

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Дослідження впливу способу армування  
на тримку здатність клеєних дерев'яних балок

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МБмн-61  
спеціальності 192 Будівництво та цивільна

інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Закамарко В.В.  
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Керівник

(підпис)

Сорочак А.П.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Данильченко С.М.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Ясній В.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Шпінталь М.Я.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет інженерії машин, споруд та технологій  
(повна назва факультету)

Кафедра будівельної механіки  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ясній В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня магістр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Закамарко Василь Васильович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Дослідження впливу способу армування  
на тримку здатність клеєних дерев'яних балок

Керівник роботи к.т.н., доц. Сорочак Андрій Петрович  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 04 » квітня 2022 року № 4/7-207

2. Термін подання студентом завершеної роботи 20 травня 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи Клеєна дерев'яна балка L=20 м, B=0,2 м, H=0,4 м.

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Аналіз способів армування клеєних дерев'яних балок.

Методика дослідження впливу способу армування на тримку здатність клеєних дерев'яних балок.

Аналіз результатів дослідження впливу способу армування на тримку здатність клеєних дерев'яних балок.

Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)

Постановка проблеми досліджень. Мета і завдання роботи. Методика проведення досліджень.

Огляд способів армування клеєних дерев'яних балок. Методика розрахунку армованих клеєних дерев'яних конструкцій методом скінчених елементів. Результати розрахунку різних способів армування клеєних дерев'яних балок. Аналіз та порівняння способів армування клеєних дерев'яних балок.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	к.т.н., доц. Каспрук В.Б.		
Безпека в надзв. ситуаціях	ст. викл. Стручок В.С.		

7. Дата видачі завдання 05 квітня 2022 р.

**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд літератури за темою досліджень	10.04.2022	
2	Мета і завдання дослідження	13.04.2022	
3	Аналіз способів армування клеєних дерев'яних балок	20.04.2022	
4	Розробка методики розрахунку армованих клеєних дерев'яних конструкцій методом скінченних елементів	28.04.2022	
5	Аналіз результатів розрахунку різних способів армування клеєних дерев'яних балок	04.05.2022	
6	Аналіз та порівняння способів армування клеєних дерев'яних балок	12.05.2022	
7	Охорона праці	15.05.2022	
8	Безпека в надзвичайних ситуаціях	19.05.2022	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Закармарко В.В.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Сорочак А.П.

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>5</b>
<b>Розділ 1 АРМУВАННЯ КЛЕЄНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК.....</b>	<b>7</b>
1.1. Загальна характеристика клеєних дерев'яних конструкцій.....	7
1.2. Способи армування клеєних дерев'яних конструкцій.....	11
1.3. Особливості сумісної роботи деревини та сталі .....	15
1.4. Висновки до розділу .....	18
<b>Розділ 2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПОСОБУ АРМУВАННЯ НА ТРИМКУ ЗДАТНІСТЬ КЛЕЄНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК .....</b>	<b>20</b>
2.1. Вибір способів армування клеєних дерев'яних балок для дослідження .....	20
2.2. Конструкція армованих клеєних дерев'яних балок .....	24
2.3. Методика розрахунку армованих клеєних дерев'яних конструкцій методом скінченних елементів.....	25
2.4. Висновки до розділу .....	30
<b>Розділ 3 АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПОСОБУ АРМУВАННЯ НА ТРИМКУ ЗДАТНІСТЬ КЛЕЄНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК .....</b>	<b>31</b>
3.1. Результати розрахунку різних способів армування клеєних дерев'яних балок. ....	31
3.2. Аналіз та порівняння способів армування клеєних дерев'яних балок.....	45
3.3. Висновки до розділу .....	50
<b>Розділ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....</b>	<b>51</b>
4.1. Основні вимоги до виробничої санітарії при виконанні будівельних робіт.....	51

4.2. Охорона праці при монтажі вогнезахисного покриття.....	52
4.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	54
4.3.1. Заходи протипожежної профілактики .....	54
4.3.2. Виявлення та оцінка небезпеки, моделювання можливої обстановки відпрацювання сценаріїв на об'єкті .....	56
4.4. Висновки до розділу .....	58
<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ .....</b>	<b>60</b>
<b>БІБЛІОГРАФІЯ.....</b>	<b>62</b>

## ВСТУП

**Актуальність теми роботи.** Відомо, що перевагами клеєних та гнуто-клеєних дерев'яних конструкцій є мала монтажна маса, відносно висока міцність та жорсткість при достатній надійності і довговічності. І хоч їх використання не таке масове, як у металевих чи залізобетонних конструкцій, вони часто застосовуються при спорудженні будівель сільськогосподарського призначення, навісів, складів тощо. Також зростає їх роль в створенні легких та міцних конструкції великопротітних покриттів громадських будівель [1-4].

Разом з тим для них характерні певні недоліки, такі як залежність властивостей від будови деревини, її дефектів, великі габарити перерізу. Для зменшення їх впливу застосовують армування клеєних дерев'яних балок [5].

При цьому існують різні способи розміщення внутрішньої та зовнішньої арматури, що вимагає дослідження їх впливу на тримку здатність клеєних дерев'яних балок.

Таким чином, задача дослідження впливу способу армування на тримку здатність клеєних дерев'яних балок є актуальною, її розв'язання має наукове і практичне значення.

**Об'єкт дослідження** – клеєна дерев'яна балка довжиною 20 м, армована сталевією арматурією.

**Предмет дослідження** – спісіб розміщення арматурних стержнів у клеєних дерев'яних балках.

**Мета роботи** – оцінка впливу способу армування на тримку здатність клеєних дерев'яних балок.

Для досягнення вказаної мети було сформульовано наступні **задачі**:

- проаналізувати способи армування клеєних дерев'яних балок;
- розробити методіку оцінки їх напружено-деформованого стану з використанням методу скінченних елементів;
- порівняти тримку здатність балок з різним способом армування.

**Методи дослідження:** метод скінченних елементів, порівняльний, описовий.

**Наукова новизна** отриманих в дослідженні результатів наступна:

1. Отримала подальший розвиток методика оцінки напружено-деформованого стану армованих клеєних дерев'яних балок за допомогою методу скінченних елементів з урахуванням ортотропії властивостей матеріалу.
2. Встановлено закономірності впливу способу армування на тримку здатність та напружено-деформований стан клеєних дерев'яних балок.

**Практична значимість отриманих результатів.** Розроблена методика моделювання напружено-деформованого стану клеєних дерев'яних конструкцій дозволяє враховувати ортотропію властивостей матеріалу, що має дуже важливе значення для підвищення достовірності розрахунку. В роботі проаналізовано напружено-деформований стан клеєної дерев'яної балки довжиною 20 м з різними способами армування. Визначено спосіб розміщення арматурних стержнів, який дає найкращий результат. Запропонована методика може бути також використана при розрахунку інших подібних дерев'яних конструкцій.

**Апробація результатів роботи.** Отримані результати наукових досліджень доповідались на X Міжнародній науково-технічній конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій».

**Публікації.** Дослідження впливу способу армування на тримку здатність клеєних дерев'яних балок / В.В. Закамарко, О.П. Бернатович, В.Б. Святий, А.П. Сорочак // Збірник тез доповідей X Міжнародної науково-практичної конференції молодих учених та студентів «Актуальні задачі сучасних технологій», 24-25 листопада 2021 року.—Т.: ФОП Паляниця В.А., 2021.—Том I.—С. 43. — (Сучасні технології в будівництві, машино- та приладобудуванні).

**Ключові слова:** КЛЕЄНА ДЕРЕВ'ЯНА БАЛКА, РОЗМІЩЕННЯ АРМАТУРНИХ СТЕРЖНІВ, ОРТОТРОПІЯ, НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН.

## Розділ 1

### АРМУВАННЯ КЛЕСНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК

#### 1.1. Загальна характеристика клеєних дерев'яних конструкцій

Зростаючі масштаби будівництва нових будівель та конструкцій різного призначення вимагають все більшого використання ефективних та легких будівельних конструкцій. Одним з актуальних напрямків розвитку технології будівництва, який дозволяє домогтися зменшення витрати матеріалів, праці, вартості виготовлення, покращення якості та скорочення термінів будівництва, є застосування раціональних сучасних дерев'яних конструкцій [1].

Впровадження в проектах легких збірних конструкцій індустріального виготовлення, крім зазначених переваг, також дозволяє значною мірою зменшити трудомісткість та матеріалоємність виготовлення фундаментів, витрати на транспортування, складування та логістику, спростити технологію монтажу конструкції. В сумі всі ці явища забезпечують значний позитивний ефект в економічному плані.

Серед таких легких та ефективних конструкцій особливо виділяються дерев'яні. На протязі багатьох століть історії вони були основними в будівництві, зараз їх використання також зростає. Тут також варто відзначити, що Україна володіє великими запасами сировини для їх виготовлення. Для конструкцій з дерева характерна невисока маса, що дозволяє ефективно транспортувати їх на значні відстані. Завдяки високій міцності деревини існує можливість спорудження дерев'яних конструкцій покриттів та перекриттів з розмірами прольотів до 100 м [6, 7].

Завдяки тому, що для сучасних дерев'яних конструкцій характерні висока тримка здатність, підвищена вогнестійкість та довговічність, невисока питома вага, з'являється можливість перекриття значних польотів уникаючи суттєвих навантажень на опори і фундаменти будівлі. Якщо говорити про клеєні та гнуто-



клеєні дерев'яні конструкції, вони дозволяють отримати дуже виразні архітектурні та дизайнерські вирішення різної форми [8, 9].

Не останню роль для поширення дерев'яних конструкцій у нас час відіграє низька теплопровідність деревини, що дозволяє підвищити енергоефективність споруд, а це є дуже актуальним на фоні постійно зростаючих цін на енергоносії. Також деревина дозволяє отримати відносно велике значення для вогнестійкості конструкції на рівні  $R30 - R45$  [10].

Для підвищення пожежної безпеки будівель з використанням дерев'яних конструкцій застосовують антипірени. Завдяки цьому практично повністю усувається підвищена небезпека горіння. Варто також відзначити, що на відміну від багатьох сучасних штучних будівельних матеріалів, при горінні деревини не виділяються токсичні та канцерогенні речовини. Завдяки великій площі поперечного перерізу, його масивності та суцільності, дерев'яні конструкції при використанні правильних засобів вогнезахисту характеризується вищою межею вогнестійкості, ніж типові металеві конструкції [10]. Немає жодних проблем також із утилізацією елементів дерев'яних конструкцій після завершення терміну їх експлуатації.

На протязі останніх десятиліть значно зросла кількість дерев'яних будівель, де використовуються новітні конструктивні та архітектурно планувальні рішення. Відбувається впровадження нових автоматизованих технологічних ліній, що призначені для виготовлення клеєних дерев'яних конструкцій. Їх використання дозволяє суттєво підвищити довговічність конструкцій, в багатьох випадках замінивши дорогі та більш важкі металеві конструкції. Особливо ефективною є така заміна для будівель, що експлуатуються в агресивному хімічному середовищі (цехи хімічних підприємств, складних мінеральних добрив тощо).

Промислове застосування клеєних дерев'яних конструкцій в широких масштабах розпочалася в другій половині 20 століття після появи високоефективних клейових складів та засобів захисту деревини від дії вологості, шкідників та вогню.

Станом на сьогодні світовий об'єм виробництва клеєних дерев'яних конструкцій складає близько 7 млн. м<sup>3</sup>. Значна частка їх виробництва припадає на країни Євросоюзу, в першу чергу Скандинавії. Нажаль, сьогодні доля України в світовому об'ємі їх виробництва складає не більше одного відсотка. Тому можемо відзначити значний потенціал розвитку даної галузі в нашій країні [7].

Деревина як матеріал володіє високими акустичними властивостями та довговічністю, одночасно проявляючи як пластичні, так і пружні властивості. Конструкції з дерева є легкими ( $\rho = 700 \text{ кг/м}^3$ ), відносно дешевими. За рахунок простоти монтажу та відсутності потреби в мокрих процесах під час монтажу попит на даний вид конструкції постійно зростає [11].

Виробництво окремих елементів клеєних дерев'яних конструкцій виконується за допомогою напівавтоматичних ліній, які виконують операції з порізки матеріалу, склеювання дощок по довжині та в поперечному напрямку. З цих заготовок в подальшому виготовляються комбіновані балки та ферми, для з'єднання яких використовуються металеві кріпильні елементи та пластини.

