

**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 поздовжніх тріщин на напружено-деформований стан дерев'яних елементів, що зазнають згин**»

Виконав (ла)

\_\_\_\_\_ (підпис)

В.В. Фуртат

\_\_\_\_\_ (Прізвище, ініціали)

Група

ЗБУД 2301 м

(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**

**Фуртат Владислав Віталійович**

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

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)

**В.В. Фуртат**

(Прізвище, ініціали)

## Анотація

**Фуртат Владислав Віталійович. Вплив поздовжніх тріщин на напружено-деформований стан дерев'яних елементів, що зазнають згин – 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 дерев'яних елементів з тріщиною при дії на них згинального навантаження, отримати уявлення про їх напружено-деформований стан при різній довжині і глибині поздовжніх тріщин.

**Аналіз публікацій та досліджень** встановив, що поява поздовжніх тріщин є фактично невід'ємним фактором експлуатації дерев'яних конструкцій. Виявлена можливість моделювання дерев'яного елемента об'ємними скінченими елементами, а також зазначено факт відсутності рекомендацій по врахуванню поздовжніх тріщин в розрахунках дерев'яних елементів.

**В основній частині** виконано опис скінченоелементної моделі дерев'яної балки при її дослідженні, описано методику моделювання поздовжньої торцевої тріщини, сформульовано алгоритм числового експерименту, виконано числовий експеримент, побудовано графіки і складено таблиці залежності нормальних і дотичних напружень від дожини, глибини і розташування поздовжніх торцевих тріщин.

У **висновках** встановлено, що дерев'яні суцільні балки, що зазнають згин, з утворенням поздовжніх тріщин необхідно перевіряти на дію дотичних напружень з урахуванням зменшення розрахункової площі сколювання.

**Ключові слова:** дерев'яні конструкції, міцність, тріщини, напружено-деформований стан.

**Список публікацій** та/або виступів на конференціях студента:

Фуртат В. Економічний ефект впливу поздовжніх тріщин на напружено-деформований стан дерев'яних елементів, що зазнають згин // 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 31 сторінці, у тому числі 7 таблиць, 12 рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, 2 розділів, висновки, список з 9 використаних джерел, 3 додатків на 16 сторінках. Графічна частина складається з 14 слайдів мультимедійної презентації.

## **Abstract**

**Vladislav Vitaliyovych Furtat. The influence of longitudinal cracks on the stress-strain state of wooden elements undergoing bending** – 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 wooden elements with a crack when subjected to a bending load, to obtain an idea of their stress-strain state with different lengths and depths of longitudinal cracks.

**The analysis of publications and studies** established that the appearance of longitudinal cracks is actually an integral factor in the operation of wooden structures. The possibility of modeling a wooden element with volumetric finite elements has been identified, and the fact that there are no recommendations for taking longitudinal cracks into account in the calculations of wooden elements has been noted.

**The main part** describes the finite element model of a wooden beam during its study, describes the method of modeling a longitudinal end crack, formulates the algorithm of a numerical experiment, performs a numerical experiment, plots and compiles tables of the dependence of normal and tangential stresses on the width, depth and location of longitudinal end cracks..

**The conclusions** established that solid wooden beams undergoing bending with the formation of longitudinal cracks must be checked for the action of tangential stresses, taking into account the reduction in the calculated area of splitting.

**Key words:** wooden structures, strength, cracks, stress-strain state.

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

V. Furtat. Economic effect of the influence of longitudinal cracks on the stress-strain state of wooden elements undergoing bending // 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 31 pages, including 7 tables, 12 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 9 used sources, 3 appendices on 16 pages. The graphic part consists of 14 slides of a multimedia presentation.

## ЗМІСТ

Розділ 1. Вступ .....	6
Розділ 2. Огляд досліджень.....	7
Розділ 3. Дослідження впливу тріщин на несучу здатність дерев'яних балок .....	14
Розділ 4. Висновки .....	29
Список використаних джерел.....	30

## РОЗДІЛ 1. ВСТУП

**Актуальність дослідження.** При реконструкції будівель з дерев'яними конструкціями (в основному міжповерхові перекриття будівель старої забудови і кроквяні даху) часто виникає необхідність посилення окремих елементів або конструкції в цілому.

Зниження міцності дерев'яних конструкцій пов'язано з незадовільною їх експлуатацією, що допускає зволоження деревини при відсутності захисту від гниття і шкідників. На ранній стадії виявлення дефектів буває досить змінити умови експлуатації: створити для дерев'яних конструкцій відповідний температурно-вологісний режим (виключення попадання атмосферних і технологічних вод, систематичне провітрювання і просушування, якісна термо- і пароізоляція) або ретельно обробити деревину антисептиками.

При необхідності збільшення міцності або жорсткості дерев'яних конструкцій їх посилення виконують заміною частини зруйнованого перетину або ділянки конструкції, а також збільшенням поперечного перерізу.

При обстеженні будівель і споруд часто зустрічаються випадки, коли в дерев'яних несучих елементах виникають поздовжні тріщини, врахування яких в діючих нормах проектування дерев'яних конструкцій ніяк не описаний, а відповідно відсутня методика врахування послаблень перерізів такими дефектами.

**Мета роботи** – на основі математичного моделювання визначити вплив поздовжніх тріщин на несучу здатність дерев'яних елементів, що зазнають згин.

### **Задачі дослідження.**

Визначити вплив поздовжніх тріщин на несучу здатність дерев'яних елементів при різних їх довжинах і місцях розташування.

**Об'єкт дослідження** – дерев'яні елементи, що зазнають згин, послаблені поздовжніми тріщинами.

**Предмет дослідження** – несуча здатність і деформативність дерев'яних елементів, що зазнають згин, послаблених поздовжніми тріщинами.

**Методи дослідження** – метод скінчених елементів (програмний комплекс «Лира-САПР»).

**Наукову новизну** складає:

- оцінка НДС дерев'яних конструкцій, що зазнають згин, послаблених поздовжніми тріщинами, за результатами чисельних досліджень.

**Практична значимість** магістерської роботи полягає в тому, що отримані результати дослідження дозволяють отримати уяву про НДС дерев'яних конструкцій, послаблених поздовжніми тріщинами і зробити висновки про можливість їх використання при реконструкції або реставрації.

**Апробація роботи.**

Основні результати роботи доповідалися на студентській конференції Сумського національного аграрного університету.

## **РОЗДІЛ 2. ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ**

На цілому просторі Європи найбільша кількість, і то найцінніших зразків дерев'яного будівництва зберіглася в Україні. Завдяки відповідним кліматичним і господарським умовам Україна від найдавніших часів володіла великими засобами будівельних лісів – від м'яких порід шпилькових дерев до прекрасних видів твердого дерева. Тому саме в дерев'яному будівництві українці відзначалися великою майстерністю і мають свою давню культуру та вироблені протягом багатьох століть своєрідні зразки. І коли в будовах, призначених для житла, творчість була обмежена в рамках побуту й матеріальних засобів, то умілість майстрів, вигадливість і творча думка найбільше виявилися в будовах громадського, оборонного та релігійного призначення. На жаль, великі житлові будинки збереглися в дуже обмеженій кількості, а будови замкового чи оборонного призначення зовсім зникли, даючи місце мурованим та земляним будовам новішого типу. Порівняно краще зберіглися будови релігійного культу (принаймні ми маємо деякі зразки навіть із 15-17 ст., правда, в дещо переробленому вигляді). Хоч найстарші збережені зразки дерев'яних дзвіниць походять із початку 16 ст. (Потиліч),

але ряд даних вказує на їх давню місцеву культуру, що сягає періоду готики. Збережені зразки дерев'яних дзвіниць, особливо в Західній Україні говорять про особливу давність архітектурних форм – більшу, ніж форми самих церков, біля яких вони стоять. Побудовані в монументальних формах, міцної конструкції, з довготривалого матеріалу (переважно дубового), вони не потребували частого ремонту, а тим більше знесення. Крім того, дерев'яна конструкція дзвіниць дозволяла частково вставляти новий матеріал, не змінюючи зовнішнього вигляду. Таким чином, архітектурні форми дзвіниць мінялися значно повільніше, ніж форми самих церков, затримуючи свій архаїчний замковий і цивільний характер. Отже, коли прийняти до уваги особливо давню традицію будівництва дзвіниць і ту консервативність з якою мінялися архітектурні форми в дерев'яному будівництві взагалі та особливо у дзвіницях, дійдемо висновку, що збережені типи дзвіниць постали значно раніше 16 ст. В еволюції (заміні) мистецьких форм часто бачимо таке явище, коли первісне практичне конструктивне значення втрачається, але залишається певна традиція, складається певна естетична уява про красу, й змінена форма живе ще довший час, втрачаючи, однак, своє первісне практичне значення. Те саме сталося зі способами будови й формами дзвіниць. Не підлягає сумніву, що кожна доба світового мистецтва відбивалася на їх формах, але тому, що тип веж-дзвіниць був у нас усталений у період готики, то наступні впливи ренесансу, бароко, рококо, ампіру викликали незначні зміни, головне в прикрасах, формах покриття, банях і деталях. Перетворюючи форму мурованого будівництва й різні стилістичні впливи, народ все-таки зумів дати оригінальні, своєрідні зразки власної мистецької творчості.

Розвиток українського житлового будівництва в дереві у великій мірі залежить від сільської хати. Українська хата в уявленні своїх і чужих має найбільше привабливих рис мальовничості. Щодо матеріалу, то переважна більшість хат, зокрема Середньої України, складається з дерева й глини (в різних формах), але в лісовій полосі (Карпати, Полісся, частково

Чернігівщина) хати будують виключно з дерева. І тоді в більшій мірі вживаються різні різьблені деталі – сохи, піддашся, ганки та ін.

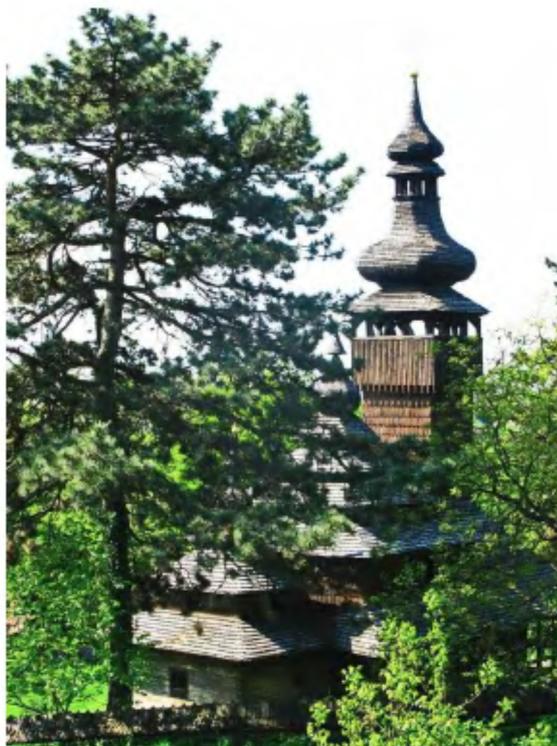
З кінця XVIII століття у будівництві хат почали відбуватися деякі зміни. Так, у побут стали входити комини з виведенням диму через сіни. Поширення набуло будівництво з тесаних брусів та плах. Згодом до зрубу хати стали прибудовувати тристінком сіни або сіни й комору. Дахи робили на кроквах та покривали соломою.

На Закарпатті переважна більшість житлових і господарських приміщень теж будувалася з дерева і мала зрубну конструкцію. Для будівництва використовували бруси і плахи з товстих дубових колод. Зустрічалися подекуди й каркасні хати з заповненням стін різними матеріалами, переважно дошками.

