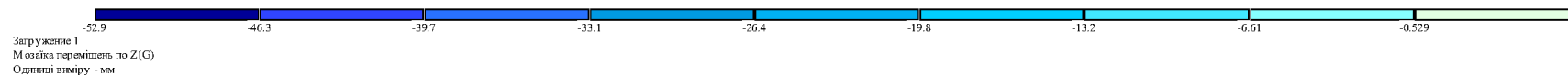
Для ширини 120 мм сумарна ширина сучків не повинна перевищувати 40 мм. При врахуванні круглої форма сучків, їх площа буде складати:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 4^2}{4} = 12,6 \text{ см}^2$$

Площа одного елемента розрахункової схеми по пласті складає 10 см², що є близьким до необхідної. Таким чином можна видаляти в кожному шарі 1 елемент через три.

На четвертому етапі:

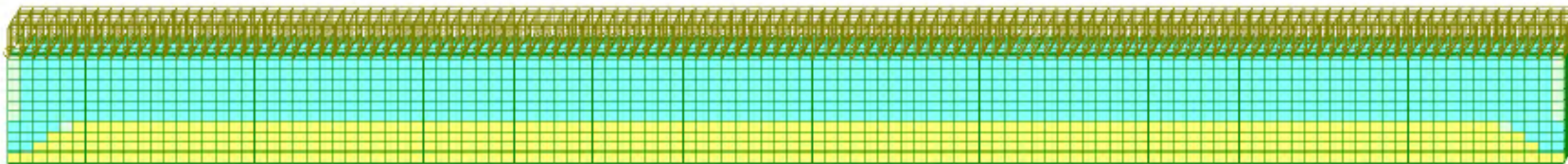
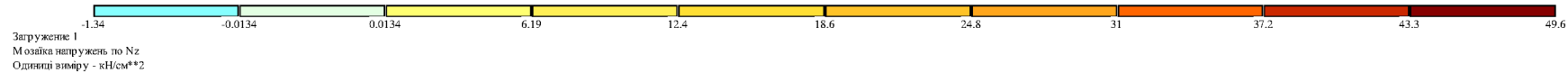
Мозаїка деформацій вузлів армованої балки при моделюванні 2-го сорту шляхом видалення окремих елементів




найбільші вертикальні переміщення наявні в середині балки і складають 52,9 мм

На четвертому етапі:

Ізополя нормальних напружень армованої балки при моделюванні 2-го сорту шляхом видалення окремих елементів



максимальні нормальні напруження

- розтяг $\sigma_t = 1,12 \text{ кН/см}^2$
-  стиск $\sigma_c = -1,41 \text{ кН/см}^2$

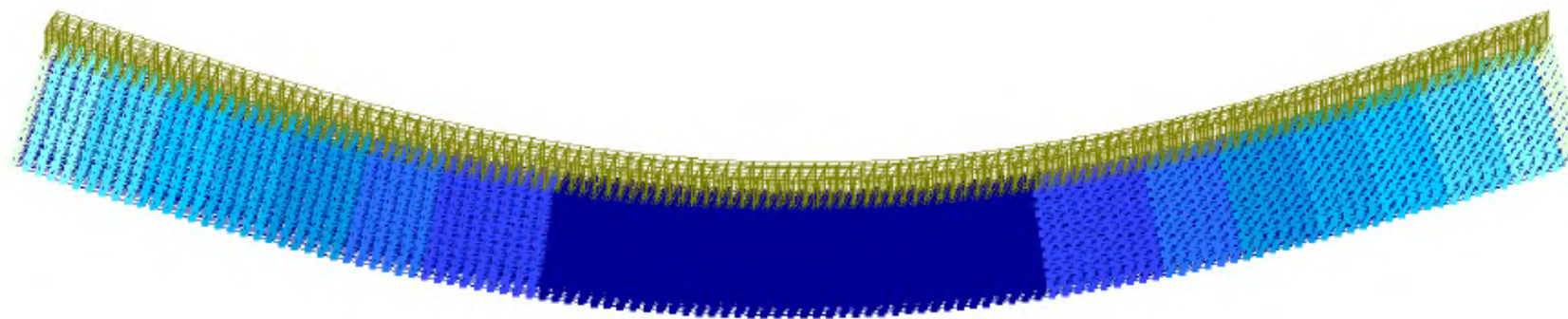
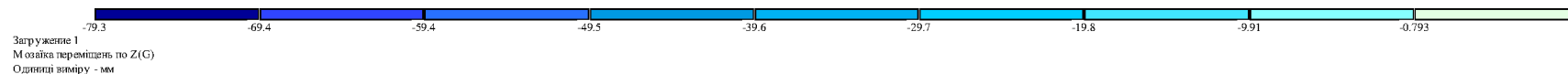
На п'ятому етапі:

перевірялася можливість використання деревини третього сорту в розтягнутій зоні армованої балки. Третій сорт відповідає класу деревини С14 з наступними характеристиками

Назва характеристики	Позначення	Одиниці виміру	Значення
Щільність	ρ	кг/м ³	290
Модуль пружності X	E_x	кН/см ²	700
Модуль пружності Y	E_y	кН/см ²	23
Модуль пружності Z	E_z	кН/см ²	23
Коефіцієнт Пуассона XY	ν_{xy}	-	0.018
Коефіцієнт Пуассона YZ	ν_{yz}	-	0.3
Коефіцієнт Пуассона XZ	ν_{xz}	-	0.018
Модуль зсуву XY	G_{xy}	кН/см ²	44
Модуль зсуву YZ	G_{yz}	кН/см ²	4
Модуль зсуву XZ	G_{xz}	кН/см ²	44

На п'ятому етапі:

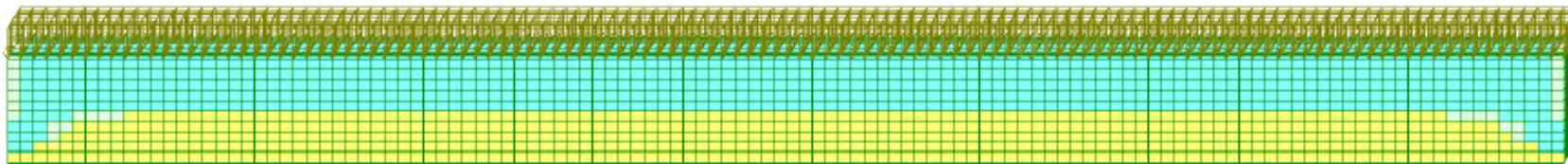
Мозаїка деформацій вузлів армованої балки при розташуванні деревини 3-го сорту в розтягнутій зоні




найбільші вертикальні переміщення наявні в середині балки і складають 79,3 мм

На четвертому етапі:

Ізополя нормальних напружень армованої балки при розташуванні деревини 3-го сорту в розтягнутій зоні



максимальні нормальні напруження

- розтяг $\sigma_t = 0,76 \text{ кН/см}^2$
-  стиск $\sigma_c = -1,4 \text{ кН/см}^2$

ВИСНОВКИ

1. Використання армованих клеєних дерев'яних конструкцій дозволяє знизити деформативність конструкції, а також знизити напруження в розтягнутій і стислій зонах перерізу дерев'яного елемента.
2. Метод скінчених елементів невиправдано ускладнює процес створення розрахункової моделі для врахування пороків (сучків) в масиві деревини, тому з достатнім ступенем точності враховувати їх можна за рахунок введення відповідних фізичних характеристик матеріалу.
3. При використанні конструкції в умовах невисоких вимог до деформативності, доцільним є заміна сорту деревини в розтягнутій зоні на більш низький, що дозволяє зменшити собівартість самої конструкції.

Доповідь закінчена.
Дякую за увагу.