Дерев'яні конструкції виготовляються промисловим способом на підприємствах, транспортуються на майданчик будівництва, де за допомогою підйомних кранів виконується їхній монтаж [11, 12]. При цьому пред'являються значно менші вимоги до вантажопідйомності.

Додатковою перевагою будівлі з клеєних дерев'яних конструкцій є можливість уникнути використання деформаційні швів, оскільки матеріал володіє дуже невеликим коефіцієнтом лінійного розширення.

Поряд з наведеними перевагами деревина як матеріал характеризується також певними недоліками. В першу чергу, до них відносять неоднорідну структуру та різного роду дефекти, які негативно впливають на її міцність. Загальновідомо, що деревина підлягає впливу біологічних факторів (комахи, гниття, грибок), без спеціальної обробки піддається горінню. Властивості деревини, в тому числі механічні, значною мірою залежить від її вологості, яка

може змінюватися в процесі експлуатації та призводити до розбухання або усушки дерев'яних виробів.

Наведені недоліки потребують уважного підходу до перевірки умов експлуатації конструкції з дерева, застосування заходів для їх зниження, а в окремих ситуаціях вимагають обмежень щодо використання даного типу конструкцій [11].

Основним засобом для усунення більшості недоліків, характерних для деревини, є використання клеєних дерев'яних конструкцій. Вони характеризуються вищими механічними властивостями, які практично не залежить від зміни вологості, що значно покращує їх експлуатаційні властивості.

Надзвичайно важливу роль при виготовленні клеєних дерев'яних конструкцій відіграє вибір правильного типу клею, оскільки саме від нього залежить результуюча міцність виробів. Також необхідно враховувати спосіб зрощування дощок по довжині, щоб зменшити відходи матеріалу. До уваги беруться інші особливості деревини, що дозволяють раціонально розподіляти пиломатеріали відповідного сорту та розмірів по товщині конструкції.

Саме завдяки розробці новітніх полімерних та синтетичних клеїв, впровадженні ефективної технології автоматизованого склеювання з високою продуктивністю, з'явилась можливість використовуючи пиломатеріали обмежених розмірів створювати конструкції значно більших розмірів та довільних форм. Вони при цьому володіють високою механічною міцністю, стійкі до гниття та горіння, ефективні з економічної точки зору [12].

Розвиток технології виготовлення та широке використання конструкцій з клеєної деревини, в тому числі армованих, є важливим напрямком розвитку сфери будівельного виробництва. Для цього необхідне дотримання вимог та постійне вдосконалення технології виготовлення даного типу конструкцій з метою зниження їх собівартості.

## 1.2. Способи армування клеєних дерев'яних конструкцій

Клеєні дерев'яні балки використовується в якості несучих конструкцій для покриттів різного типу будівель, найчастіше сільськогосподарського, громадського чи промислового призначення. Залежно від способу виготовлення виділяють такі типи балок [11]:

- клеєні багат шарові;
- гнуто-клеєні;
- клеєфанерні;
- армовані.

Серед них особливо виділяються армовані балки, що представляють з собою клеєні чи гнуто-клеєні дерев'яні балки, в які вклеєні арматурні стержні [10-12].

Особливістю даного типу конструкцій є значно більша міцність та жорсткість порівняно зі звичайними неармованими клеєними балками. В основному вони використовується для великопролітних конструкцій, до яких ставляться особливі вимоги щодо тримкої здатності та жорсткості. Також використання арматури дозволяє дуже суттєво зменшити габарити та, відповідно, масу клеєної дерев'яної балки, значно знизити витрати матеріалу при збереженні тримкої здатності. Серед негативних рис армований клеєних дерев'яних балок необхідно вказати значно більшу складність їх виготовлення, що потребує виконання додаткових технологічних операцій, підвищує трудомісткість та вартість.

З аналізу літературних джерел можемо виділити такі основні способи армування дерев'яних конструкцій [12]:

- внутрішнє армування ненапруженою стержневою арматурою;
- зовнішнє армування сталевими смугами без попереднього натягу;
- внутрішнє армування попередньо напруженою високоміцною арматурою;
- зовнішнє армування попередньо напруженою сталевією смугою по нижній грані.

Дослідження показують, що використання ненапруженої сталевією арматури дозволяє збільшити характеристики міцності та жорсткості клеєних дерев'яних

балок до двох виразів порівняно зі звичайними неармованими. Рекомендований відсоток армування перерізу в цьому випадку складає 1-3%. У випадку використання внутрішнього армування за допомогою попередньо напруженої стержневої арматури рекомендований відсоток армування поперечного перерізу складає 0,5-1,0% [14].

На сучасному етапі виробництва клеєних дерев'яних конструкцій для армування використовується стержнева арматура періодичного профілю класів А300, А400С. Для з'єднання арматури з основною масою дерев'яної балки використовують високоміцний клеї, переважно на епоксидній основі та з наповнювачами. Ключову роль в забезпеченні міцності та жорсткості армованої балки відіграє надійне з'єднання сталевго стержня з основним матеріалом – деревиною. Тільки забезпечивши їх спільну роботу, можна гарантувати надійність конструкції. Відповідно, при розрахунку клеєних дерев'яних армованих балок обов'язково потрібно враховувати спільну роботу деревини та металу, беручи до уваги значні відмінності у властивостях даних матеріалів [11, 15].

В історичному плані розвиток армованих дерев'яних конструкцій розпочався в 19-му столітті, коли з'явилася необхідність покращення їх експлуатаційних властивостей, в першу чергу збільшення довжини можливих прольотів та зниження будівельної висоти. На початку 20 століття з'являються перші балки, що поєднують в собі дерев'яне ядро та сталеві полоси. Вони отримали назву системи Тірбаха за іменем винахідника. Дана система передбачала зовнішнє армування за допомогою суцільної сталевгої полоси, яка розміщувалася по всій довжині балки та закріплювалася до основного матеріалу за допомогою нагелів. Для підвищення надійності з'єднання сталевга полоса заводилася за торці балки та загиналася [9].

Пізніше з'явилися балки системи Тірбаха, що використовували попередньо напружено сталевгу полосу, що ще більше підвищувало їх тримку здатність. Крім простої прямокутної форми балки даної системи виготовлялися також у вигляді двотавра з суцільним зовнішнім армуванням (рис. 1.1).

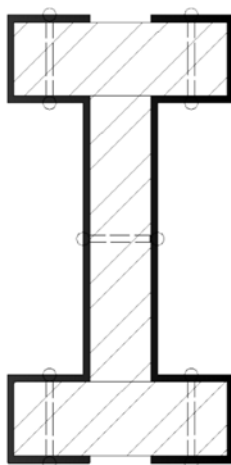


Рисунок 1.1 – Дерев'яна балка з зовнішнім армуванням (система Тірбаха)

На додачу до комбінованих конструкцій, де сталеві волоси поєднувалися з дерев'яною основою, також розроблялися методи підвищення тримкої здатності складних конструкцій шляхом повної заміни елементів, що працюють на розтяг, на сталеві в той час, коли основна частина елементів, які працюють на стиск, залишалася дерев'яними.

В 1920-х роках в США було запропоновано інший спосіб поєднання металевих та дерев'яних матеріалів. Він полягав у запресовуванні сталевих дротин в поверхню дерев'яних елементів (рис. 1.2). Даний спосіб знайшов використання в конструкціях літаків, оскільки дозволяв знизити загальну масу рами [9].

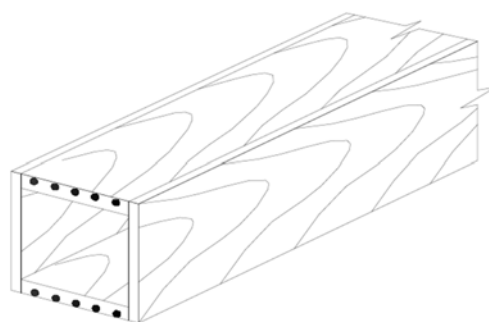


Рисунок 1.2 – Спосіб запресовки сталевих дротин в поверхню дерев'яної балки

В 1926 році Фішером було запропоновано внутрішнє армування дерев'яних конструкцій, яке було найбільш ефективним [9]. Для цього на зовнішній поверхні балки робилися прямокутні пази, в які вкладалася сталеві арматура, після чого вони заливалися мастикою спеціального складу. Широке практичне використання даного способу обмежувалося недостатньою міцністю даної мастики, що не могла забезпечити надійне з'єднання між сталеві арматурою та основним матеріалом при великих навантаженнях. Дану проблему вдалося розв'язати тільки у другій половині 20 століття з розвитком синтетичних клейових складів.

Певний час альтернативою використанню високоміцних клеїв було застосування арматурних стержнів з періодичними кільцевими виступами значно більшого діаметру, які запресовувалися в основний матеріал балки – деревину [2]. Проте в цьому випадку виникали складнощі з виготовлення таких арматурних стержнів та їх надійною запресовкою. Даний спосіб отримав назву системи Гранхольма (рис. 1.3).

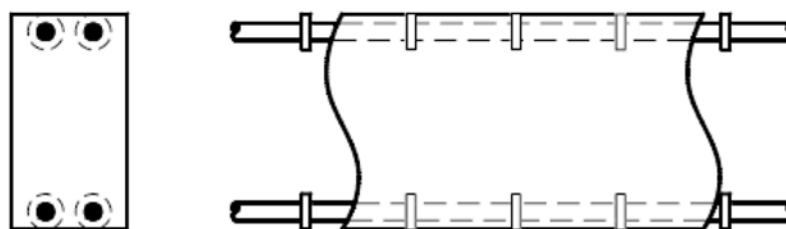


Рисунок 1.3 – Внутрішнє армування за допомогою запресовки стержнів з виступами (система Гранхольма)

Як зазначалося раніше, найбільш критичним компонентом системи армування клеєних дерев'яних конструкцій є саме забезпечення надійності, міцності та довговічності з'єднання арматурних стержнів чи смуг з основним матеріалом. З появою клеїв на основі епоксидних смол з'явилась можливість промислового застосування армованих дерев'яних конструкцій. Завдяки їх розробці з'явилась можливість ефективного виконання стиків та з'єднання

дерев'яних конструкцій. Це дозволило покращити їх ремонтпридатність, спростити монтаж та доставку на майданчик будівництва [12, 14, 16, 17].

На сьогодні найширше використання отримали клеєні дерев'яні конструкції з ненапруженою внутрішньою арматурою у формі сталевих стержнів періодичного профілю. Вони є найбільш простими та надійними, характеризується достатньо високою технологічністю, оскільки не вимагають використання специфічного чи унікального обладнання [11].

Практика експлуатації армованих дерев'яних конструкцій в мостових спорудах та будівлях промислових і складських приміщень довели їх високу ефективність.

### **1.3. Особливості сумісної роботи деревини та сталі**

Розглянемо властивості матеріалів, що використовуються для виготовлення клеєних армованих дерев'яних балок.

Основою конструкції є деревина промислових порід, переважно хвойних. Вона характеризується щільністю в сухому стані в межах  $320 \text{ кг / м}^3$  до  $720 \text{ кг / м}^3$  залежно від породи. Решта основних властивостей залежить від щільності та вологості деревини.

Характерною особливістю деревини як матеріалу є анізотропія її властивостей, яка виникає внаслідок особливостей її будови на клітинному рівні [3, 11, 18]. Добре відомою є різниця характеристик міцності деревини залежно від напрямку волокон. Для прикладу, величина модуля пружності, визначеного при орієнтації вздовж волокон, в 40 разів перевищує величину визначеного при орієнтації поперек волокон деревини [18].

Границя міцності на розтяг у напрямку вздовж волокон визначається при вологості деревини 12%. Для найбільш поширених хвойних порід вона складає 10–12 МПа, модуль пружності для них 11–14 МПа [19].

Необхідно відзначити, що наявність будь-яких дефектів деревини, таких як косошарості чи сучки, дуже сильно впливає на опір матеріалу. Зниження міцності



виробів з такими дефектами чи додатковими отворами відбувається не тільки за рахунок зменшення площі поперечного перерізу, а й за рахунок ефектів концентрації напружень.

За рахунок іншої будови матеріалу при випробуванні розтягом у напрямку, поперечному до росту волокон, спостерігається зниження границі міцності до 12–17 разів, тобто вона складає 0,6–1 МПа. Особливо важливим у даному випадку є уникнення косошарості матеріалу, оскільки вона дуже сильно впливає на даний показник міцності. Це пояснюється збільшенням частки зусиль, які діють перпендикулярно до волокон [20].