Для Черкащини, Уманщини, Кіровоградщини та західної Полтавщини довгий час було характерне каркасне чи зрубне будівництво. Полтавщина — край мальовничих сіл. Північна та центральна її частини віддавна були багаті на ліс, тому основним будівельним матеріалом тут було дерево. Дерев'яні оселі були зрубні, стіни заповнювалися дошками. До рівня вікон клали міцні колоди, а вище — тонші, з м'яких порід. Більшість господарів свої хати ззовні і всередині обмазували глиною і білили. Дах — чотирихилий, під соломою, з м'якими обрисами. Дерев'яних міст, збережених у цілості, на Україні тепер не існує. Чи не одиноким прикладом є містечко (тепер село) Потилич коло Рави Руської, де збереглися цілий дерев'яний ринок із ратушею і три дерев'яні церкви 16-17 ст. із дзвіницями-вежами. Дерев'яні церкви становлять не лише велику мистецьку вартість, але й історичну, вони пов'язані з класовою і народно-визвольною боротьбою мас.

Велика культура українського дерев'яного будівництва старих часів створила настільки своєрідні зразки, такі вироблені типи будов та окремі форми, що у світовій літературі українська архітектура, й особлива дерев'яні церкви, фігурують під назвою українського типу, відмінного не тільки від дерев'яних будов Сходу й Заходу, але, також інших слов'янських народів.

Наведемо приклади деяких форм деревних перекриттів. Однією з форм типізації українського дерев'яного будівництва є пірамідальна форма перекриття зрубів, як примітивна й найпростіша, могла затриматися лише в глухих закутках, яким є Бойківщина. П'ятизрубні будови поширені були не тільки на Гуцульщині, але і на Буковині. Щодо п'ятибанних церков на п'ятизрубному założенні, то їх у Галичині дуже мало і то переважно новіших часів. Досить поширені вони на Київщині, Полтавщині, Слобожанщині, відомі також на Поділлі й зовсім рідкі на Волині та Чернігівщині. Виразну групу складають церкви Поділля та Волині (Рис. 1) – тризубні з одною і трьома банями. Будови Середнього Придніпров'я відзначаються великою видовженістю форм і впливом головним чином стилю рококо - витончений легкими банями. Коли розглядаєш різні роди дерев'яного будівництва, то розуміється найбільш багата, майстерна і з мистецького боку найбільш цінні церковна архітектура до котрої народний геній вложив цілу душу, творче прагнення. Перший тип будов, який не тяжко розрізнити поміж іншими, складається з трьох зрубів і звичайно з трьох веж перекритих ступінчастопірамідальними перекриттями.



*Рис. 1. Михайлівська церква з села Шелестове, 1777, Ужгород.*

П'ятизрубні хрещаті дерев'яні будови – це другий характеристичний тип українських дерев'яних будов, що ще в більшій мірі дають приклади великої майстерності. Найбільше хрещатих п'ятизрубних церков було на Покутті. Плани покутських хрещатих будов мають кілька відмін: коли середній квадрат значно більший від чотирьох бічних квадратів чи прямокутників (Княздвір) (Рис. 2), бічні зруби такої самої довжини як середній (Кошів) (Рис. 3). Відомі також покутські п'ятизрубні церкви з трьома банями. П'ятизрубні церкви з п'ятьма банями на Покутті рідкі і відзначаються надзвичайною майстерністю виконання і викінченістю деталей: Княздвір. Вербовець, Кошів. Основні риси Покутських храмів – вони володіють кожний своїми особливостями – розмірами, пропорціями, силуетом. Різноманітні в побудові і в деталях творці, майстри своєї роботи не повторюються, намагаються надати кожному витвору свій особливий образ. Кожна доба кожне покоління по – своєму оцінює історико-архітектурну спадщину, знаходячи відповіді саме та ті питання, які постають перед суспільством, відкриваючи в ньому нові грані, ще не пізнанні та належно не оцінені.



*Рис. 2. Церква в с. Княздвір, Івано-Франківська область.*



*Рис. 3. Церква в с. Кошів, Київської обл.*

Однак з часом, усі дерев'яні елементи будівель зазнають пошкоджень.

Дефекти конструкцій – це відхилення форми і фактичних розмірів від проектних параметрів, що виникли в процесі виготовлення і монтажу. Пошкодження конструкцій – це зниження якості, порушення форми і фактичних розмірів, що виникли в процесі експлуатації під впливом навантажень і умов експлуатації.

При інженерному обстеженні дерев'яних конструкцій особлива увага звертається на місця, найбільш небезпечні щодо зволоження і загнивання деревини: дощаті настили під рулонним килимом, розжолобки і карнизні ділянки покриття, конструкції у торцевих стін, опорні частини конструкцій, наявність і стан гідроізоляції, підвіконні ділянки, нижні бруси стін, верхні межі балок, арок, рам, ферм.

Найбільш часто зустрічаються такі дефекти і пошкодження дерев'яних конструкцій: загнивання деревини, ураження комахами; поздовжні тріщини

від усихання, розриви розтягнутих елементів в місцях ослаблення перерізу; відхилення від вертикалі, вигин з площини, місцеве випинання стиснутих елементів; прогини і злами елементів, що згинаються; розшарування по клейових швах клеєних дерев'яних елементів; дефекти з'єднань (сколювання лобових врубок і шпонок, зрізи нагелів); механічні пошкодження з ослабленням поперечного перерізу елементів.

При обстеженні розтягнутих елементів необхідно виявити наявність повних або часткових розривів або надривів волокон деревини біля стиків; близько сучків, що виходять на кромки елементів; близько отворів під нагелі; фіксувати глибину і протяжність довгих вузьких тріщин і тріщин по косошару.

У стислих, що згинаються і стиснуто-зігнутих елементах перевіряється правильність і достатність розкріплення стислої кромки з площини дії вертикального навантаження, ознаки випинання, прогини і злами. Небезпечні місцеві деформації (випинання) стиснутих елементів, що перевищують  $1/80$  його довжини.

У елементах, що зазнають згин, прогини, що перевищують наведені нижче величини, свідчать про аварійний стан конструкцій: в балках і прогонах суцільного або клеєного перерізу - більше  $1/50$  /; складених балках на податливих зв'язках (на шпонках, пластинчастих нагелях) - понад  $1/100$  /; в фермах - понад  $1/150$  /. При обстеженні крокв додатково фіксується наявність кріплень крокв до цегляних стін дротяними скрутками і крок цих кріплень.

У КДК, крім вищеописаних дефектів, заміряють довжину і глибину розшарування по клейових швах, а також місця їх розташування (зазвичай розшарування зустрічаються поблизу опорних вузлів в середній частині перерізу, а також в арках в місцях появи радіальних напружень, що розтягують поперек волокон).

У вузлах перевіряється кількість і правильність розміщення нагелів і болтів (відповідність вимогам ДБН відстаней між нагелями уздовж і поперек волокон деревини), ступінь обтиску з'єднуються болтами (болти часто не затягнуті), наявність тріщин по можливим майданчикам сколювання,

наявність гідроізоляційних прокладок з толю або руберойду під опорними подушками, мауерлатами.

При довгій експлуатації дерев'яних конструкцій найбільш поширеним дефектом, що виникає в них є поява поздовжніх тріщин різноманітної довжини, глибини і розташування, однак у вітчизняній нормативній літературі відсутні рекомендації по врахуванню таких дефектів. В даній магістерській роботі поставлена задача визначити вплив поздовжніх тріщин різної глибини і довжини на несучу здатність дерев'яного елемента, що зазнає згин.

### **РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТРІЩИН НА НЕСУЧУ ЗДАТНІСТЬ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК**

У діючій вітчизняній нормативній літературі відсутні рекомендації щодо обліку розмірів і розташування тріщин по перерізу і довжині балок при визначенні їх несучої здатності.

Дерев'яні балки суцільного перерізу з горизонтальними тріщинами по обидва боки розглянув Е.М. Квасніков. З умови крихкого руйнування деревини балки при сколюванні він визначив граничні нормальні напруження в залежності від граничних сколюючих напружень, глибини і розташування тріщини по висоті перерізу. Однак руйнуючі напруження за експериментальними даними відрізняються від розрахункових на 62%, що свідчить про неточність цієї методики.

Дерев'яні балки з наскрізною тріщиною, що виходить на торець, при різній її довжині і місцезнаходженні можна розрахувати за методом складених стрижнів А.Р. Ржаніцина. У роботах розглянуті окремі випадки вирішення цього завдання для дефектних елементів, що згинаються. Розрахункові формули і графіки, отримані в зазначених роботах, придатні для визначення міцності згинальних елементів з наскрізною тріщиною, хоча в тривало експлуатованих елементах з цільної деревини найчастіше зустрічаються непрямі тріщини.

В роботі Варфоломєєва Ю.А. методом математичного моделювання плоскої задачі проаналізовано за методом скінчених елементів напружено-деформований стан великопрольотної дерев'яної клеєної балки з болтовим кріпленням у вузлі обпирання. Болтове кріплення в опорному вузлі балки імітували за допомогою введення вертикальних зв'язків в зоні отвору. Однак цим методом неможливо визначити об'ємний напружений стан балки з експлуатаційним дефектом, яке характеризується наявністю трьох компонентів напружень, що діють у всіх координатних площинах, а також розрахувати елемент з ненаскрізною тріщиною.

Мета цієї роботи – за допомогою математичного моделювання порівняти об'ємний напружений стан і зміну несучої здатності дерев'яних балок з тріщинами різних розмірів і розташування і балок суцільного перерізу без дефектів.

При вирішенні завдання визначали коефіцієнти зміни напружень в перерізі  $K_\sigma$  і  $K_\tau$ , що залежать від довжини тріщини і показують у скільки разів знижується несуча здатність балки з дефектом:

$$K_\sigma = \frac{\sigma_d}{\sigma_c}; K_\tau = \frac{\tau_d}{\tau_c} \quad (1)$$

де  $\sigma_c, \tau_c$  і  $\sigma_d, \tau_d$  – нормальні і дотичні напруження в балці з суцільним перерізом і в балці з тріщиною.

Обстеження багатьох об'єктів, що експлуатуються протягом 50...150 років, показали, що близько 80% балок перекриттів мають вертикальні і горизонтальні тріщини різної довжини, причому 92% з них розвиваються з боку торців.

Об'ємний напружений стан досліджували на прикладі балок перекриттів довжиною  $L = 3,0$  м і перерізом  $100 \times 160$  мм при співвідношенні  $H/L = 1/20$  ( $H$  – висота перерізу) за допомогою комплексу Лира-САПР, яка працює за методом скінчених елементів.

У відповідності до норм проектування максимальний допустимий згинальний момент визначається із умови:

$$M_{max} = f_{m,y,d} \cdot W_{net,y} = 1,6 \cdot 427 = 683 \text{ кН} \cdot \text{см} = 6,83 \text{ кН} \cdot \text{м} \quad (2)$$

де  $f_{m,y,d}$  – розрахункове значення міцності при згині відносно осі  $y$ ;

$W_{net,y}$  – момент опору перерізу нетто відносно осі  $y$ .

$$W_{net,y} = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{10 \cdot 16^2}{6} = 427 \text{ см}^3 \quad (3)$$

При класі міцності С35

$$f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 0,6 \cdot \frac{35}{1,3} = 16 \text{ МПа} \quad (4)$$

При завантаженні балки так, як зазначена на Рис. 5 зусилля  $P$ , що відповідає максимальному згинальному моменту визначається з формули:

$$P = \frac{M_{max}}{l/3} = \frac{6,83}{3/3} = 6,83 \text{ кН} \quad (5)$$

При цьому максимальна поперечна сила на опорі:

$$Q = P = 6,83 \text{ кН} \quad (6)$$

Максимальні нормальні напруження в перерізі:

$$\sigma = \frac{M_{max}}{W_{net,y}} = \frac{683}{427} = 1,6 \text{ кН/см}^2 = 16 \text{ МПа} \quad (7)$$

Максимальні дотичні напруження:

$$\tau = \frac{Q \cdot S}{I \cdot b} = \frac{54,6 \cdot 320}{3413 \cdot 10} = 0,51 \text{ кН/см}^2 = 5,1 \text{ МПа} \quad (8)$$

Статичний момент відносно нейтральної осі:

$$S = \frac{b \cdot h^2}{8} = \frac{10 \cdot 16^2}{8} = 320 \text{ см}^3 \quad (9)$$

Момент інерції перерізу відносно нейтральної осі:

$$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{10 \cdot 16^3}{12} = 3413 \text{ см}^4 \quad (10)$$

На початковому етапі задавалися фізичні характеристики та жорсткість матеріалів з урахуванням їх ортотропності, напрямом головних осей яких показано на Рис. 4. Для деревини характеристики наведені в Таблиця 1 і прийняті згідно з діючими нормами [3]. Відсутні значення коефіцієнта

Пуассона  $\nu_{xy}$  для деревини прийнятий з наукової роботи Глухих В.Н. і Черних А.Г.

У відповідності до вимог [3] розрахункові значення модуля пружності і модуля зсуву визначаються за формулами:

$$\begin{aligned} E_d &= \frac{E_{mean}}{\gamma_m} \\ E_{90,d} &= \frac{E_{90,mean}}{\gamma_m} \\ G_d &= \frac{G_{mean}}{\gamma_m} \end{aligned} \quad (11)$$

де  $E_{mean}$  – середнє значення модуля пружності;

$G_{mean}$  – середнє значення модуля зсуву.

Для класу міцності суцільної деревини С35:

$$\begin{aligned} E_d &= \frac{13000}{1,3} = 10000 \text{ МПа} \\ E_{90,d} &= \frac{430}{1,3} = 330 \text{ МПа} \\ G_d &= \frac{810}{1,3} = 623 \text{ МПа} \end{aligned} \quad (12)$$

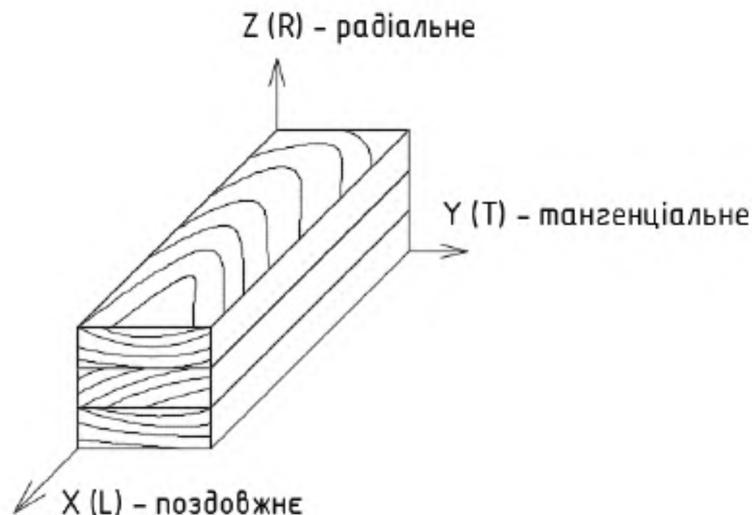


Рис. 4. Напрямок головних осей в дерев'яному елементі.

Таблиця 1. Характеристики деревини, що використовуються при розрахунку.

Назва характеристики	Позначення	Одиниці виміру	Значення
Щільність	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	420
Модуль пружності X	$E_x$	кН/см <sup>2</sup>	1000
Модуль пружності Y	$E_y$	кН/см <sup>2</sup>	33
Модуль пружності Z	$E_z$	кН/см <sup>2</sup>	33
Коефіцієнт Пуассона XY	$\nu_{xy}$	-	0,018
Коефіцієнт Пуассона XZ	$\nu_{xz}$	-	0,018
Коефіцієнт Пуассона YZ	$\nu_{yz}$	-	0,3
Модуль зсуву XY	$G_{xy}$	кН/см <sup>2</sup>	62,3
Модуль зсуву XZ	$G_{xz}$	кН/см <sup>2</sup>	62,3
Модуль зсуву YZ	$G_{yz}$	кН/см <sup>2</sup>	11,2

Моделювання конструкції виконуємо об'ємними скінченими елементами. Розмір елемента прийmemo 20×20×20 мм, при цьому кількість елементів в розрахунковій схемі складатиме 6000 елементів. Жорсткість об'ємних елементів задаємо з урахуванням ортотропії матеріалу різним в трьох напрямках дії зусиль. Завантажимо двома зосередженими силами на відстані  $1/3 l$  від опори. Схема прикладення навантаження наведена на Рис. 5.

Спочатку розраховували балку без тріщини при шарнірному закріпленні її на одній опорі і вільному обпиранні на інший. Розрахункове навантаження приймаємо у відповідності до розрахункового навантаження за несучою здатністю  $P = 6,83$  кН. Точність розрахунку напруженого стану балки під навантаженням оцінювали за рахунок побудови кривих залежності результатів розрахунку від кількості скінчених елементів.

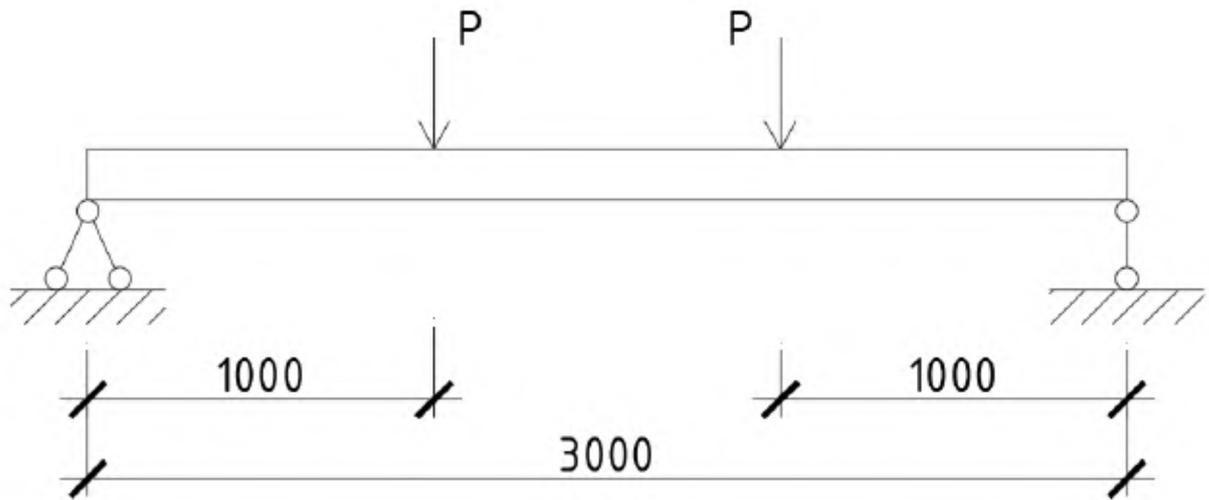


Рис. 5. Схема прикладення навантаження на досліджувану балку.

Потім розраховували балку з наскрізною торцевої тріщиною (від шарнірно закріпленої опори) довжиною  $C = 0,3; 0,6; 0,9; 1,2; 1,5; 1,8; 2,1$  м. Співвідношення довжини тріщини і довжини балки ( $C/L$ ) склало відповідно  $0,1; 0,2; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7$ . Горизонтальну тріщину розташовували по осі поперечного перерізу  $h/2$  балки.

Для моделювання тріщини попередньо балку моделювали з двох блоків і об'єднували переміщення вузлів суміжних елементів. Це дало ефект суцільної балки. Потім для моделювання тріщини об'єднання переміщень відмінялося, що дало ефект окремої роботи верхньої і нижньої частини балки на ділянці з тріщиною.

Розрахункова схема балки при цьому прийняла вигляд:

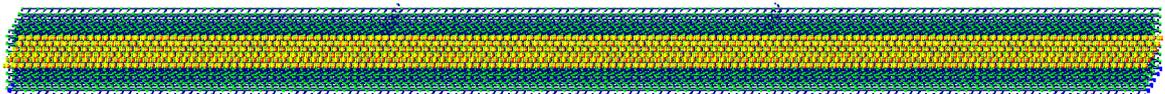


Рис. 6. Розрахункова схема балки без тріщини.

В результаті розрахунку отримаємо нормальні і дотичні напруження по прольоту балки при різній довжині тріщин. Результати розрахунку зведемо в таблицю і побудуємо графіки залежності

Таблиця 2. Величини нормальних напружень в нижній частині балки, МПа

Відстань по довжині балки	№ елемента	Довжина поздовжньої тріщини, м											Максимальне відхилення, %
		0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3	
0	3	0.788 617	0.785 882	0.785 785	0.785 796	0.785 801	0.785 801	0.785 801	0.785 798	0.785 787	0.785 776	0.785 755	0.36
0.3	332	4.308 74	4.360 69	4.336 78	4.335 42	4.335 45	4.335 45	4.335 45	4.335 47	4.335 56	4.335 64	4.335 81	1.21
0.6	347	8.271 86	8.272 59	8.297 94	8.273 95	8.275 64	8.275 65	8.275 65	8.275 65	8.275 66	8.275 67	8.275 69	0.32
0.9	362	12.57 15	12.57 15	12.57 17	12.59 59	12.57 97	12.58	12.58	12.58	12.58	12.58	12.58	0.19
1.2	377	14.10 98	14.10 98	14.10 98	14.11 03	14.12 18	14.12 07	14.12 07	14.12 07	14.12 07	14.12 07	14.12 07	0.09
1.5	392	14.00 11	14.00 11	14.00 11	14.00 11	14.00 23	14.00 24	14.00 28	14.00 4	14.00 41	14.00 41	14.00 41	0.02
1.8	408	14.10 98	14.10 98	14.10 98	14.10 98	14.10 98	14.10 98	14.10 94	14.11 76	14.12 07	14.12 07	14.12 07	0.08

2.1	423	12.57 15	12.56 24	12.57 84	12.58	12.58	0. 07							
2.4	438	8.271 85	8.273 24	8.251 23	8.273 55	8.275 69	0. 25							
2.7	453	4.308 88	4.208 88	4.308 89	4.308 8	4.284 88	4.335 97	2. 32						
3	467	0.909 011	0.908 977	0.908 55	0. 05									

Таблиця 3. Величини нормальних напружень у верхній частині балки, МПа

Відс тань по дов жині балк и	№ елем ента	Довжина поздовжньої тріщини, м											макси мальне відхил ення, %	
		0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3		
0	3014	- 0.00 256	- 0.00 114	- 0.00 102	- 0.00 102	- 0.00 103	- 0.00 103	- 0.00 103	- 0.00 103	- 0.00 103	- 0.00 102	- 0.00 101	- 0.00 1	60.87
0.3	4971	- 3.85 751	- 3.86 397	- 3.83 802	- 3.83 692	- 3.83 685	- 3.83 685	- 3.83 685	- 3.83 683	- 3.83 674	- 3.83 666	- 3.83 651	- 3.83 651	0.54
0.6	4986	- 8.23 812	- 8.23 791	- 8.26 435	- 8.23 867	- 8.23 502	- 8.23 501	- 8.23 501	- 8.23 501	- 8.23 501	- 8.23 5	- 8.23 499	- 8.23 497	0.32
0.9	5001	- 12.2 748	- 12.2 748	- 12.2 751	- 12.3 025	- 12.2 939	- 12.2 937	0.23						
1.2	5016	- 13.8 234	- 13.8 234	- 13.8 234	- 13.8 233	- 13.8 228	- 13.8 244	- 13.8 245	- 13.8 244	- 13.8 244	- 13.8 244	- 13.8 244	- 13.8 244	0.01
1.5	5031	- 13.9 833	- 13.9 833	- 13.9 833	- 13.9 833	- 13.9 822	- 13.9 814	- 13.9 817	- 13.9 806	- 13.9 806	- 13.9 806	- 13.9 806	- 13.9 806	0.02
1.8	5047	- 13.8 234	- 13.8 234	- 13.8 234	- 13.8 234	- 13.8 234	- 13.8 234	- 13.8 233	- 13.8 243	- 13.8 244	- 13.8 244	- 13.8 244	- 13.8 244	0.01
2.1	5062	- 12.2 748	- 12.2 748	- 12.2 748	- 12.2 748	- 12.2 748	- 12.2 748	- 12.2 748	- 12.2 748	- 12.2 625	- 12.2 918	- 12.2 936	- 12.2 937	0.15