Для найбільш поширених хвойних порід при стандартній вологості 12% границя міцності на стиск встановить 40 МПа, тобто є в чотири рази більшою за відповідну границю міцності при розтягу [19]. Величина модуля пружності при стиску має значення, близьке до значення при розтягу. Також варто відзначити, що концентрація напружень за рахунок дефектів структури деревини має дещо менший негативний вплив на границю міцності при стиску.

Беручи до уваги вище наведені особливості роботи дерев'яних конструкцій при стиску, можемо стверджувати, що в даному випадку вони здатні витримувати більше навантаження та мають вищу надійність. Ці особливості спричиняють використання комбінованих сталі-дерев'яних конструкцій, в яких елементи, що працюють на розтяг, виконані зі сталі, а елементи, які піддаються стиску чи згину – з деревини.

Наступним важливим компонентом армованих клеєних дерев'яних конструкцій є сталеві арматури. Цей елемент добре відомий, оскільки широко використовується при виготовленні залізобетонних конструкцій. Для армування клеєних дерев'яних балок застосовують таку ж сталеву арматуру періодичного профілю, що й для залізобетону, з таким же рядом типорозмірів. Для неї добре відомі особливості та переваги використання.

В першу чергу, слід відзначити високу міцність сталевих арматур на розтяг та стиск. Фізико-механічні властивості та особливості роботи сталі в пружних та

пружно-пластичних умовах добре вивчені, існують апробовані методики їх розрахунку.

Співставлення основних фізико-механічних властивостей деревини та сталі наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Фізико-механічні характеристики деревини та сталі

<b>Назва показника</b>	<b>Деревина (сосна 2-го сорту, вздовж волокон)</b>	<b>Арматура А400С</b>
Густина, кг/м <sup>3</sup>	500	7850
Тимчасовий опір на розтяг, МПа	46	500
Тимчасовий опір на стиск, МПа	109	500
Модуль пружності, ГПа	11,9	210
Коефіцієнт Пуассона	0,429	0,25

Останнім, але дуже важливим компонентом армованих клеєних дерев'яних конструкцій є клей, за допомогою якого відбувається з'єднання окремих дощок в суцільний монолітний переріз.

Відповідно до вимог [21], всі види клеїв, які використовуються для виготовлення несучих дерев'яних конструкцій, мають забезпечувати достатню міцність, довговічність і надійність з'єднання на протязі заданого періоду вогнестійкості. В обов'язковому порядку має виконуватися умова перевищення межі міцності межі ділянки склеювання над межею міцності самої деревини. Виконання даної умови дозволяє домогтися того, що руйнування клеєних дерев'яних конструкцій буде відбуватися по основному матеріалу, а не по клейових з'єднаннях. Дана особливість відіграє надзвичайно важливу роль у забезпеченні

надійності клеєних дерев'яних конструкцій, проте виставляє особливі вимоги до властивостей клеїв.

Існує велика кількість клеїв на різних основах, що призначені для використання при виготовленні дерев'яних елементів. Так, для з'єднання дерев'яних деталей чи штучних матеріалів на основі дерева використовують поліуретанові та фенол-формальдегідні клеї.

При необхідності склеювання сталевих стержнів з деревиною необхідно використовувати інший тип клею – епоксидний. Основою для нього слугують епоксидні смоли. Вони часто використовуються в індустрії полімерних матеріалів та характеризується хорошими експлуатаційними властивостями.

На практиці при виготовленні клеєних дерев'яних конструкцій, армованих сталеву арматурою, найчастіше використовують клей на основі епоксидних смол ЭД- 5 і ЭД- 6. Їх використання дозволяє вводити велику кількість додаткових наповнювачів в склад клею. Частка таких наповнювачів може досягати аж 400% відносно ваги самої епоксидної смоли. Для підвищення характеристики міцності клею на основі епоксидної смоли застосовуються наповнювачі різного типу, зокрема «портландцемент, кварцовий пісок, каолін, тальк, оксид цинку, азбестове борошно, алюмінієвий, залізний, мідний порошок та інші» [12].

#### **1.4. Висновки до розділу**

Зростаючі масштаби будівництва нових будівель та конструкцій різного призначення вимагають все більшого використання ефективних та легких будівельних конструкцій. Серед таких легких та ефективних конструкцій особливо виділяються дерев'яні.

Для сучасних дерев'яних конструкцій характерні висока тримка здатність, підвищена вогнестійкість та довговічність, невисока питома вага та теплопровідність.

Поряд з наведеними перевагами деревина як матеріал характеризується також певними недоліками. В першу чергу, до них відносять неоднорідну

структуру та різного роду дефекти, які негативно впливають на її міцність. Деревина підлягає впливу біологічних факторів, без спеціальної обробки піддається горінню. Властивості деревини, в тому числі механічні, значною мірою залежить від її вологості, яка може змінюватися в процесі експлуатації та призводити до розбухання або усушки дерев'яних виробів.

Основним засобом для усунення більшості недоліків, характерних для деревини, є використання клеєних дерев'яних конструкцій. Вони характеризуються вищими механічними властивостями, які практично не залежить від зміни вологості, що значно покращує їх експлуатаційні властивості.

Для підвищення характеристик клеєних дерев'яних конструкцій використовуються різні способи їх армування. Особливістю даного типу конструкцій є значно більша міцність та жорсткість порівняно зі звичайними неармованими клеєними балками. В основному вони використовуються для великопролітних конструкцій, до яких ставляться особливі вимоги щодо тримкої здатності та жорсткості. Також використання арматури дозволяє дуже суттєво зменшити габарити та, відповідно, масу клеєної дерев'яної балки, значно знизити витрати матеріалу при збереженні тримкої здатності.

## Розділ 2

### МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПОСОБУ АРМУВАННЯ НА ТРИМКУ ЗДАТНІСТЬ КЛЕЄНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК

#### 2.1. Вибір способів армування клеєних дерев'яних балок для дослідження

Як зазначалося в розділі 1.2, виділяють чотири основних способи армування дерев'яних конструкцій. Серед них найбільшого поширення отримав спосіб армування внутрішньою стержневою ненапруженою арматурою. Він володіє найвищою техніко-економічною ефективністю, оскільки дозволяє значно покращити експлуатаційні властивості клеєних дерев'яних балок, не вимагаючи при цьому проведення складних технологічних операцій та дорогого обладнання.

Розглянемо детальніше технологію армування клеєних дерев'яних балок.

Для розміщення арматурних стержнів у дошках, з яких складається клеєна дерев'яна балка, попередньо виконують пази відповідної форми та розмірів. Далі в них наноситься клей та вкладаються арматурні стержні. Для забезпечення склеювання виконується запресовування вкладених стержнів.

Для захисту арматурних стержнів від атмосферних впливів вклеювання арматури виконується не на зовнішній поверхні балки, а з урахуванням певного захисного шару. Найчастіше в якості такого захисного шару використовується зовнішня дошка пакету, з якого складається балка. Тобто, формування пазів та вклеювання арматурних стержнів виконується в другій дошці пакету.

Виконання армування клеєних дерев'яних балок за даним способом дозволяє збільшити їх тримку здатність на згин та зменшити значення напружень порівняно з неармований балкою.

Зауважимо, що в процесі роботи армованих клеєних дерев'яних балок відбувається перерозподіл напружень в їх перерізах з часом. Частка нормальних напружень, що сприймається арматурою, зростає, а частка напружень, що сприймається основним матеріалом, зменшується [15].

Використання арматурних стержнів для підвищення міцності та жорсткості клеєних дерев'яних балок дозволяє значно знизити їх розміри (на 20–30%) та загальну вагу (на 30–40%) [11, 12]. В свою чергу, це призводить до зниження витрат матеріалу і праці на їх виготовлення та підвищення ефективності технологічних процесів.

Технологічний процес розміщення арматури в клеєних дерев'яних балках складається з наступних операцій:

- підготовка клею, часто з використанням наповнювачів;
- фрезерування окремих дошок пакету для утворення пазів відповідних розмірів та форми;
- свердління отворів для розміщення поперечної арматури, якщо таке передбачено;
- нанесення клею на попередньо підготовлені пази та отвори;
- вклеювання та пресова обробка арматурних стержнів в підготовлені пази;
- приклеювання крайніх дошок пакету для утворення захисного шару.

Послідовність операцій з підготовки пазів та вклеювання арматури може виконуватися в різному порядку. В одному випадку спочатку виготовляється клеєна дерев'яна балка, яка в подальшому фрезерується для утворення потрібних пазів і в них клеїться арматура. Інший випадок полягає у тому, що спочатку формуються пази та вклеюється арматура в окремі дошки, які вже потім складаються в одному пакеті зі звичайними дошками для утворення перерізу балки. Відзначається, що обидва випадки характеризується як певними перевагами так і недоліками, проте обидва дають однакову якість виготовлення клеєних дерев'яних балок з арматурними стержнями.

Пази, призначені для розміщення арматурних стержнів в матеріалі клеєних дерев'яних балок, виконуються шляхом фрезерування та можуть мати прямокутну або напівкруглу форму (рис. 2.1). Розміри даних пазів вибираються на основі потрібного діаметру арматури з запасом 1...2 мм, мінімальна відстань між осями

двох сусідніх пазів має бути не меншою  $2d$ . Допускається об'єднання кількох арматурних стержнів в один пакет для їх розміщення в одному пазі. В цьому випадку розміщувати їх можна у вертикальній чи горизонтальній орієнтації не більше, ніж три стержні одночасно. Для забезпечення сумісної роботи окремі стержні в пакетах зварюються по довжині [11, 12].

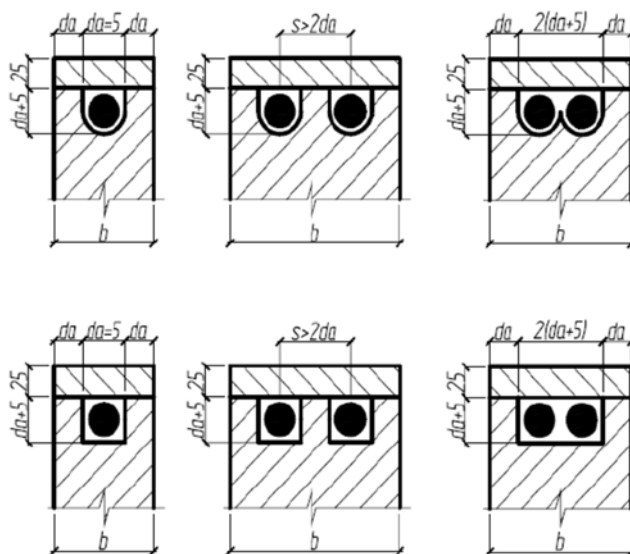


Рисунок 2.1 – Форма та розміри пазів для розміщення арматурних стержнів

Розміщення арматурних стержнів в перерізі клеєних дерев'яних балок також може бути різним. Виділяють три основних способи такого розміщення (рис. 2.2):

- 1) одинарне, коли арматурні стержні розташовується тільки в зоні розтягу;
- 2) подвійне несиметричне, коли арматурні стержні розташовуються як в зоні розтягу, так і в зоні стиску, проте мають різну площу;
- 3) подвійне симетричне, коли арматурні стержні розташовується рівномірно в зонах розтягу та стиску перерізу.

По довжині балки арматурні стержні розміщуються в основному на всю довжину. В окремих випадках можливе часткове розміщення стержнів по довжині тільки в опорних ділянках.

В даній роботі розглядатимемо всі три основні варіанти розміщення арматурних стержнів в перерізі клеєних дерев'яних балок для їх співставлення та порівняння. Для всіх випадків будемо розглядати розміщення арматури по всій довжині балок.

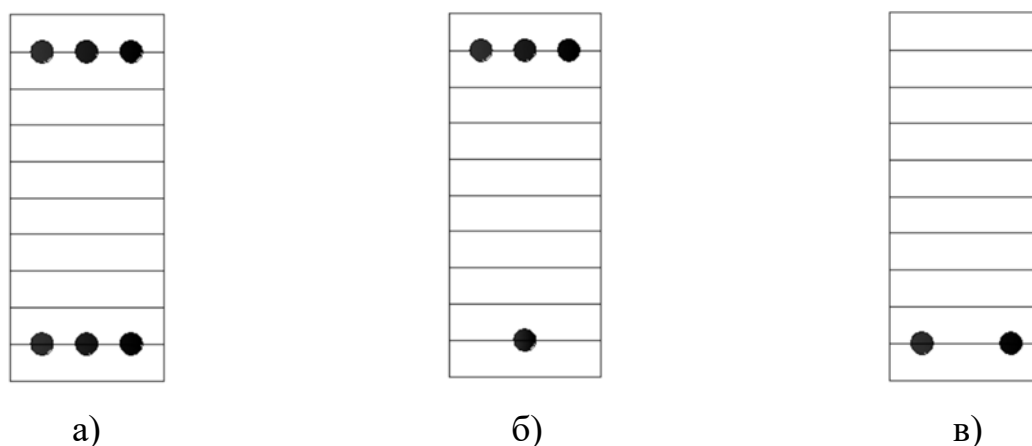


Рисунок 2.2 – Розміщення арматурних стержнів в перерізі клеєних дерев'яних балок:

а) – симетричне; б) – несиметричне; в) – одинарне.