2.4	5077	- 8.23 815	- 8.21 069	- 8.23 35	- 8.23 497	0.33							
2.7	5092	- 3.85 751	- 3.85 731	- 3.83 3	- 3.83 652	0.64							
3	5106	- 0.00 259	- 0.00 257	- 0.00 1	61.26								

Таблиця 4. Величини дотичних напружень по осі балки, МПа

Відстань по довжині балки	№ елемента	Довжина поздовжньої тріщини, м											максимальне відхилення, %
		0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3	
0	0.014	- 0.18 269	- 0.18 412	- 0.18 467	- 0.18 467	- 0.18 467	- 0.18 467	- 0.18 467	- 0.18 467	- 0.18 468	- 0.18 469	- 0.18 47	1.1
0.3	1.975	- 0.61 543	- 0.62 25	- 0.65 074	- 0.65 285	- 0.65 288	- 0.65 288	- 0.65 288	- 0.65 291	- 0.65 301	- 0.65 312	- 0.65 332	6.16
0.6	1.986	- 0.62 505	- 0.62 516	- 0.63 989	- 0.66 019	- 0.66 102	- 0.66 102	- 0.66 102	- 0.66 105	- 0.66 116	- 0.66 127	- 0.66 148	5.83
0.9	2.001	- 0.58 142	- 0.58 143	- 0.58 162	- 0.59 596	- 0.61 152	- 0.61 154	- 0.61 154	- 0.61 157	- 0.61 168	- 0.61 179	- 0.61 201	5.26
1.2	2.016	- 0.00 154	- 0.00 154	- 0.00 154	- 0.00 171	- 0.00 269	- 0.00 266	- 0.00 264	- 0.00 268	- 0.00 279	- 0.00 29	- 0.00 312	102.18
1.5	2.031	0	- 0.00 015	-1E- 09	8.55 E-08	9.52 E-05	0.00 025	0.00 055	0.00 042 9	- 6.8E -05	0.00 022 2	4.36 E-06	0
1.8	2.047	0.00 154 2	0.00 154 2	0.00 154 2	0.00 154 2	0.00 154 5	0.00 154 6	0.00 164 8	0.00 269 7	0.00 342 6	0.00 334 3	0.00 312 7	122.1
2.1	2.062	0.58 142 4	0.58 142 4	0.58 142 4	0.58 142 4	0.58 142 4	0.58 142 4	0.58 142 3	0.58 958 3	0.61 126 6	0.61 220 5	0.61 202	5.29
2.4	2.077	0.62 505 4	0.62 505 4	0.62 505 4	0.62 505 4	0.62 505 4	0.62 505 4	0.62 505 4	0.62 527 6	0.63 778 9	0.66 067 6	0.66 149 2	5.83
2.7	2.091	0.61 512 5	0.61 512 5	0.61 512 5	0.61 512 5	0.61 512 5	0.61 512 5	0.61 512 5	0.61 513 1	0.61 532 9	0.62 995 7	0.65 113 2	5.85
3	2.106	0.18 279 2	0.18 279 2	0.18 279 2	0.18 279 2	0.18 279 2	0.18 279 2	0.18 279 2	0.18 279 2	0.18 279 3	0.18 292 2	0.18 481 4	1.11

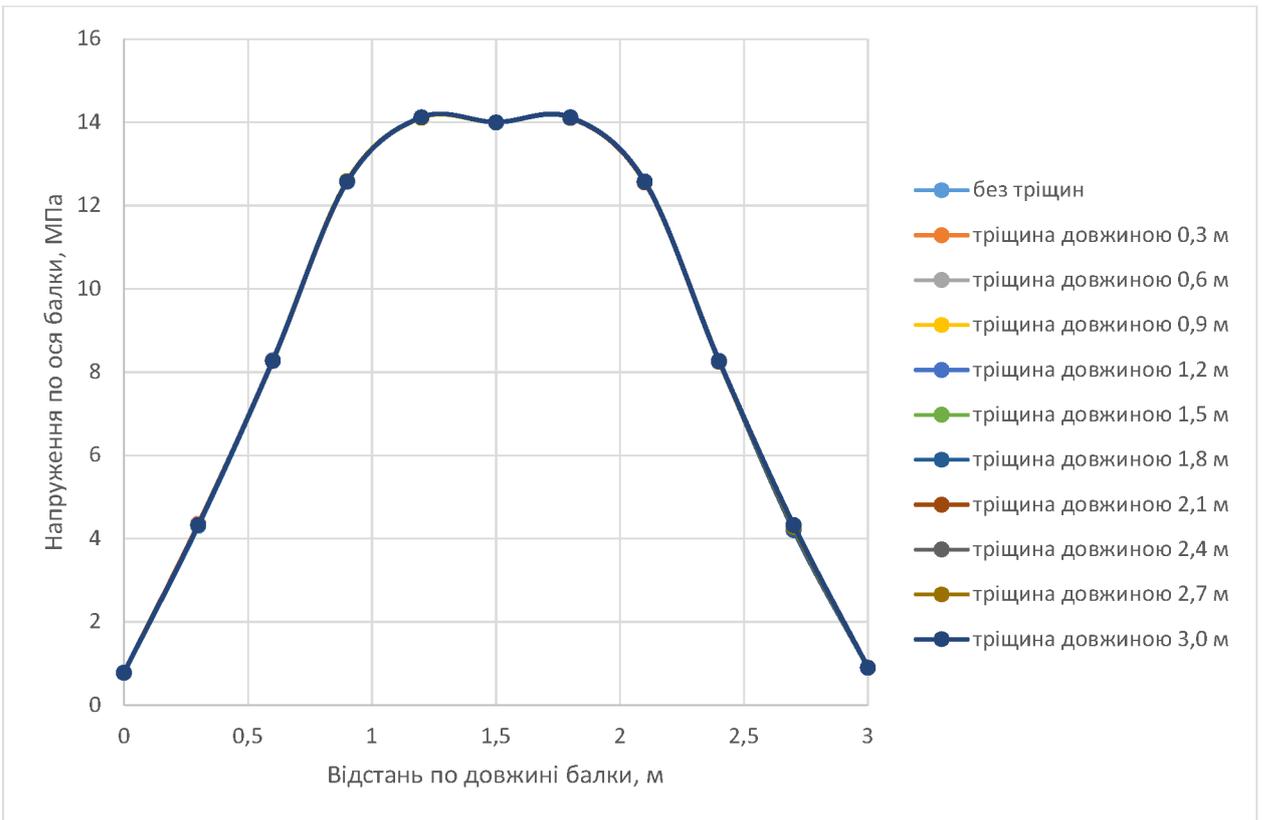


Рис. 7. Графік залежності нормальних напружень по довжині балки в розтягнутій зоні.

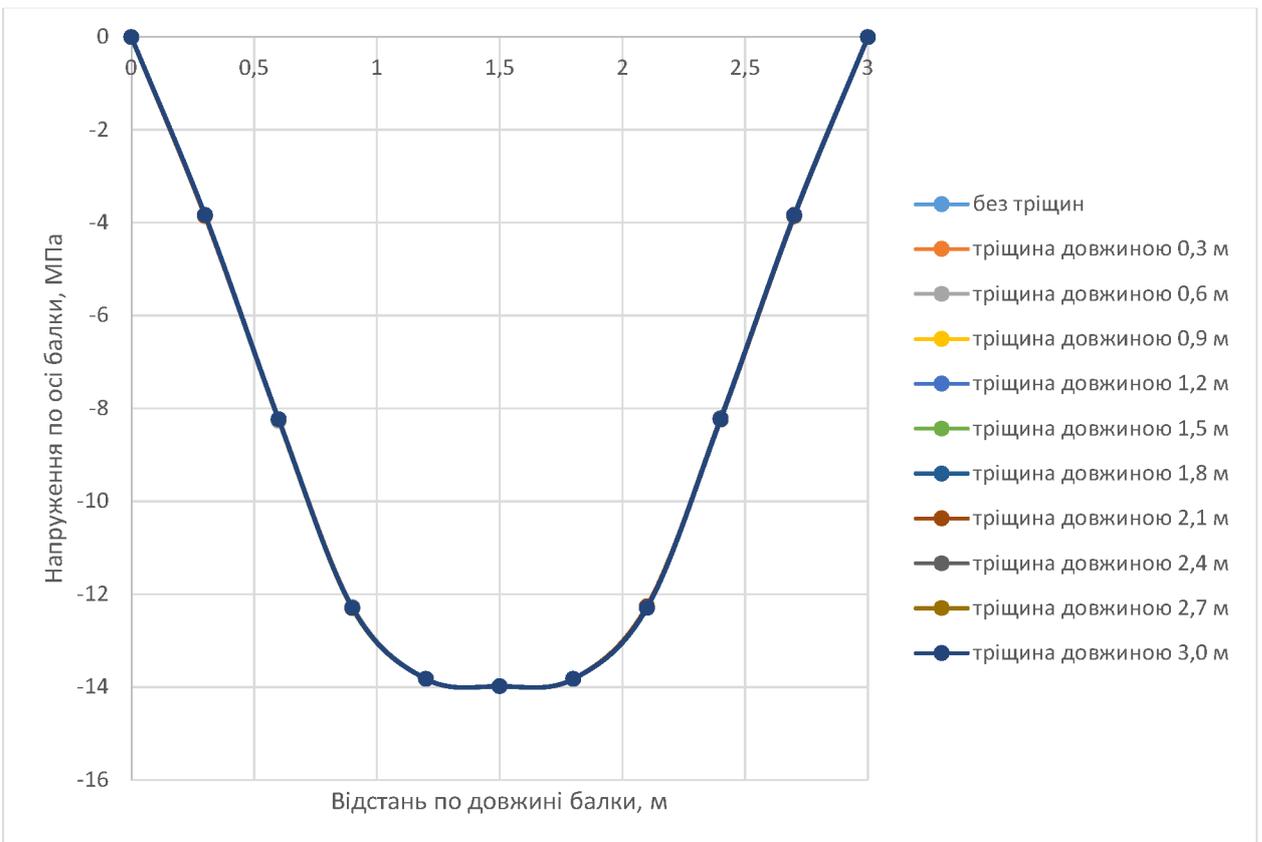


Рис. 8. Графік залежності нормальних напружень по довжині балки в стиснутій зоні.



0	3	0.78 861 7	0.78 347	0.78 328 9	0.78 329 5	0.78 329 4	0.68						
0.3	332	4.30 874	4.40 948	4.36 322	4.36 1	4.36 102	2.34						
0.6	347	8.27 186	8.27 292	8.32 248	8.27 488	8.27 773	8.27 774	8.27 774	8.27 774	8.27 774	8.27 774	8.27 774	0.61
0.9	362	12.5 715	12.5 715	12.5 718	12.6 196	12.5 885	12.5 887	12.5 887	12.5 887	12.5 887	12.5 887	12.5 887	0.38
1.2	377	14.1 098	14.1 098	14.1 098	14.1 107	14.1 331	14.1 312	14.1 311	14.1 311	14.1 311	14.1 311	14.1 311	0.17
1.5	392	14.0 011	14.0 011	14.0 011	14.0 011	14.0 031	14.0 036	14.0 037	14.0 057	14.0 057	14.0 057	14.0 057	0.03
1.8	408	14.1 098	14.1 098	14.1 098	14.1 098	14.1 098	14.1 098	14.1 095	14.1 26	14.1 311	14.1 311	14.1 311	0.15
2.1	423	12.5 715	12.5 533	12.5 861	12.5 888	12.5 887	0.14						
2.4	438	8.27 185	8.27 443	8.23 092	8.27 473	8.27 773	0.49						
2.7	453	4.30 888	4.20 888	4.20 888	4.20 888	4.20 888	4.20 888	4.20 888	4.30 89	4.30 864	4.26 212	4.36 117	2.32
3	467	0.90 901 1	0.90 894 5	0.90 829	0.08								

Таблиця 6. Величини нормальних напружень у верхній частині балки, МПа

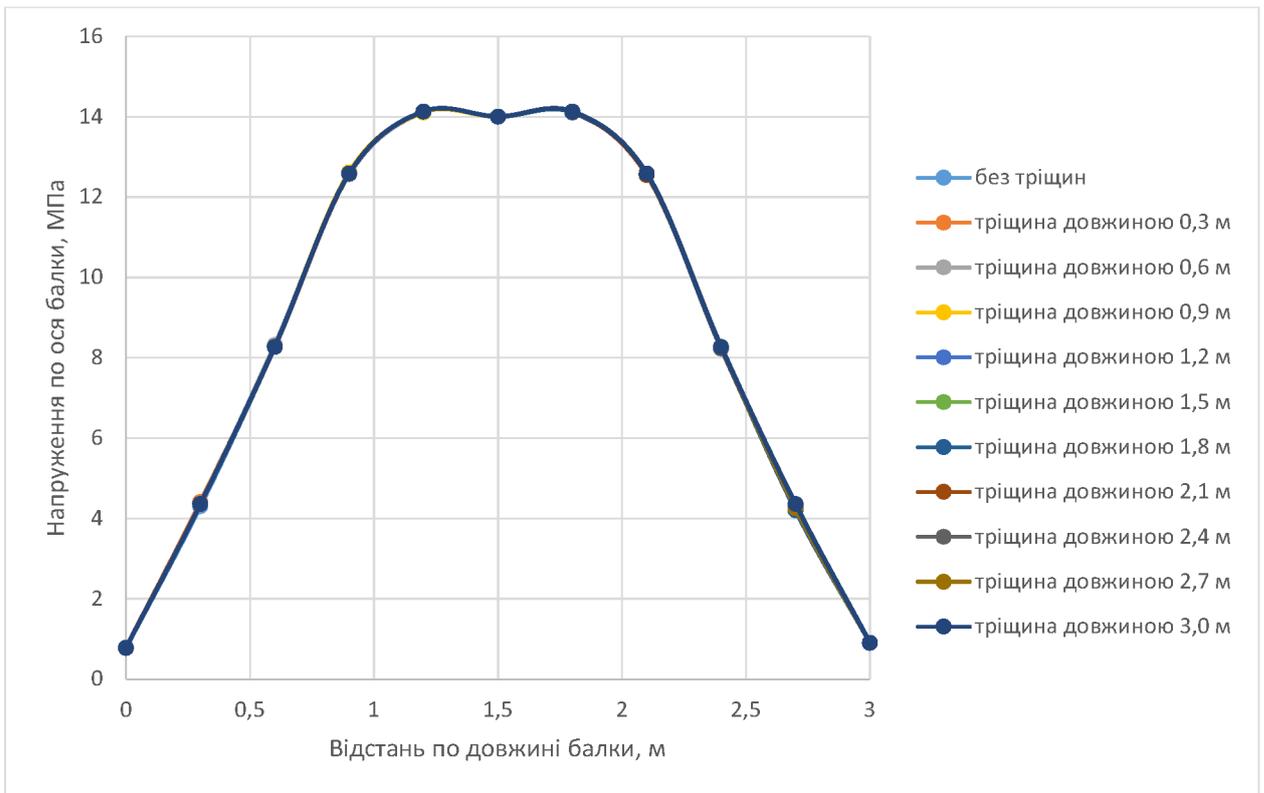
Відс тань по дов жин і бал ки	№ еле мент а	Довжина поздовжньої тріщини, м											макси мальн е відхи лення, %	
		0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3		
0	3014	- 0.00 256	0.00 021 6	0.00 045	0.00 045 2	0.00 045 1	117.63							
0.3	4971	- 3.85 751	- 3.87 161	- 3.81 92	- 3.81 717	- 3.81 712	1.05							
0.6	4986	- 8.23 812	- 8.23 805	- 8.29 044	- 8.23 952	- 8.23 313	0.64							
0.9	5001	- 12.2 748	- 12.2 748	- 12.2 754	- 12.3 296	- 12.3 113	- 12.3 11	0.45						
1.2	5016	- 13.8 234	- 13.8 234	- 13.8 234	- 13.8 233	- 13.8 23	- 13.8 248	- 13.8 249	- 13.8 249	- 13.8 249	- 13.8 249	- 13.8 249	- 13.8 249	0.01

1.5	5031	- 13.9 833	- 13.9 833	- 13.9 833	- 13.9 833	- 13.9 813	- 13.9 809	- 13.9 807	- 13.9 789	- 13.9 788	- 13.9 788	- 13.9 788	0.03
1.8	5047	- 13.8 234	- 13.8 234	- 13.8 234	- 13.8 234	- 13.8 234	- 13.8 234	- 13.8 239	- 13.8 246	- 13.8 249	- 13.8 249	- 13.8 249	0.01
2.1	5062	- 12.2 748	- 12.2 517	- 12.3 077	- 12.3 109	- 12.3 11	0.29						
2.4	5077	- 8.23 815	- 8.23 521	- 8.18 558	- 8.22 995	- 8.23 313	0.64						
2.7	5092	- 3.85 751	- 3.85 75	- 3.85 719	- 3.80 998	- 3.81 712	1.23						
3	5106	- 0.00 259	- 0.00 255	- 0.00 045	117.34								

Таблиця 7. Величини дотичних напружень по осі балки, МПа

Відс тань по дов жин і бал ки	№ еле мент а	Довжина поздовжньої тріщини, м											макси мальн е відхи лення, %	
		0	0.3	0.6	0.9	1.2	1.5	1.8	2.1	2.4	2.7	3		
0	14	- 0.18 269	- 0.18 537	- 0.18 639	- 0.18 64	2.03								
0.3	1975	- 0.61 543	- 0.62 794	- 0.68 323	- 0.68 716	- 0.68 723	11.67							
0.6	1986	- 0.62 505	- 0.62 529	- 0.65 434	- 0.69 404	- 0.69 547	11.27							
0.9	2001	- 0.58 142	- 0.58 143	- 0.58 181	- 0.61 018	- 0.64 073	- 0.64 075	10.2						
1.2	2016	- 0.00 154	- 0.00 154	- 0.00 154	- 0.00 187	- 0.00 421	- 0.00 437	- 0.00 436	- 0.00 437	- 0.00 436	- 0.00 436	- 0.00 436	- 0.00 436	183.45
1.5	2031	0	-1E- 09	0	1.46 E-07	0.00 016 4	0.00 010 1	0.00 016	- 6.6E -06	- 1.3E -07	5E- 09	0	0	
1.8	2047	0.00 154 2	0.00 154 2	0.00 154 2	0.00 154 2	0.00 154 6	0.00 154 2	0.00 143	0.00 295 3	0.00 434 6	0.00 436 4	0.00 436 5	183	

2.1	2062	0.58 142 4	0.58 142 4	0.58 142 4	0.58 142 4	0.58 142 4	0.58 142 4	0.58 141 9	0.59 703 6	0.63 901 1	0.64 072 7	0.64 075 3	10.2
2.4	2077	0.62 505 4	0.62 505 4	0.62 505 4	0.62 505 4	0.62 505 4	0.62 505 4	0.62 505 3	0.62 547 3	0.64 968 9	0.69 377 2	0.69 546 7	11.27
2.7	2091	0.61 512 5	0.61 513 6	0.61 551	0.64 394 1	0.68 492	11.35						
3	2106	0.18 279 2	0.18 279 3	0.18 304 5	0.18 651 2	2.04							



*Рис. 10. Графік залежності нормальних напружень по довжині балки в розтягнутій зоні.*

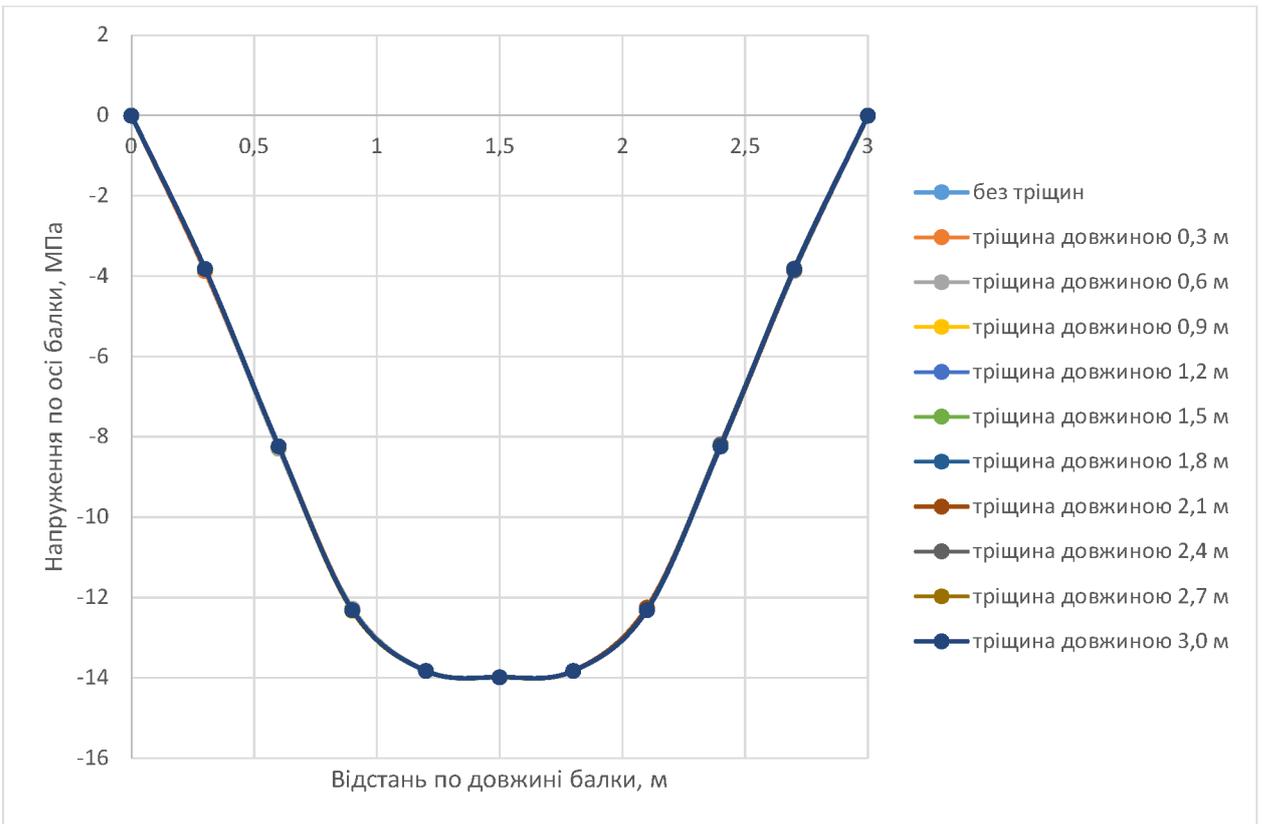


Рис. 11. Графік залежності нормальних напружень по довжині балки в стиснутій зоні.