Обов'язковою умовою надійної роботи клеєних армованих дерев'яних балок є висока міцність склеювання деревини та арматури, яка обов'язково має перевищувати міцність самої деревини. Це дозволяє забезпечувати надійний контакт по всій довжині армування та гарантує, що руйнування конструкції не відбудеться по клейовому з'єднанні. Для підвищення міцності даного з'єднання в склад клеїв вводять додаткові наповнювачі, наприклад портландцемент. Найбільшого поширення при виготовленні армованих клеєних дерев'яних конструкцій отримали епоксидні клеї ЭД-20, ЭИС-1 [12, 16].

При прикладанні навантаження на конструкцію армованих клеєних дерев'яних балок спостерігаються три стадії розвитку НДС – пружна, пружно-пластична і стадія руйнування.

За рахунок умови перевищення міцності клейового з'єднання над міцністю основного матеріалу на кожній стадії розвитку напружено-деформованого стану



вважається, що зв'язок між деревиною та арматурними стержнями залишається постійним до моменту руйнування. Практика експлуатації та проведені дослідження показують, що основними видами руйнування клеєних армованих дерев'яних конструкцій є розрив основного матеріалу в розтягнутій зоні та утворення пластичних шарнірів в арматурних стержнях.

Оскільки врахування ефектів пластичності матеріалу є доволі складним завданням, під час інженерного проектування переважно виконують розрахунок тільки для пружної стадії. Також відзначимо, що при виконанні даного типу розрахунку необхідно обов'язково враховувати ортотропію властивостей основного матеріалу – деревини.

## **2.2. Конструкція армованих клеєних дерев'яних балок**

Для дослідження впливу способу армування на тримку здатність клеєних дерев'яних балок в якості основного об'єкта дослідження приймаємо балку прямокутного перерізу розміром  $b \times h = 20 \times 40$  см загальною довжиною  $L = 20$  м.

Будемо розглядати чотири основних варіанти конструкції даної балки – неармований варіант та три варіанти з різним розміщенням арматурних стержнів. Переріз балки з несиметричним варіантом армування показаний на рисунку 2.3. Конструкція інших варіантів балки буде в загальному подібна.

Матеріалом даної балки виступають пиломатеріали другого сорту з хвойних порід дерева розміром  $40 \times 200 \times 6000$  мм. Приймаємо стандартну вологість деревини на рівні 12%.

Для армування приймаємо стержні діаметром  $d = 14$  мм з арматури класу А400С [22].

Для клейового з'єднання припускаємо міцність не нижчу, ніж для основного матеріалу. Дана умова досягається, наприклад, при використанні клею ФРФ-50.

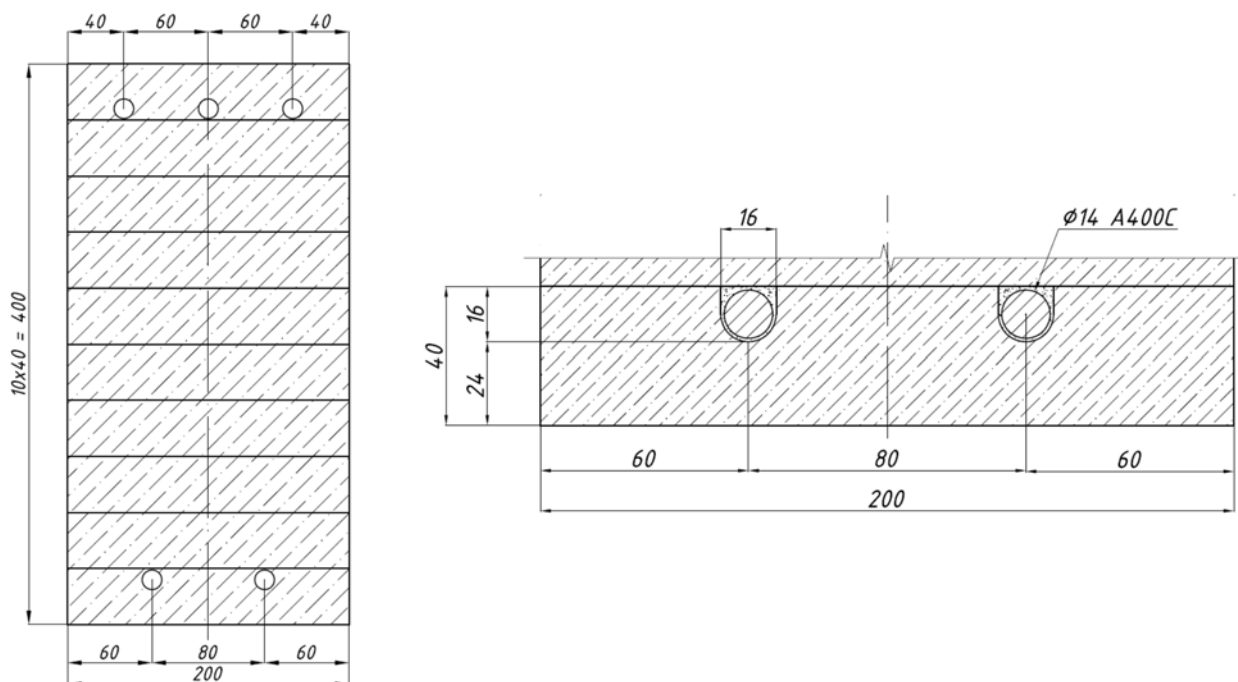


Рисунок 2.3 – Поперечний переріз армованої клеєної дерев'яної балки з несиметричним варіантом армування.

### 2.3. Методика розрахунку армованих клеєних дерев'яних конструкцій методом скінченних елементів

Оскільки для оцінки впливу армування на тримку здатність клеєних дерев'яних балок необхідно визначити напружено-деформований стан для кожного варіанту армування, в роботі було прийнято рішення використати моделювання роботи конструкції методом скінченних елементів. Такий підхід при правильній побудові розрахункових моделей дозволяє швидко отримати потрібні результати з високим рівнем довірчої ймовірності. Саме завдяки цьому метод комп'ютерного моделювання будівельних конструкцій за останні десятиліття став основним при їх розрахунку та конструюванні [23].

Для реалізації комп'ютерного моделювання в дослідженні використано програмний комплекс ЛІРА-САПР 2015.

Для кожного з трьох способів армування клеєних дерев'яних балок було сформовано окрему розрахункову схему. Також додаткову схему створювали для

базового варіанту конструкції клеєної дерев'яної балки без армування. Загальні розміри та властивості всіх чотирьох розрахункових моделей були однаковими.

Основний матеріал клеєних дерев'яних балок моделювали за допомогою тривимірних скінченних елементів типу 36 – універсальний просторовий восьмивузловий ізопараметричний скінченний елемент. Його схематичне зображення з вказанням можливих ступенів вільності показано на рис. 2.4, а).

Арматурні стержні в задачі моделювали за допомогою скінченних елементів типу 10 – універсальний стержневий скінченний елемент (рис. 2.4, б), яким задавався відповідний діаметр арматури. Ці елементи розміщувалися всередині сітки тривимірних скінченних елементів, що моделюють основний матеріал конструкції, по всій довжині балки відповідно до обраних схем армування. При цьому для врахування сумісної роботи стержнів армування з деревиною використовували об'єднання переміщень у всіх спільних вузлах.

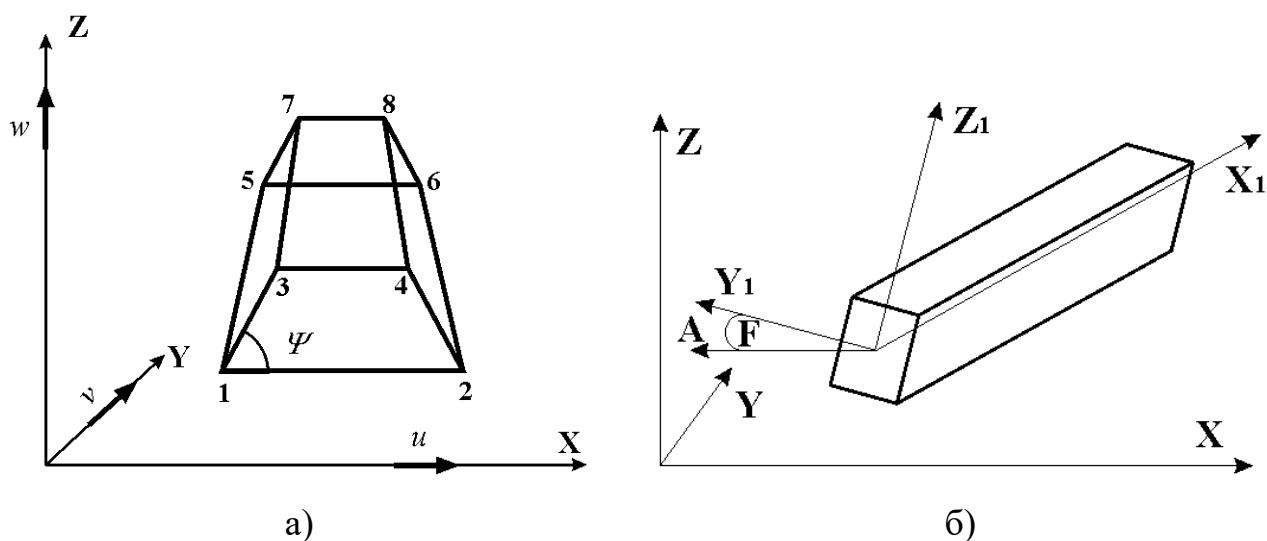


Рисунок 2.4 – Схеми використаних скінченних елементів: а) – універсальний просторовий восьмивузловий ізопараметричний скінченний елемент (тип 36); б) – універсальний стержневий скінченний елемент (тип 10).

В даній роботі характеристики клейового з'єднання між окремими дошками та між арматурними стержнями і деревиною прийнято рівними до характеристик

основного матеріалу балок. Як було показано в розділі 1.3, при виготовленні армованих клеєних дерев'яних конструкцій обов'язковою умовою є забезпечення міцності клейового з'єднання на рівні, більшому за міцність самої деревини.

За рахунок цього зникає потреба в моделюванні клейового з'єднання окремими скінченними елементами, що значно спрощує побудову розрахункових схем. Клейовий шов розглядався як складова скінченних елементів, що моделюють основний матеріал клеєної дерев'яної балки, з відповідними механічними властивостями.

Для розрахункових моделей характерна пряма симетрія, оскільки властивості та характеристики балок по довжині є постійними, так само як і навантаження. Завдяки цьому маємо можливість скоротити складність та розмірність задачі вдвічі, включивши в розрахунок для кожної моделі лише  $1/2$  повної довжини балки.

При цьому для забезпечення коректної роботи конструкції з урахуванням відкинутої її частини на всі вузли схеми, які знаходяться у площині розрізу, задавали додаткові в'язі, що забороняють переміщення в напрямках, перпендикулярних до даної площини. У нашому випадку це були напрямки  $X$ ,  $UY$ ,  $UZ$ .

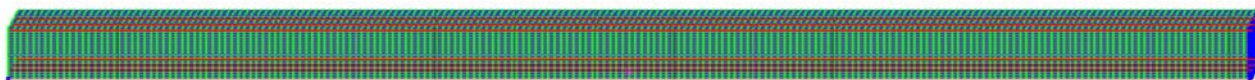
Такий підхід дозволяє суттєво скоротити час розрахунку задачі, що для моделей у тривимірній постановці є доволі актуально.

При розрахунку балки розглядалися як шарнірно оперті. На крайні вузли балки задавали в'язі по напрямках  $Y$ ,  $Z$ ,  $UX$ ,  $UZ$ .