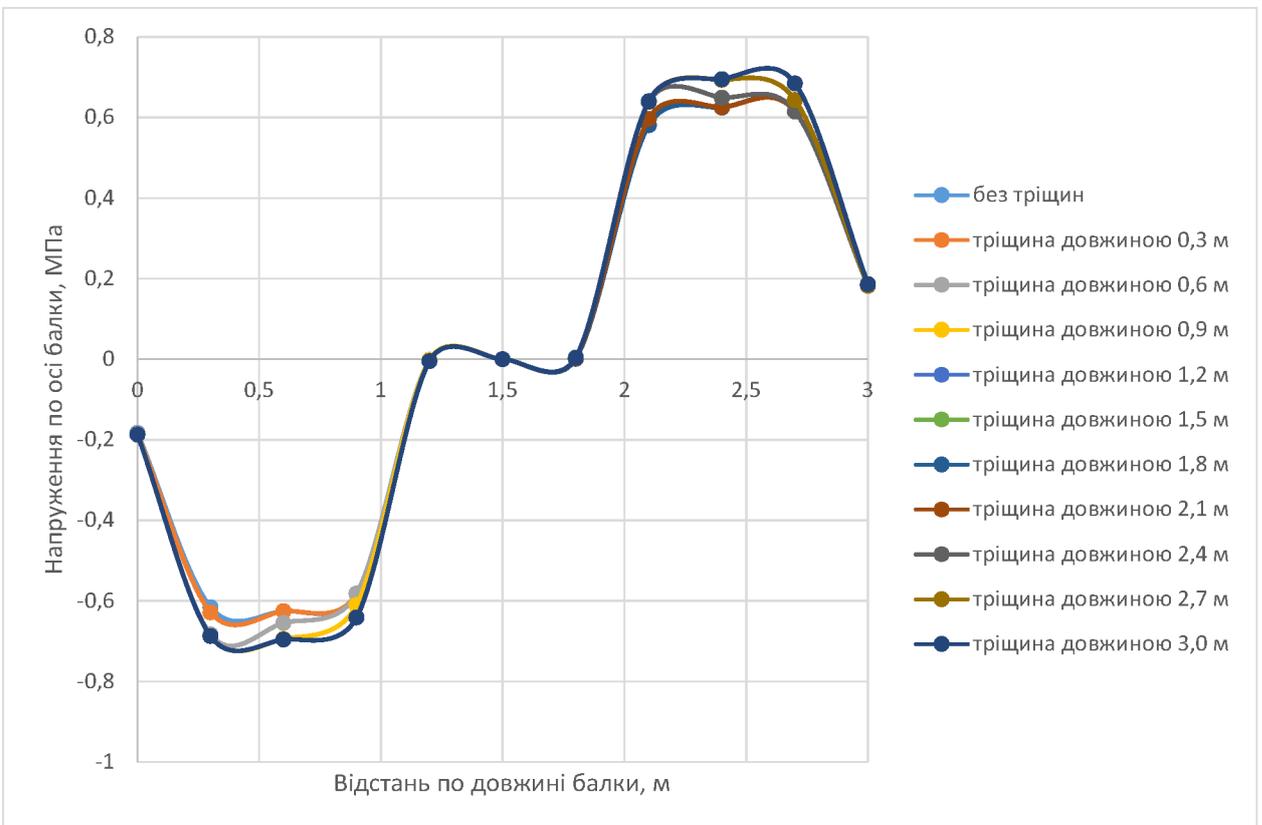


Рис. 12. Графік залежності дотичних напружень по довжині балки.

## РОЗДІЛ 4. ВИСНОВКИ

На основі проведених розрахунків суцільної дерев'яної балки за методом скінчених елементів можна зробити наступні висновки:

1. Максимальна різниця нормальних напружень в розтягнутій зоні балки виникає біля опори і, як при симетричному, так і несиметричному тріщиноутворенні, не перевищує 2,5%. В зоні виникнення максимальних напружень ця різниця не перевищує 0,4%. В зв'язку з невеликим розміром різниці, перевірку балки по розтягнутій зоні можна виконувати нехтуючи тріщиноутворенням.
2. Максимальна різниця нормальних напружень в стиснутій зоні балки виникає біля опори і, при симетричному тріщиноутворенні, не перевищує 118%, а при несиметричному тріщиноутворенні – 62%. В зоні виникнення максимальних напружень, як при симетричному, так і несиметричному тріщиноутворенні, ця різниця не перевищує 0,45%. В зв'язку з невеликим розміром різниці в зоні виникнення максимальних напружень, перевірку балки по стиснутій зоні можна виконувати нехтуючи тріщиноутворенням.
3. Максимальна різниця дотичних напружень виникає біля середини прольоту балки і, при симетричному тріщиноутворенні, не перевищує 185%, а при несиметричному тріщиноутворенні – 125%. В зоні виникнення максимальних дотичних напружень при симетричному тріщиноутворенні різниця не перевищує 12%, а при несиметричному тріщиноутворенні – 6%. Окрім цього при розташуванні тріщин по осі балки зменшується додатково розрахункова площа при розрахунку на сколювання.

Таким чином дерев'яні суцільні балки, що зазнають згин, з утворенням поздовжніх тріщин необхідно перевіряти на дію дотичних напружень з урахуванням зменшення розрахункової площі сколювання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бойтемирова, И.Н. CLT-панели эффективный материал из древесины для несущих и ограждающих конструкций зданий / И.Н. Бойтемирова, Е.А. Давыдова // Вестник научных конференций №12-1, 2016. – С.18-21.
2. Gintoff, V. CLT and the future of wood: The timber revolution comes to industrial architecture / V. Gintoff URL: <https://www.archdaily.com/782264/clt-crosslaminated-timber-and-the-future-of-wood-the-timber-revolution-comes-to-industrialarchitecture>
3. 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 : Мінрегіонбуд України, 2017. 111 с.
4. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. На заміну СНиП 2.01.07-85 (за винятком розділу 10) ; чинний від 2020-06-01. Вид. офіц. Київ : М-во регіон. розвитку та буд-ва України, 2020. 68 с.
5. ДБН В.1.2-14:2018. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Загальні принципи забезпечення надійності та конструктивної безпеки будівель і споруд. Зі Зміною № 1. На заміну ДБН В.1.2-14-2009 ; чинний від 2022-09-01. Вид. офіц. Київ : М-во розвитку громад та територій України, 2022. 34 с.
6. ДСТУ-Н Б EN 1990:2008. Єврокод. Основи проектування конструкцій (EN 1990:2002, IDT). Чинний від 2013-07-01. Вид. офіц. ДП "УкрНДНЦ", 2013. 22 с.
7. ДСТУ-Н Б EN 1995-1-1:2010. Єврокод 5. Проектування дерев'яних конструкцій. Частина 1-1. Загальні правила і правила для споруд (EN 1995-1-1:2004, IDT). Чинний від 2014-01-01. Вид. офіц. Київ : ДП "УкрНДНЦ", 2014. 243 с.

8. ДСТУ EN 338:2022. Конструкційний лісоматеріал. Класи міцності (EN 338:2016, IDT). На заміну ДСТУ EN 338:2004 ; чинний від 2023-12-31. Вид. офіц. Київ : ДП "УкрНДНЦ", 2024. 86 с.
9. ДСТУ EN 383:2003. Конструкції з пиломатеріалу. Методи випробування. Визначення міцності з'єднання і оцінювання основи для шрифтових кріпильних елементів. Чинний від 2004-10-01. Вид. офіц. Київ : ДП "УкрНДНЦ", 2005. 12 с.

## 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:** ФУРТАТ Владислав Віталійович

**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:** 5.2%

**Коефіцієнт подібності 2:** 3.8%

**Мікропробіли:** 3

**Заміна букв:** 0

**Інтервали:** 0

**Білі знаки:** 0

**Дата створення звіту:** 2024-11-01 10:52:25.0

**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:**

2024-11-01

Надія Бараннік

*Дата*

експерт



ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
АВТОМОБІЛЬНО-ДОРОЖНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

# СЕРТИФІКАТ

засвідчує, що

## ФУРТАТ В.

брав(ла) участь у 86-ій Міжнародній науковій конференції студентів ХНАДУ  
з доповіддю на тему

“Економічний ефект впливу поздовжніх тріщин на напружено деформований стан дерев’яних елементів, що зазнають згин”

ДЕКАН ФУБ



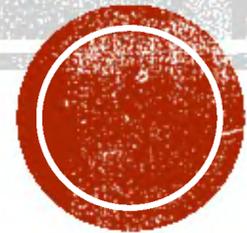
ІННА ШЕВЧЕНКО

8-12 квітня, 2024.  
Харків, Україна

# ВПЛИВ ПОЗДОВЖНИХ ТРІЩИН НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ДЕРЕВ'ЯНИХ ЕЛЕМЕНТІВ, ЩО ЗАЗНАЮТЬ ЗГИН

Виконав: магістр гр. БУД 2301 м Фуртат Владислав Віталійович

Керівник: к.т.н., доцент Савченко О.С.



**Мета роботи** – на основі математичного моделювання визначити вплив поздовжніх тріщин на несучу здатність дерев'яних елементів, що зазнають згин.

**Задачі дослідження.**

Визначити вплив поздовжніх тріщин на несучу здатність дерев'яних елементів при різних їх довжинах і місцях розташування.

**Об'єкт дослідження** – дерев'яні елементи, що зазнають згин, послаблені поздовжніми тріщинами.

**Предмет дослідження** – несуча здатність і деформативність дерев'яних елементів, що зазнають згин, послаблених поздовжніми тріщинами.



**Методи дослідження** – метод скінчених елементів (програмний комплекс «Лира-САПР»).

**Наукову новизну** складає:

- оцінка НДС дерев'яних конструкцій, що зазнають згин, послаблених позовжніми тріщинами, за результатами чисельних досліджень.

**Практична значимість** магістерської роботи полягає в тому, що отримані результати дослідження дозволяють отримати уяву про НДС дерев'яних конструкцій, послаблених позовжніми тріщинами і зробити висновки про можливість їх використання при реконструкції або реставрації.

**Апробація роботи.**

Основні результати роботи доповідалися на студентській конференції Харківського національного автомобільно-дорожнього університету.



При вирішенні завдання визначали коефіцієнти зміни напружень в перерізі  $K_\sigma$  і  $K_\tau$ , що залежать від довжини тріщини і показують у скільки разів знижується несуча здатність балки з дефектом:

$$K_\sigma = \frac{\sigma_d}{\sigma_c}; K_\tau = \frac{\tau_d}{\tau_c}$$

де  $\sigma_c, \tau_c$  і  $\sigma_d, \tau_d$  – нормальні і дотичні напруження в балці з суцільним перерізом і в балці з тріщиною

Обстеження багатьох об'єктів, що експлуатуються протягом 50... 150 років, показали, що близько 80% балок перекриттів мають вертикальні і горизонтальні тріщини різної довжини, причому 92% з них розвиваються з боку торців.



Об'ємний напружений стан досліджували на прикладі балок перекриттів довжиною  $L = 3,0$  м і перерізом  $100 \times 160$  мм при співвідношенні  $H/L = 1/20$  ( $H$  – висота перерізу)

При виконанні аналітичного розрахунку зазначеної балки отримано:

$$M_{max} = 6,83 \text{ кН} \cdot \text{м}$$

При завантаженні балки двома зосередженими силами на відстані  $1/3$  від опор

$$P = \frac{M_{max}}{l/3} = \frac{6,83}{3/3} = 6,83 \text{ кН}$$

Максимальні нормальні напруження

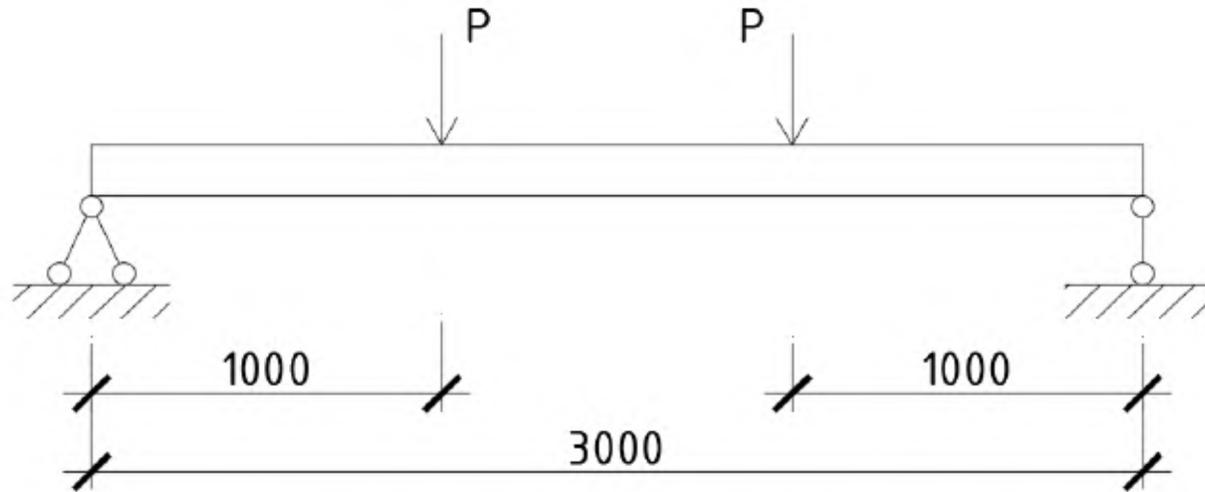
$$\sigma = 16 \text{ МПа}$$

Максимальні дотичні напруження

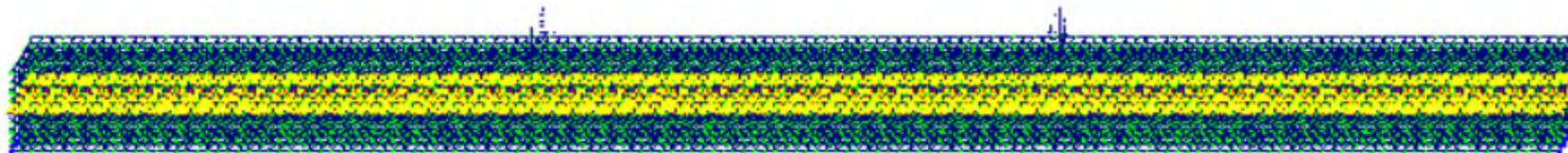
$$\tau = 5,1 \text{ МПа}$$



**Схема прикладення навантаження на досліджувану балку**



**Розрахункова схема балки без тріщини.**



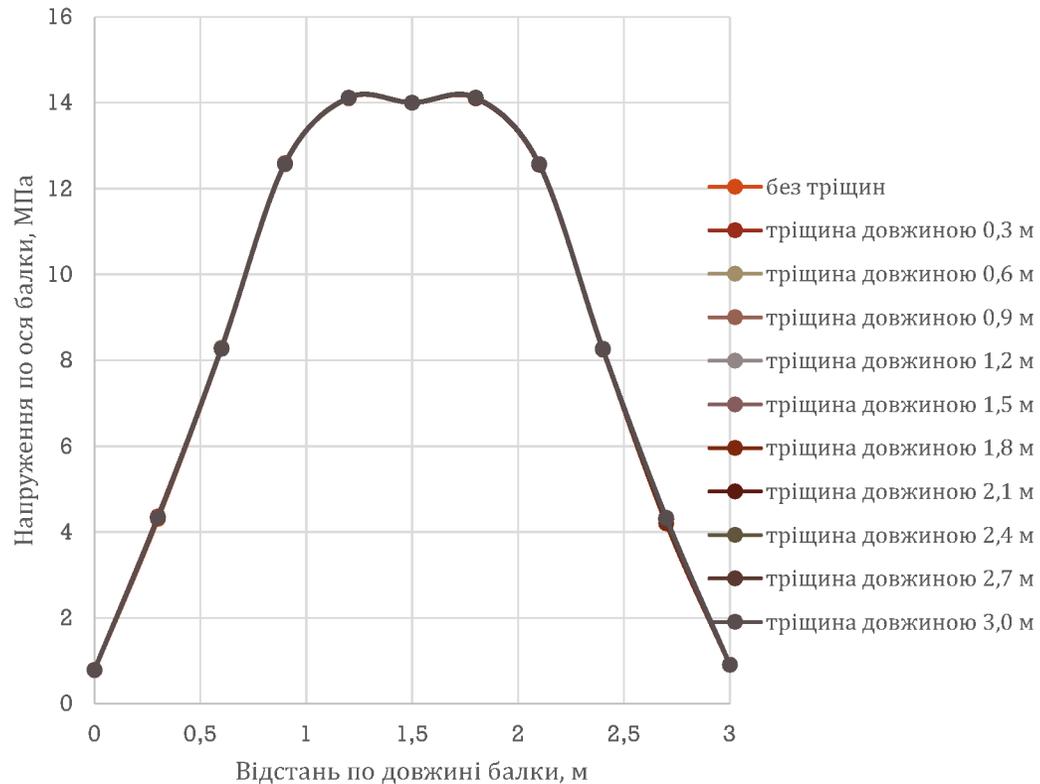
## Характеристики деревини, що використовуються при розрахунку

Назва характеристики	Позначення	Одиниці виміру	Значення
Щільність	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>	420
Модуль пружності X	$E_x$	кН/см <sup>2</sup>	1000
Модуль пружності Y	$E_y$	кН/см <sup>2</sup>	33
Модуль пружності Z	$E_z$	кН/см <sup>2</sup>	33
Коефіцієнт Пуассона XY	$\nu_{xy}$	-	0,018
Коефіцієнт Пуассона XZ	$\nu_{xz}$	-	0,018
Коефіцієнт Пуассона YZ	$\nu_{yz}$	-	0,3
Модуль зсуву XY	$G_{xy}$	кН/см <sup>2</sup>	62,3
Модуль зсуву XZ	$G_{xz}$	кН/см <sup>2</sup>	62,3
Модуль зсуву YZ	$G_{yz}$	кН/см <sup>2</sup>	11,2

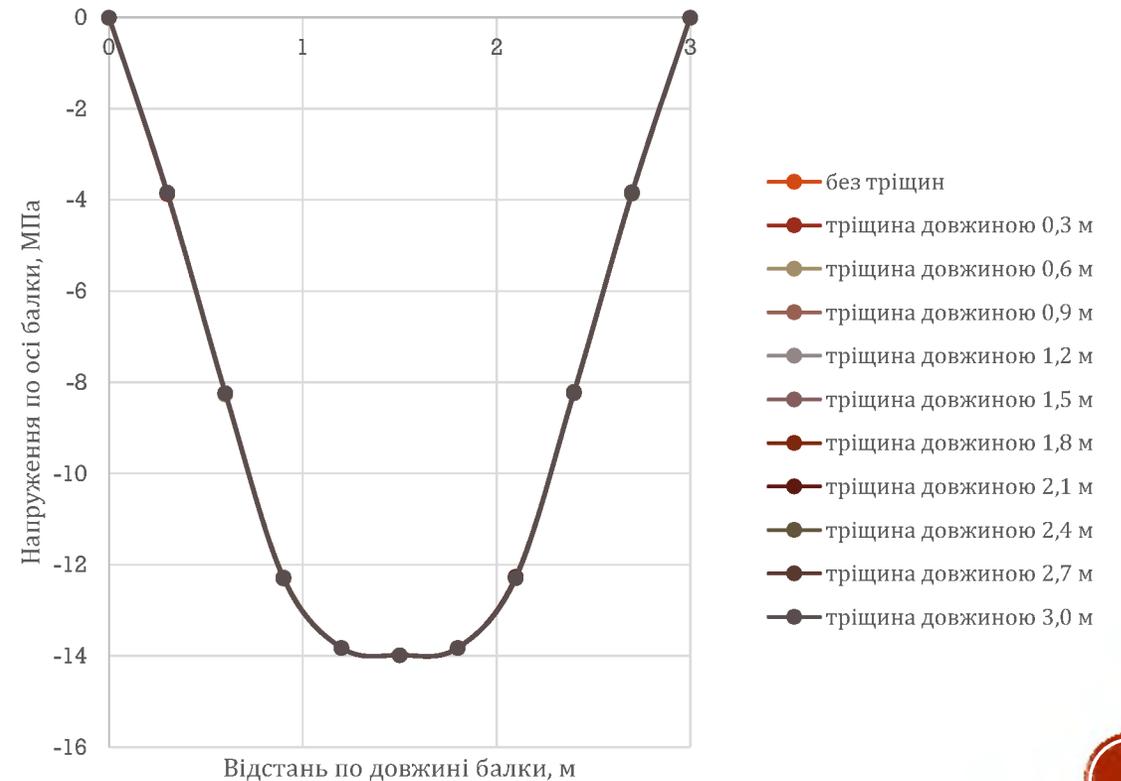


## При розташуванні тріщин з одного боку балки

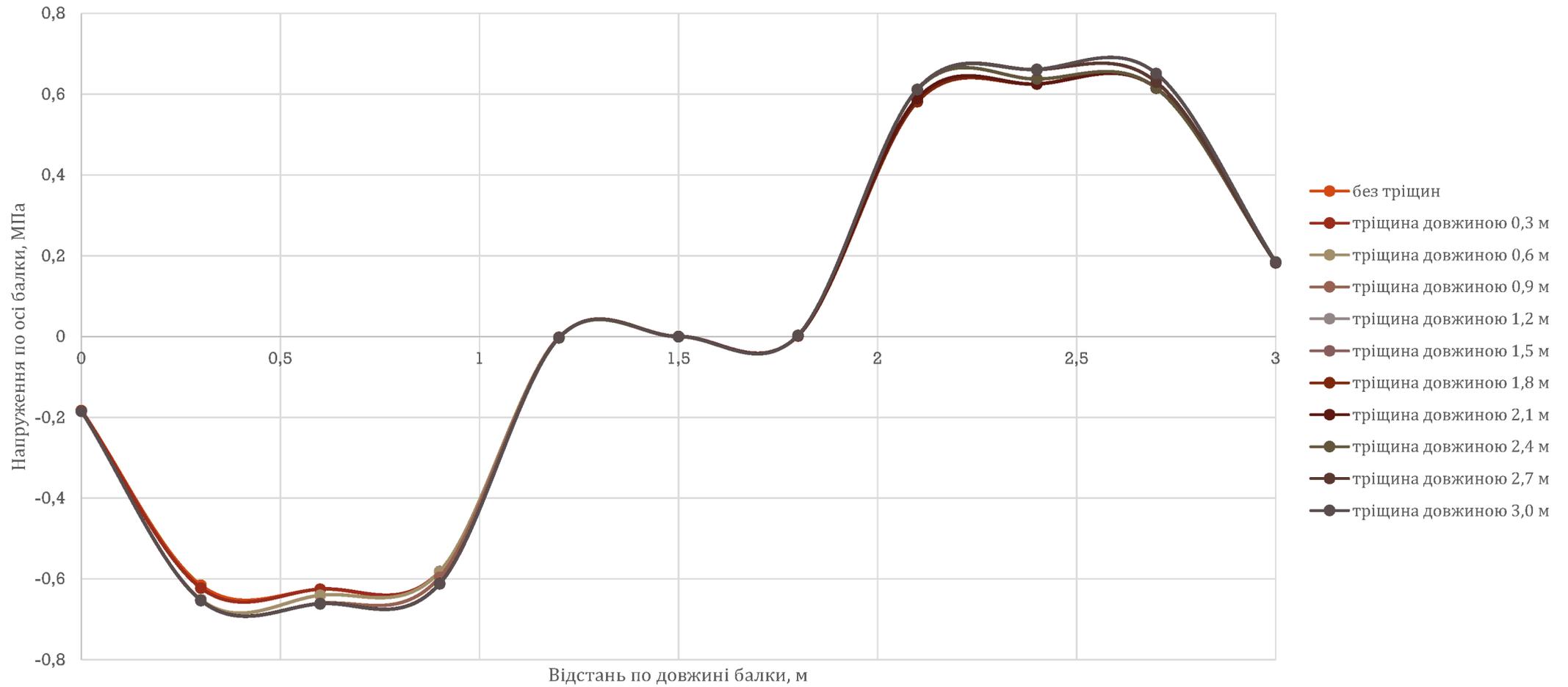
Графік залежності нормальних напружень по довжині балки в розтягнутій зоні



Графік залежності нормальних напружень по довжині балки в стиснутій зоні.