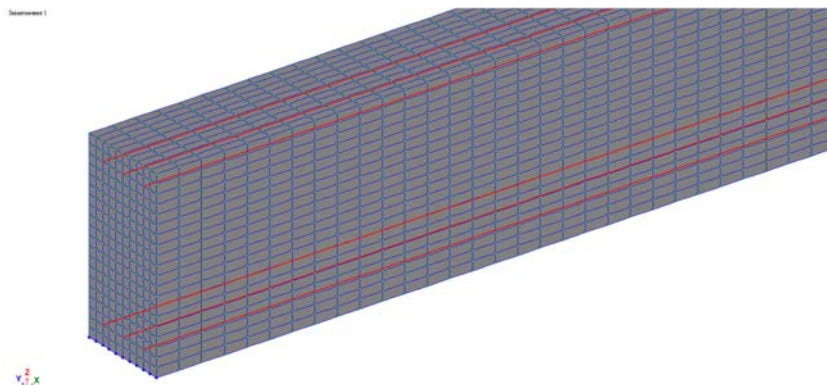
Загальний вигляд розрахункової моделі клеєної дерев'яної балки для одного з варіантів армування показано на рис. 2.5. Розмір сітки тривимірних скінченних елементів складає  $5 \times 2 \times 2$  см, загальна кількість скінченних елементів типу 36, що моделюють основний матеріал, в моделі 40600.

Для скінченних елементів, що моделюють деревину в складі армованої клеєної дерев'яної балки, призначали жорсткість, параметри якої відповідають обраному типу деревини (див. розділ 2.2). Особливістю даного типу жорсткості є необхідність враховувати анізотропні властивості матеріалу. Для цього потрібно

задати 3 значення модуля пружності, модуля зсуву та коефіцієнта Пуассона в головних напрямках пружності скінченних елементів.



а)



б)

Рисунок 2.5 – Загальний вигляд моделі для розрахунку армованої клеєної дерев'яної балки (а) та фрагмент, що показує розміщення арматурних стержнів в матеріалі балки (б)

Для них мають повинні виконуватися рівності, які є обов'язковими для будь-якого анізотропного матеріалу, для якого справедливе припущення про існування пружного потенціалу:

$$E_1 \nu_{12} = E_2 \nu_{21}$$

$$E_1 \nu_{13} = E_3 \nu_{31}$$

$$E_2 \nu_{23} = E_3 \nu_{32}$$

де  $E_1 = E_x$ ,  $E_2 = E_y$ ,  $E_3 = E_z$  – модуль пружності в головних напрямках пружності скінченного елемента;

$\nu_{12} = \nu_{xy}$ ,  $\nu_{13} = \nu_{xz}$ ,  $\nu_{23} = \nu_{yz}$  – коефіцієнт Пуассона, що характеризує поперечне видовження при стиску чи поперечне звуження при розтягу скінченного елемента

в напрямку осі (тут перший індекс показує напрямок видовження чи скорочення, другий індекс – напрям дії сили).

З врахуванням наведених особливостей щодо анізотропних властивостей матеріалу, для деревини задавали параметри жорсткості, що наведені в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Характеристики жорсткості деревини з врахуванням анізотропії властивостей.

<b>Параметр</b>	<b>Вздовж волокон</b>	<b>Поперек волокон</b>
Границя міцності при стиску	46 МПа	7,5 МПа
Границя міцності при розтягу	109 МПа	5,4 МПа
Модуль пружності	11,9 ГПа	0,67 ГПа
Коефіцієнт Пуассона	0,429	0,024

Для елементів сталеві арматури задавали стандартний профіль круглого перерізу з відповідним діаметром. Характеристики жорсткості в цьому випадку вибралися автоматично з бази даних програмного комплексу.

На конструкцію дерев'яних балок прикладали два завантаження – від власної ваги, яке визначалося на основі даних про щільність матеріалу, та від конструкції покриття, яке приймалося рівномірно розподіленим по верхній грані величиною  $q = 2,1 \text{ кН/м}^2$ . Для врахування сумісної роботи окремих завантажень використовували алгоритм розрахункових сполучень навантажень згідно [24].

В результаті розрахунку моделей визначали максимальний прогин в прольоті балок, напруження в деревині та значення нормальних сил в арматурних стержнях. Для оцінки напруженого стану крім величини нормальних та дотичних напружень в матеріалі, використовували також розрахунок еквівалентних напружень, який проводився за теорію найбільших головних напружень [25].

## 2.4. Висновки до розділу

Для дослідження, аналізу та порівняння обрано три способи розміщення арматурних стержнів в перерізі клеєних дерев'яних балок: симетричне, несиметричне та одинарне. Проаналізовано особливості конструкції та технологію виконання армування для кожного з них.

З використанням методу скінченних елементів розроблено ряд скінченноелементних моделей для розрахунку напружено-деформівного стану клеєних дерев'яних балок довжиною  $L = 20$  м з перерізом  $b \times h = 20 \times 40$  см без армування (базова модель) та з різними схемами армування сталевими арматурними стержнями  $\varnothing 14$  А400С.

Розроблені моделі методу скінченних елементів для розрахункових схем враховують анізотропію властивостей матеріалу клеєних дерев'яних балок, що дозволяє врахувати реальну поведінку матеріалу при навантаженні та підвищити достовірність моделювання плоского напруженого стану даного типу конструкцій.

### Розділ 3

## АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПОСОБУ АРМУВАННЯ НА ТРИМКУ ЗДАТНІСТЬ КЛЕЄНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ БАЛОК

### 3.1. Результати розрахунку різних способів армування клеєних дерев'яних балок.

Розглянемо результати розрахунку скінченноелементних моделей клеєних дерев'яних балок з трьома різними способами армування та без армування згідно методики, що була описана в розділі 2.3. Всі результати приведено з урахуванням розрахункових сполучень навантажень (РСН) для найбільш несприятливого поєднання, яким в нашому випадку для всіх чотирьох розрахункових схем балок є РСН2.

В першу чергу розглянемо результати, отримані для базового варіанту конструкції, тобто клеєної дерев'яної балки без використання арматурних стержнів.

Ізополя визначених переміщень для цього варіанту балки наведено на рисунку 3.1, а).

Як і очікувалося, максимальний прогин балки – переміщення в напрямку глобальної осі  $Z$  – спостерігається в середині прольоту, де в нашій моделі здавалися умови симетрії. В даному випадку він складає 162 мм, що перевищує допустиму величину максимального прогину для балки довжиною 20 м.

Визначалися також переміщення вздовж глобальної осі  $X$ , тобто в поздовжньому напрямку для балки. Ізополя цих переміщень наведено на рисунку 3.1, б). Як бачимо, їхнє значення змінюється по висоті балки від  $-5,2$  мм до  $5,12$  мм для приопорних ділянок, що пояснюється шарнірним опиранням в даному місці.



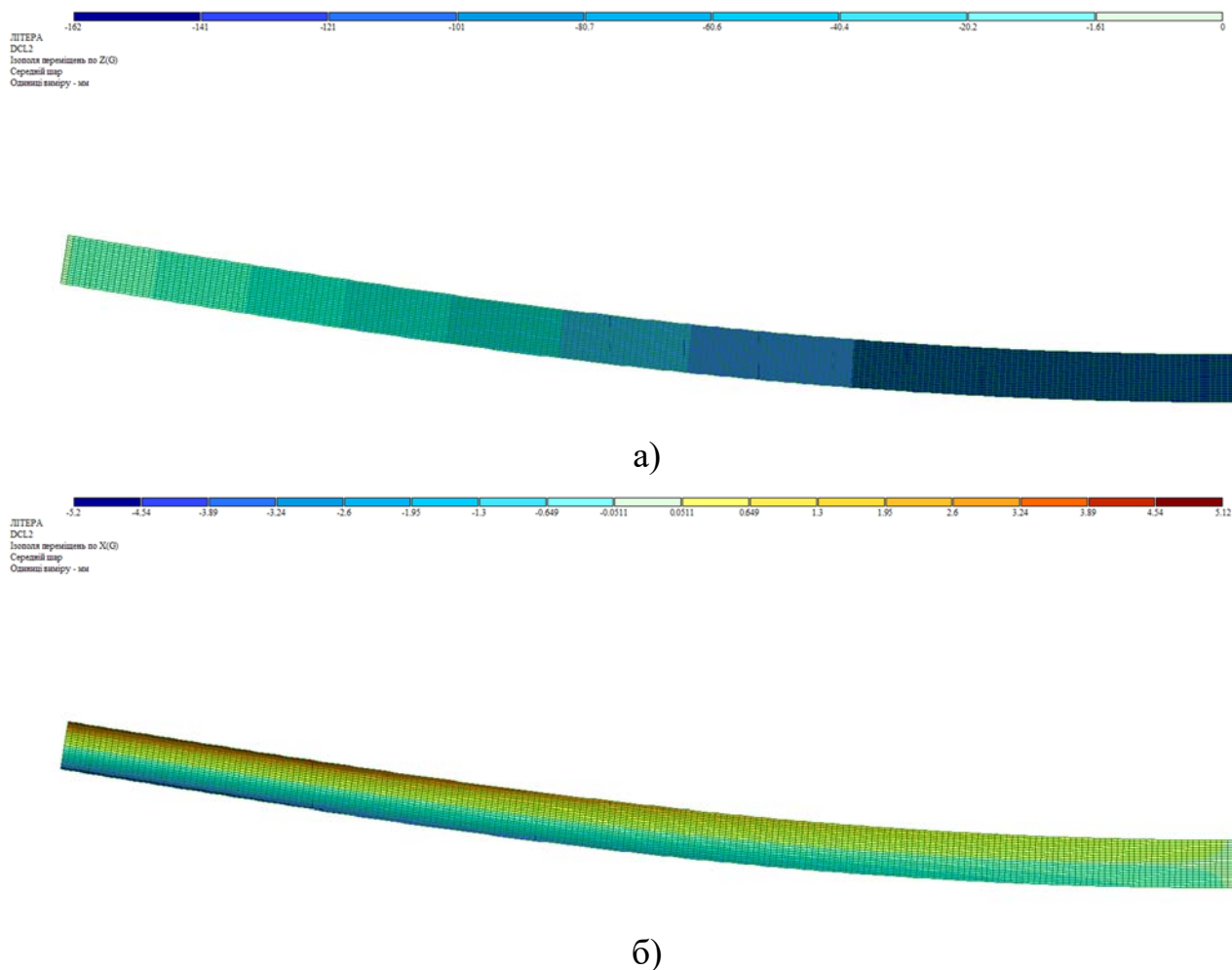


Рисунок 3.1 – Ізополя переміщень клеєної дерев'яної балки без армування: а) – в напрямку осі  $Z$  ; б) – в напрямку осі  $X$  .

Для аналізу напруженого стану моделей клеєних дерев'яних балок необхідно перевірити узгодження осей для тривимірних скінченних елементів типу 36, які використовуються для моделювання основного матеріалу конструкції. Це необхідно для правильного читання та розуміння результатів отриманих значень напружень, які визначаються відносно локальної системи координат скінченних елементів. В загальному випадку локальна система координат кожного елемента може мати свою орієнтацію та не співпадати з глобальною системою координат моделі.

Напрямки локальної та глобальної систем координат для просторових скінченних елементів показано на рис. 3.2. Як бачимо, осі даних систем не є

узгодженими, що вимагає додаткового трактування при аналізі результатів. Так, напруження відносно локальної осі  $Z$  відповідатимуть поздовжнім напруженням вздовж осі балки у напрямку глобальної осі  $X$ . Аналогічно, напруження, визначте відносно локальної осі  $X$ , відповідатимуть поперечним напруженням в матеріалі балки вздовж глобальної осі  $Y$ , а напруження відносно локальної осі  $Y$  – поперечним напруженням вздовж глобальної осі  $Z$ .

Зазначимо, що дані правила будуть справедливими для всіх чотирьох моделей розрахункових схем клеєних дерев'яних балок з різними способами армування при аналізі їх напруженого стану.

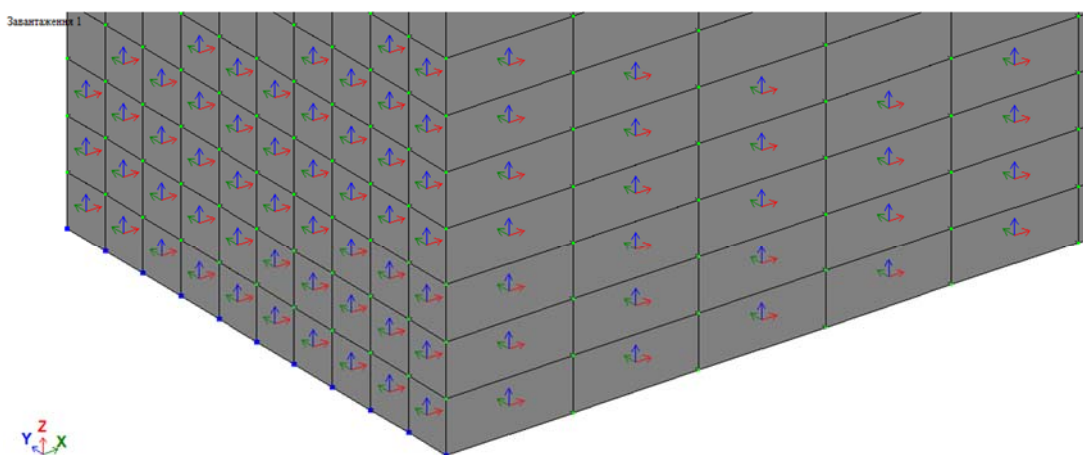


Рисунок 3.2 – Схема узгодження осей просторових скінченних елементів для аналізу результатів напружень

Беручи до уваги наведені правила узгодженості осей, можемо бачити, що напруження вздовж осі балки, яким відповідають результати  $N_z$  з Ліра-САПР, мають розподіл, характерний для чистого згину. Найбільші значення спостерігаються в середині прольоту балки та змінюються по висоті перерізу від 7.31 МПа в розтягнутій зоні з нижньої грані балки до  $-7.31$  МПа в стиснутій зоні біля верхньої грані балки. Зрозуміло, що в даному випадку нейтральна лінія перерізу буде проходити рівно по середині висоти, а розподіл напружень буде симетричним відносно неї.

Отримані значення напружень в поздовжньому напрямку як для розтягу, так і для стиску є значно нижчими за границю міцності матеріалу балки (див. табл. 2.1).

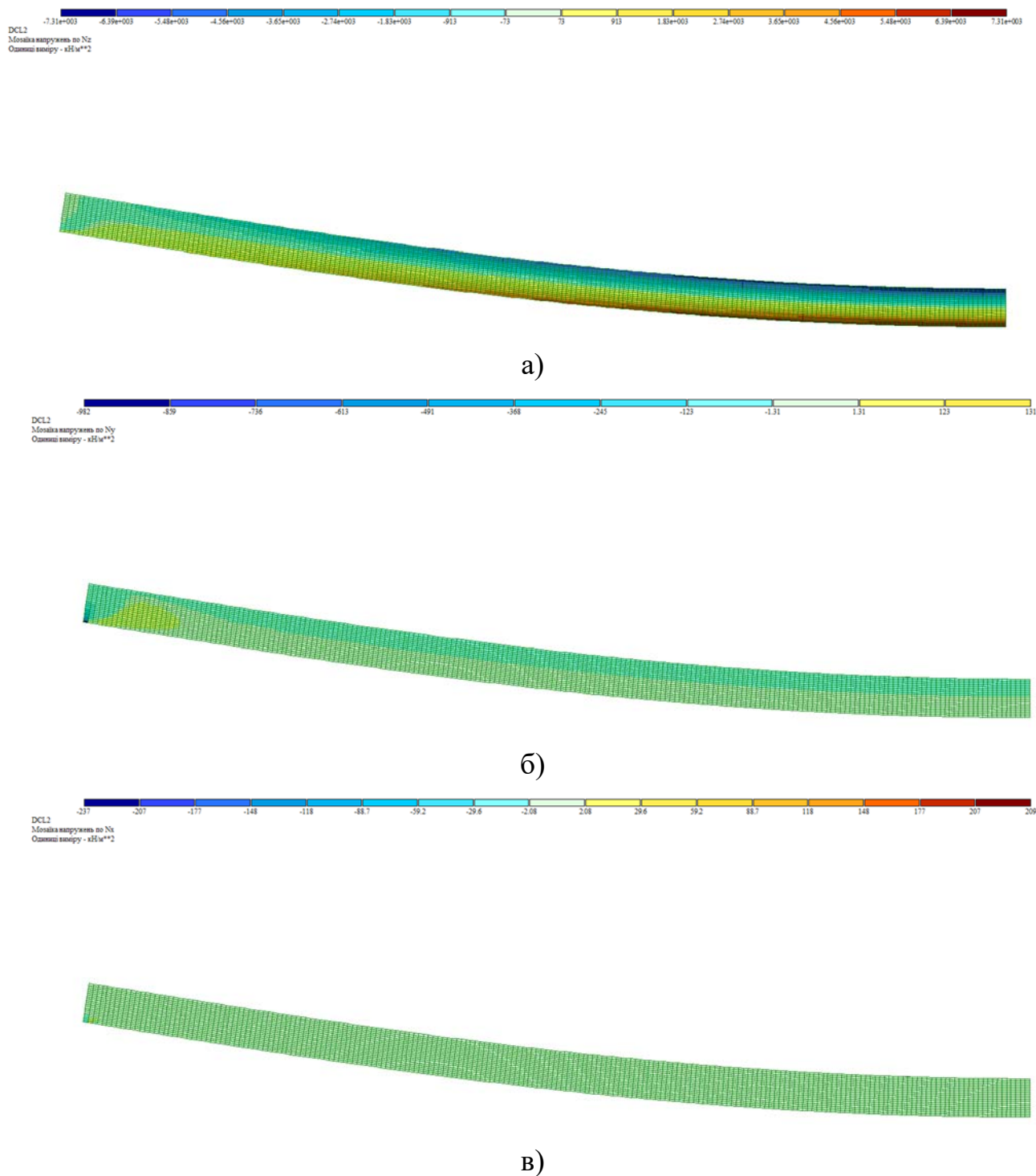


Рисунок 3.3 – Нормальні напруження в елементах клеєної дерев'яної балки без армування: а) – в поздовжньому напрямку; б) – в поперечному напрямку по осі  $Z$ ; в) – в поперечному напрямку по осі  $Y$ .

Напруження в матеріалі балки в поперечному напрямку має значно менші значення. Так, вздовж осі  $Y$  вони змінюються від  $-0,23$  МПа до  $0,2$  МПа, а вздовж осі  $Z$   $-0,98$  МПа до  $0,13$  МПа. При цьому можна бачити суттєву концентрацію напружень в поперечному напрямку вздовж осі  $Z$  на ділянці опирання балки. Вони викликані роботою матеріалу на зминання в місці опирання та не перевищують границю міцності за даним видом деформування.

Дотичні напруження в матеріалі балки при чистому згині мають мінімальне значення в діапазоні від  $-0,17$  МПа до  $0,17$  МПа, тому їх розподіл та більш детальний аналіз в роботі не проводився. Відзначимо тільки локальну концентрацію дотичних напружень  $\tau_{xz}$  на ділянці опирання балки, де їх максимальне значення становить  $-0,55$  МПа.

Далі розглянемо результати розрахунку моделі клеєної дерев'яної балки з одинарним армуванням  $3\varnothing 14$  A400C у розтягнутій зоні. Схема розміщення арматурних стержнів наведена на рис. 3.4.

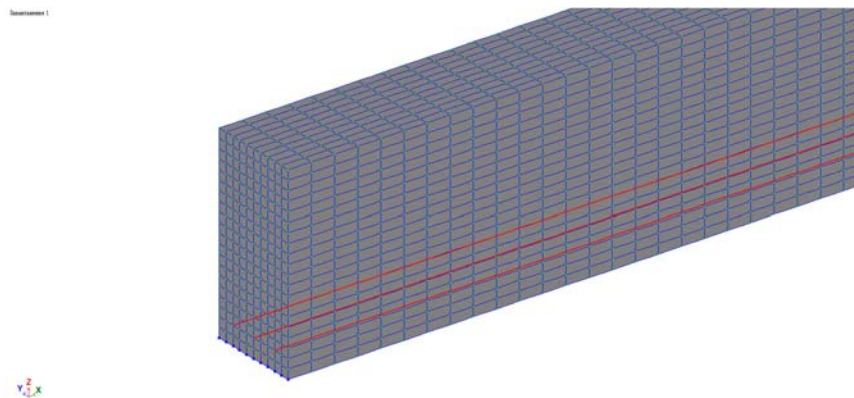


Рисунок 3.4 – Схема одинарного армування

Ізополя визначених переміщень для цього варіанту армування балки наведено на рисунку 3.5, а). Максимальний прогин балки становить  $140$  мм.

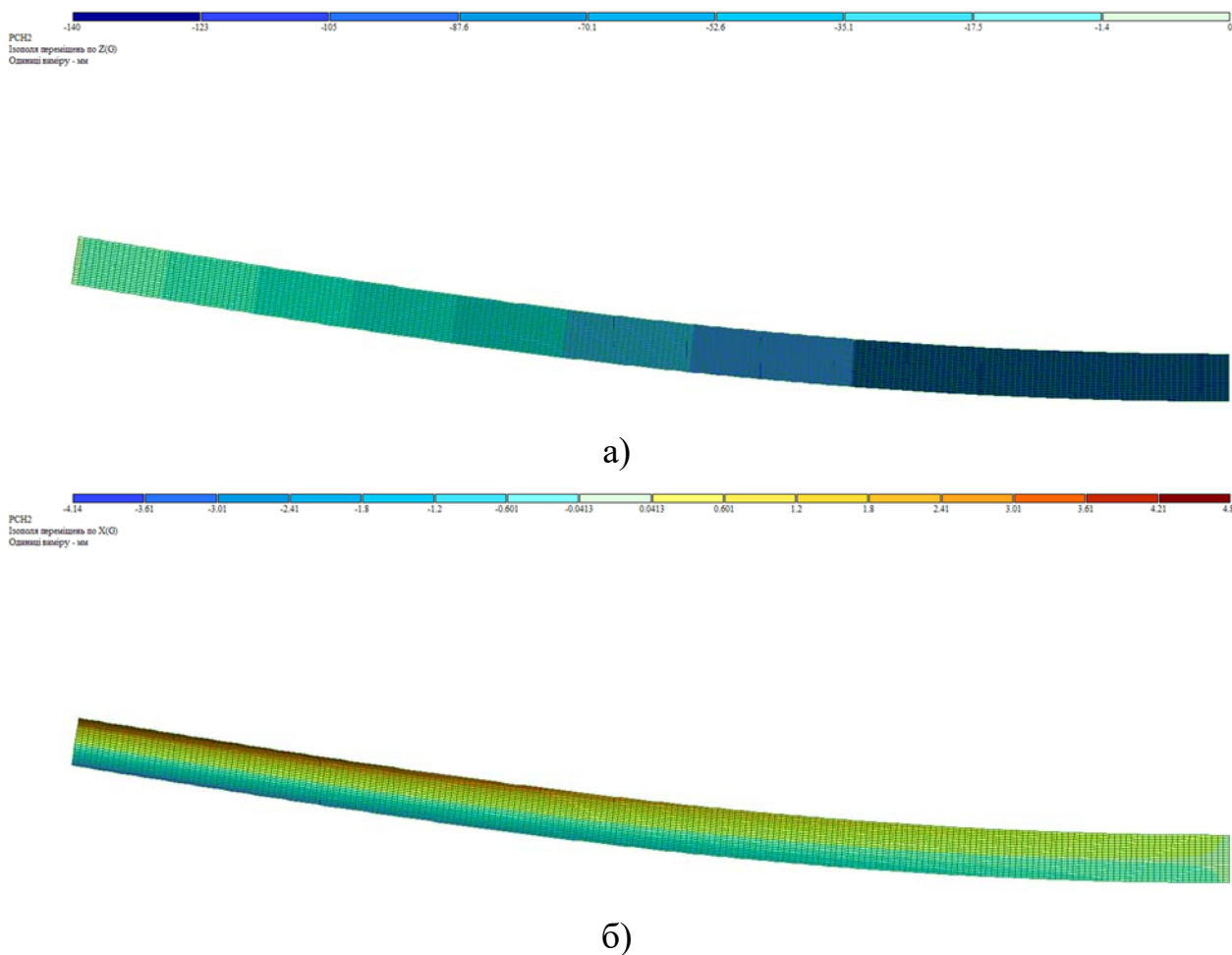
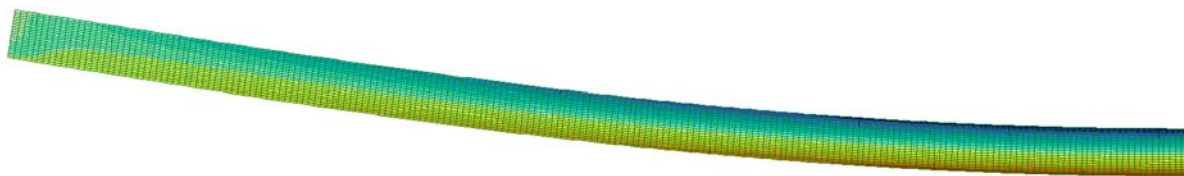
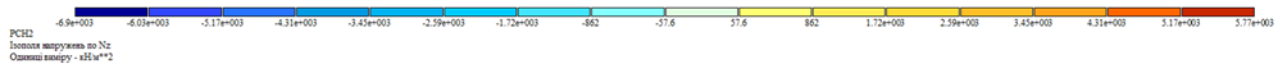


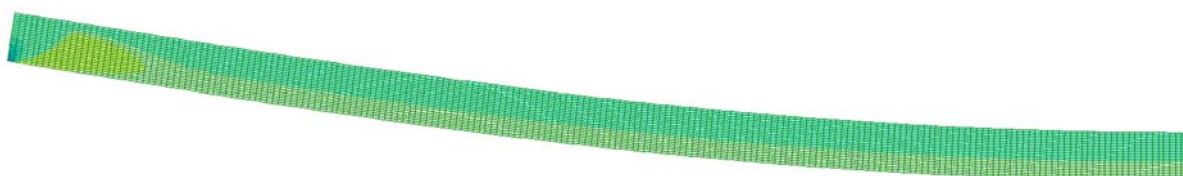
Рисунок 3.5 – Ізополя переміщень клеєної дерев'яної балки з одинарним армуванням: а) – в напрямку осі  $Z$ ; б) – в напрямку осі  $X$ .