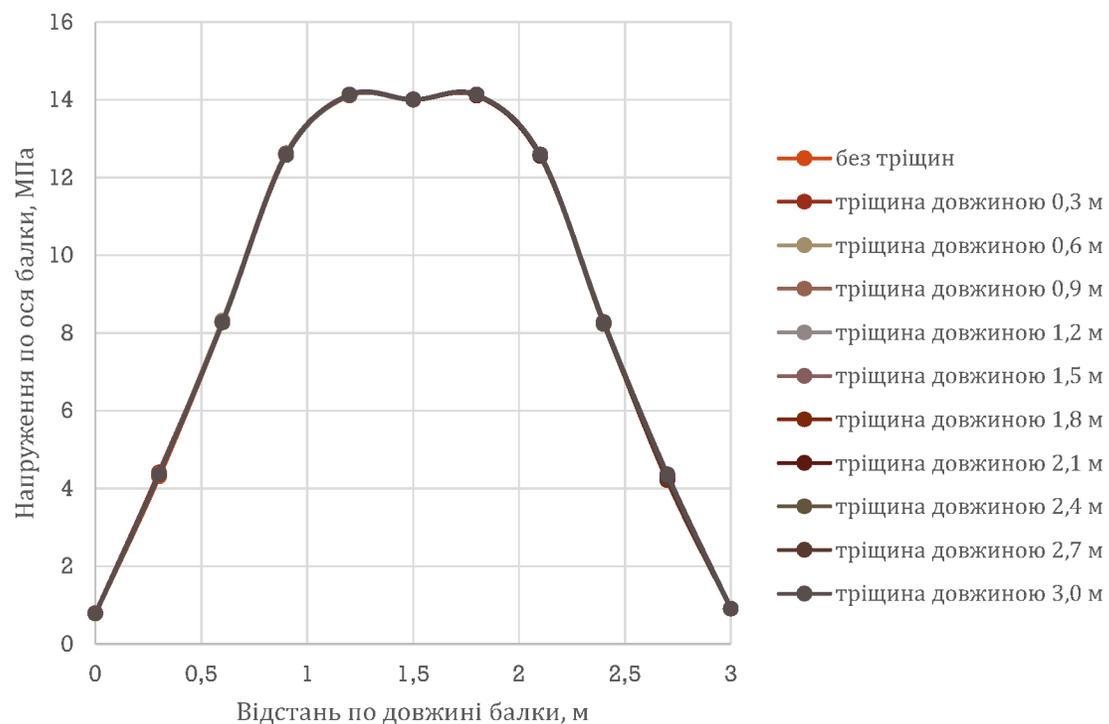


## Графік залежності дотичних напружень по довжині балки

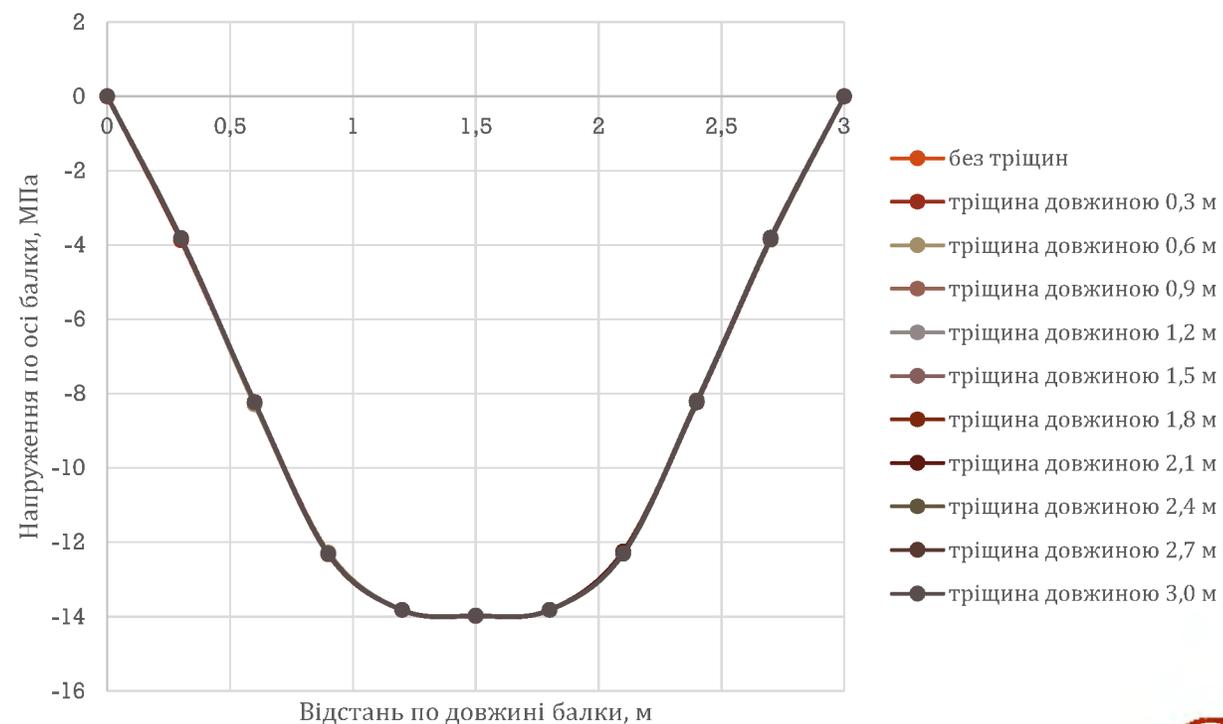


## При розташуванні тріщин симетрично з двох боків балки

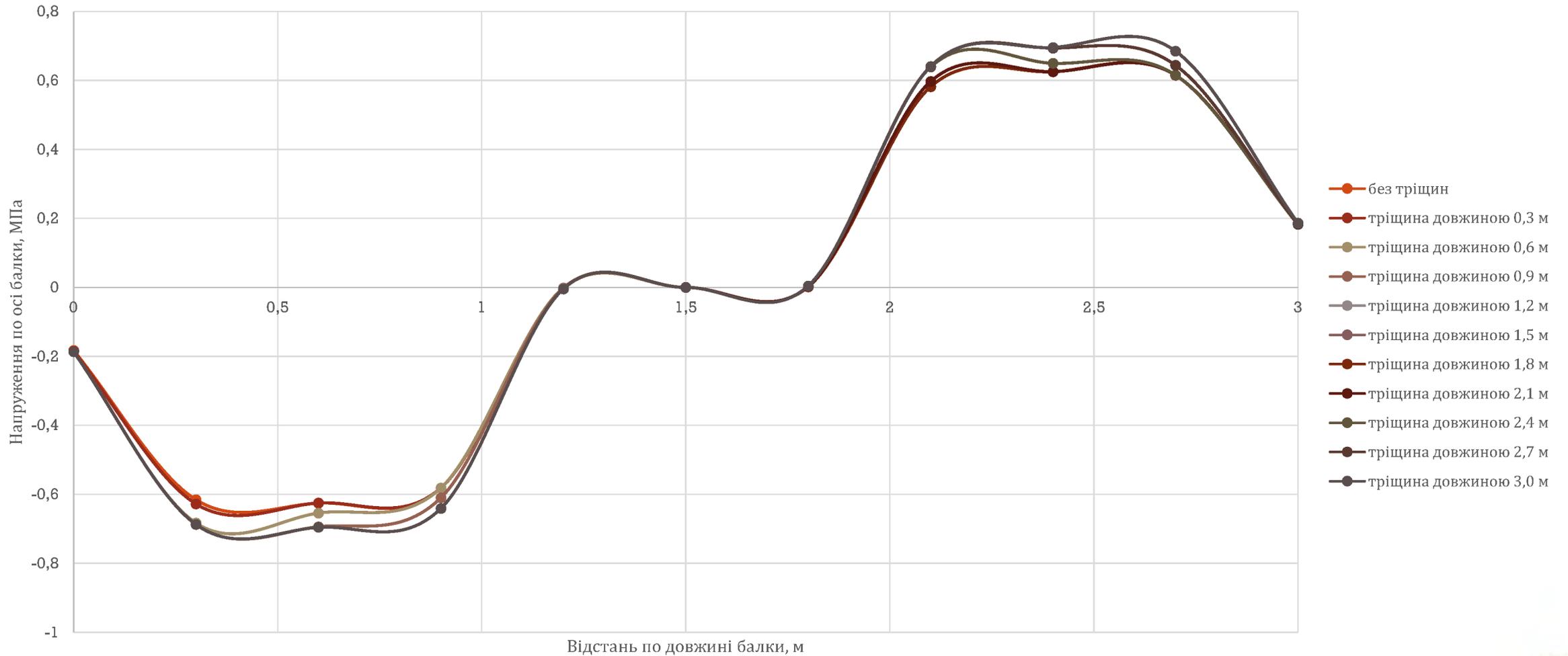
Графік залежності нормальних напружень по довжині балки в розтягнутій зоні



Графік залежності нормальних напружень по довжині балки в стиснутій зоні



Графік залежності дотичних напружень по довжині балки.



## Висновки

На основі проведених розрахунків суцільної дерев'яної балки за методом скінчених елементів можна зробити наступні висновки:

1. Максимальна різниця нормальних напружень в розтягнутій зоні балки виникає біля опори і, як при симетричному, так і несиметричному тріщиноутворенні, не перевищує 2,5%. В зоні виникнення максимальних напружень ця різниця не перевищує 0,4%. В зв'язку з невеликим розміром різниці, перевірку балки по розтягнутій зоні можна виконувати нехтуючи тріщиноутворенням.
2. Максимальна різниця нормальних напружень в стиснутій зоні балки виникає біля опори і, при симетричному тріщиноутворенні, не перевищує 118%, а при несиметричному тріщиноутворенні – 62%. В зоні виникнення максимальних напружень, як при симетричному, так і несиметричному тріщиноутворенні, ця різниця не перевищує 0,45%. В зв'язку з невеликим розміром різниці в зоні виникнення максимальних напружень, перевірку балки по стиснутій зоні можна виконувати нехтуючи тріщиноутворенням.



3. Максимальна різниця дотичних напружень виникає біля середини прольоту балки і, при симетричному тріщиноутворенні, не перевищує 185%, а при несиметричному тріщиноутворенні – 125%. В зоні виникнення максимальних дотичних напружень при симетричному тріщиноутворенні різниця не перевищує 12%, а при несиметричному тріщиноутворенні – 6%. Окрім цього при розташуванні тріщин по осі балки зменшується додатково розрахункова площа при розрахунку на сколювання.

Таким чином дерев'яні суцільні балки, що зазнають згин, з утворенням поздовжніх тріщин необхідно перевіряти на дію дотичних напружень з урахуванням зменшення розрахункової площі сколювання.



Доповідь закінчено  
Дякую за увагу