Напруження вздовж осі балки з одинарним типом армування мають найбільші значення в середині прольоту та змінюються по висоті перерізу від 5,77 МПа в розтягнутій зоні з нижньої грані балки до  $-6,9$  МПа в стиснутій зоні біля верхньої грані балки (рис. 3.6, а). В даному випадку нейтральна лінія перерізу буде зміщена вниз відносно середини його висоти, а розподіл напружень буде несиметричним відносно неї.

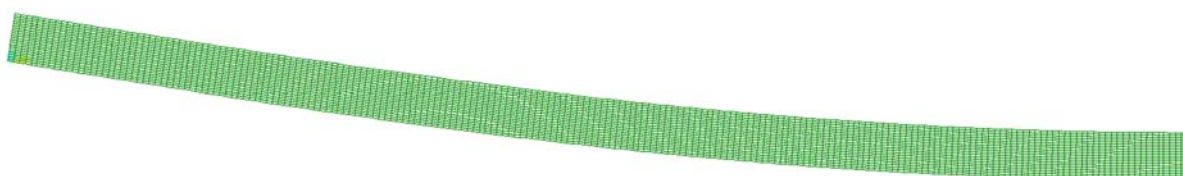
Напруження в матеріалі балки в поперечному напрямку вздовж осі  $Y$  (рис. 3.6, в) змінюються від  $-0,25$  МПа до  $0,14$  МПа, а вздовж осі  $Z$  (рис. 3.6, б) від  $-1,0$  МПа до  $0,06$  МПа з локалізацією в приопорній ділянці як і для неармованої балки.



а)



б)



в)

Рисунок 3.6 – Нормальні напруження в елементах клеєної дерев'яної балки з одинарним армуванням: а) – в поздовжньому напрямку; б) – в поперечному напрямку по осі  $Z$ ; в) – в поперечному напрямку по осі  $Y$ .

Величина дотичних напружень є незначною порівняно з нормальними, як і для випадку неармованої балки.

Для оцінки характеру роботи арматурних стержнів при одинарному армуванні клеєної дерев'яної балки проаналізуємо величину нормальних зусиль, які в них виникають при деформації балки. Мозаїка їх розподілу наведена на рисунку 3.7. Як бачимо, максимальне значення нормальної сили спостерігається в середині прольоту балки та становить  $N_{a,max} = 15,1$  кН. Зазначимо, що його величина є однаковою для всіх арматурних стержнів, оскільки балка працює в умовах прямого згину.

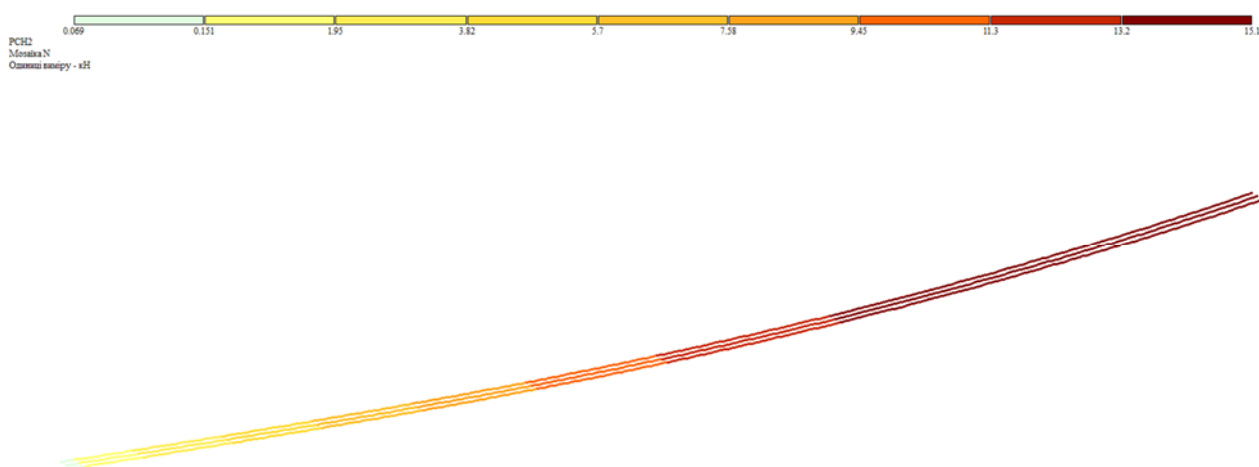


Рисунок 3.7 – Мозаїка нормальних зусиль в стержнях арматури при одинарному армуванні

Розглянемо результати розрахунку моделі клеєної дерев'яної балки з несиметричним армуванням  $2\varnothing 14 + 3\varnothing 14 A400C$ . Схема розміщення арматурних стержнів для цього випадку показана на рис. 3.8.

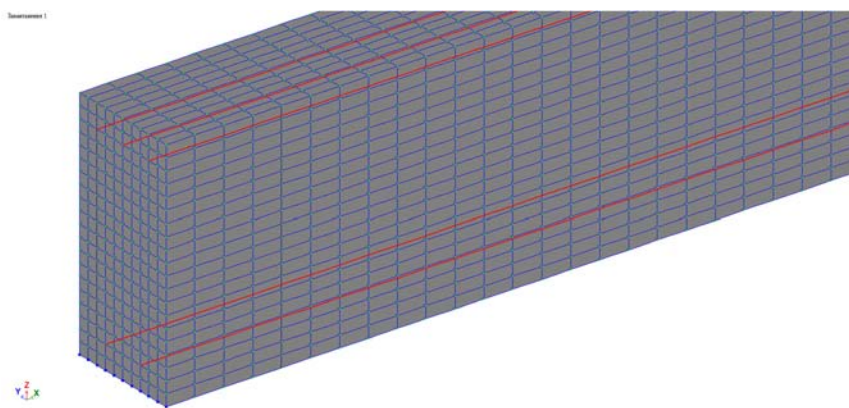
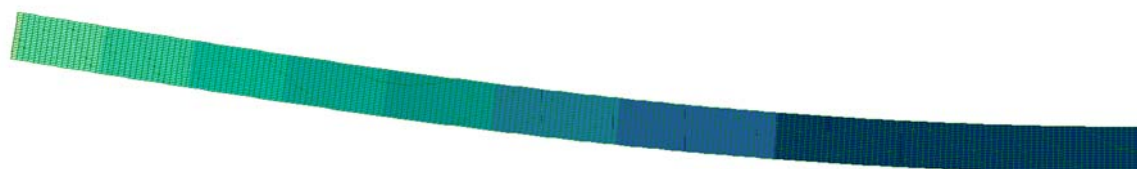
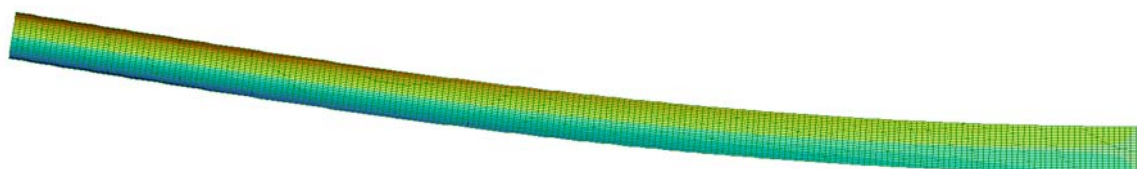


Рисунок 3.8 – Схема несиметричного армування

Ізополя визначених переміщень для цього варіанту армування балки наведено на рисунку 3.9, а). Максимальний прогин балки становить 123 мм.



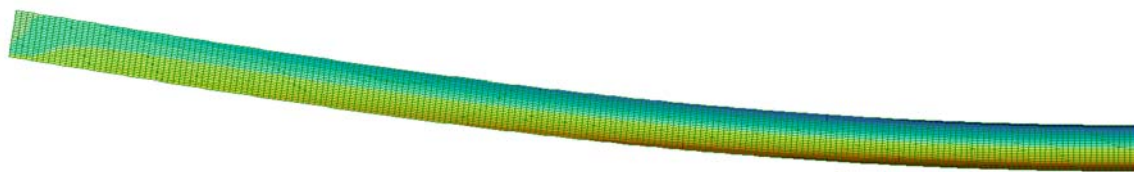
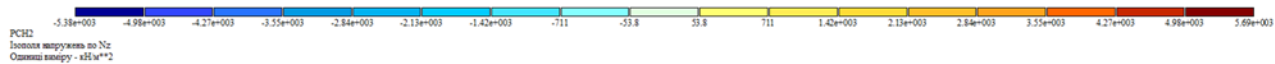
а)



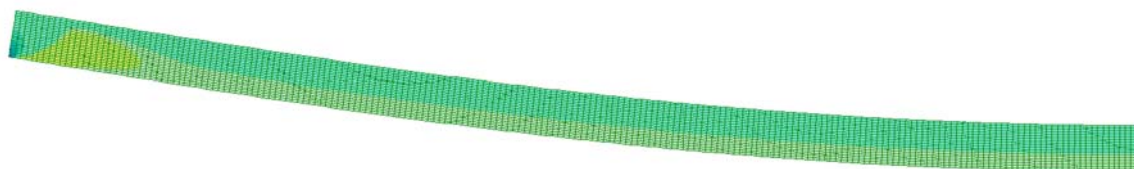
б)

Рисунок 3.9 – Ізополя переміщень клеєної дерев'яної балки з несиметричним армуванням: а) – в напрямку осі  $Z$ ; б) – в напрямку осі  $X$ .

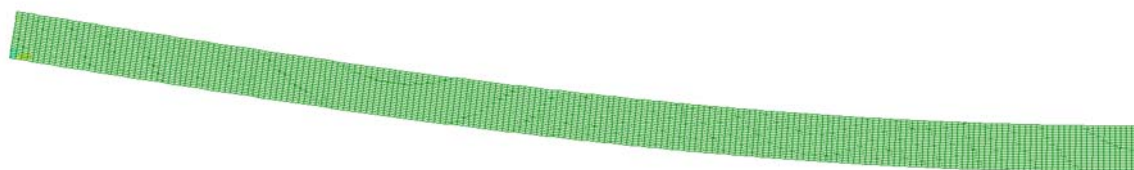
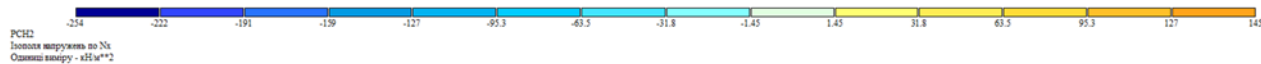




а)



б)



в)

Рисунок 3.10 – Нормальні напруження в елементах клеєної дерев'яної балки з несиметричним армуванням: а) – в поздовжньому напрямку; б) – в поперечному напрямку по осі  $Z$ ; в) – в поперечному напрямку по осі  $Y$ .

Напруження вздовж осі балки з несиметричним типом армування мають найбільші значення в середині прольоту та змінюються по висоті перерізу від

5,69 МПа в розтягнутій зоні з нижньої грані балки до  $-5,38$  МПа в стиснутій зоні біля верхньої грані балки (рис. 3.10, а). В даному випадку нейтральна лінія перерізу буде зміщена вгору відносно середини його висоти, а розподіл напружень буде несиметричним відносно неї.

Напруження в матеріалі балки в поперечному напрямку вздовж осі  $Y$  (рис. 3.10, в) змінюються від  $-0,25$  МПа до  $0,15$  МПа, а вздовж осі  $Z$  (рис. 3.10, б) від  $-1,0$  МПа до  $0,06$  МПа з локалізацією в припорній ділянці.

Мозаїка розподілу нормальних зусиль в стержнях арматури наведена на рисунку 3.11. Екстремальні значення нормальної сили спостерігаються в середині прольоту балки. Найбільше значення в розтягнутій зоні становить  $N_{a,max} = 15,3$  кН, в стиснутій –  $N_{a,min} = -14,3$  кН.

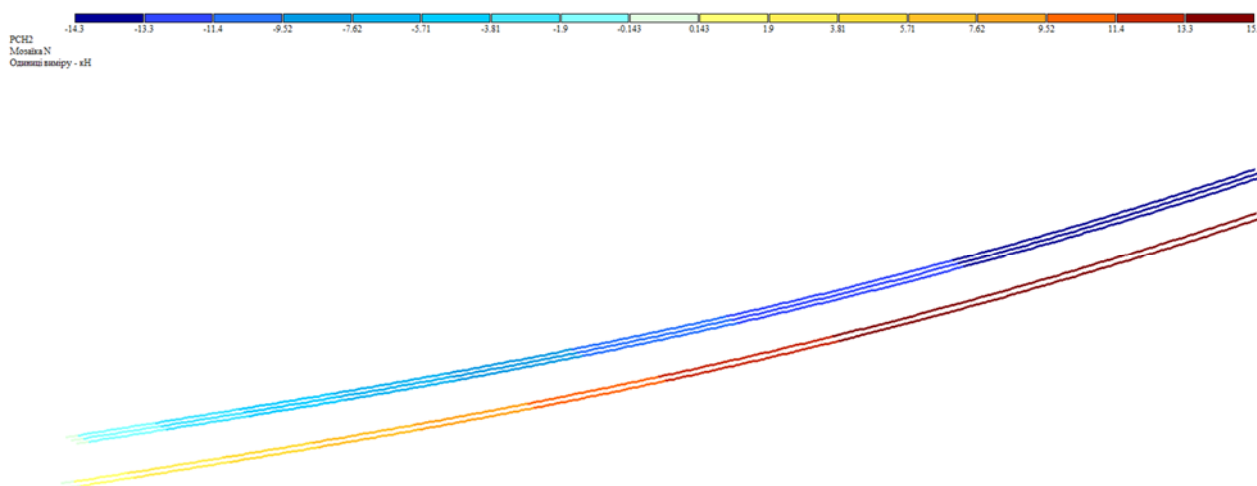


Рисунок 3.11 – Мозаїка нормальних зусиль в стержнях арматури при несиметричному армуванні

Розглянемо результати розрахунку моделі клеєної дерев'яної балки з симетричним армуванням  $3\varnothing 14 + 3\varnothing 14 A400C$ . Схема розміщення арматурних стержнів для цього випадку показана на рис. 3.12.

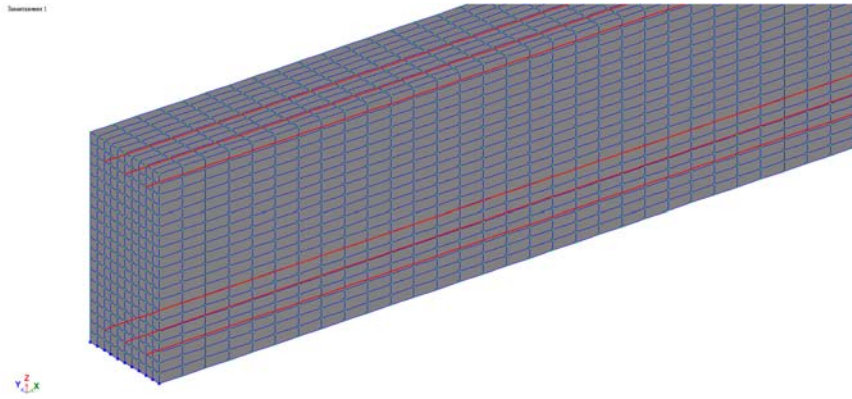
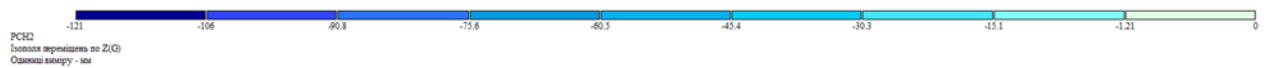
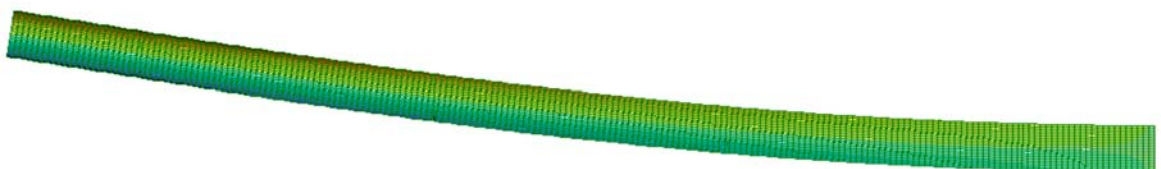
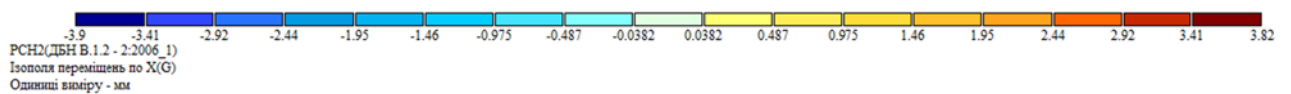


Рисунок 3.12 – Схема симетричного армування

Ізополя переміщень для варіанту симетричного армування балки наведено на рисунку 3.133.9, а). Максимальний прогин балки становить 121 мм .

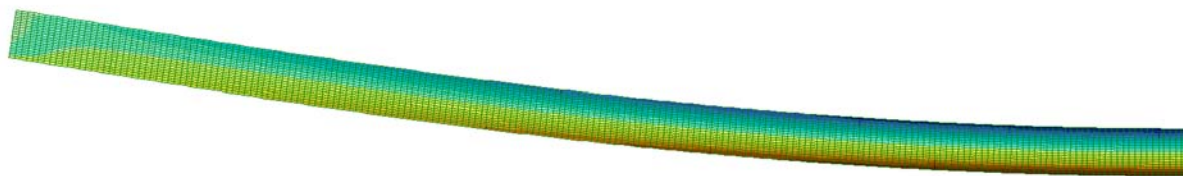
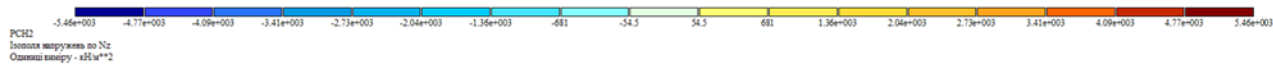


а)

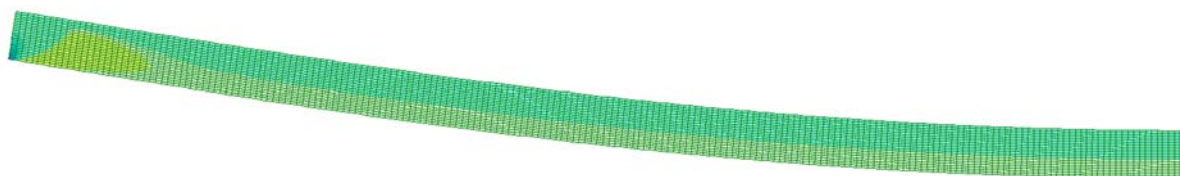


б)

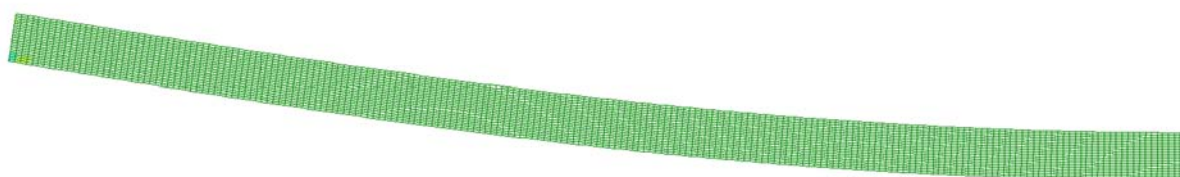
Рисунок 3.13 – Ізополя переміщень клеєної дерев'яної балки з симетричним армуванням: а) – в напрямку осі  $Z$  ; б) – в напрямку осі  $X$  .



а)



б)



в)

Рисунок 3.14 – Нормальні напруження в елементах клеєної дерев'яної балки з несиметричним армуванням: а) – в поздовжньому напрямку; б) – в поперечному напрямку по осі  $Z$ ; в) – в поперечному напрямку по осі  $Y$ .

Напруження вздовж осі балки з симетричним типом армування мають найбільші значення в середині прольоту та змінюються по висоті перерізу

симетрично від 5,46 МПа в розтягнутій зоні з нижньої грані балки до  $-5,46$  МПа в стиснутій зоні біля верхньої грані балки (рис. 3.14, а). В даному випадку нейтральна лінія перерізу буде проходити посередині його висоти, а розподіл напружень буде симетричним відносно неї.

Напруження в матеріалі балки в поперечному напрямку вздовж осі  $Y$  (рис. 3.14, в) змінюються від  $-0,26$  МПа до  $0,15$  МПа, а вздовж осі  $Z$  (рис. 3.14, б) від  $-1,07$  МПа до  $0,065$  МПа з локалізацією в приопорній ділянці.

Мозаїка розподілу нормальних зусиль в стержнях арматури наведена на рисунку 3.15. Екстремальні значення нормальної сили спостерігаються в середині прольоту балки та у випадку симетричного армування мають значення, симетричні по висоті перерізу. Найбільше значення нормального зусилля складає  $N_{a,max} = 14,5$  кН.

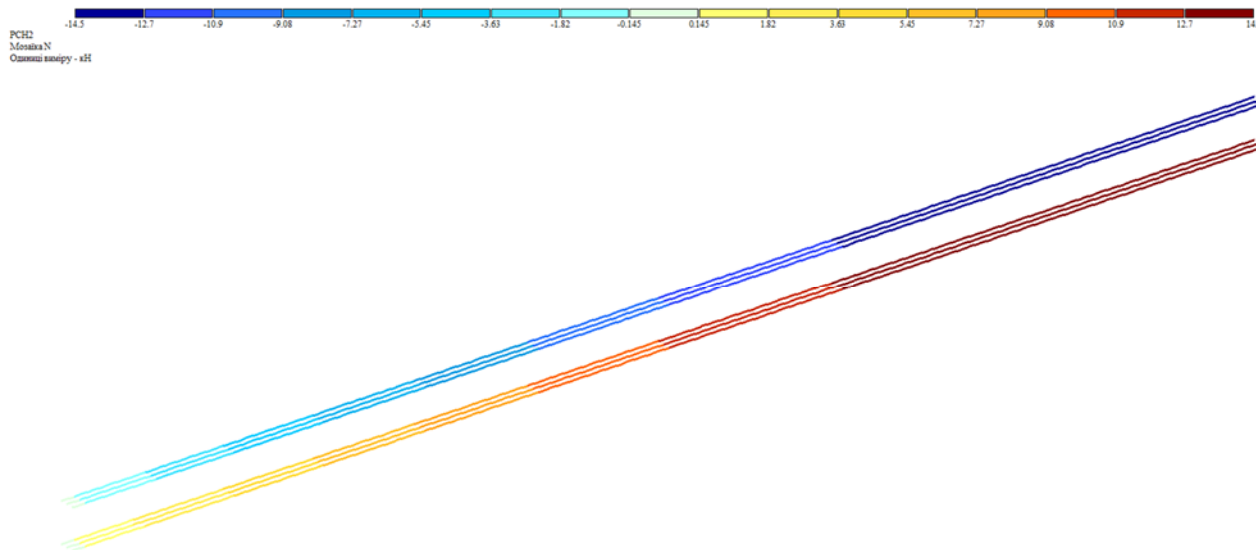


Рисунок 3.15 – Мозаїка нормальних зусиль в стержнях арматури при несиметричному армуванні

### 3.2. Аналіз та порівняння способів армування клеєних дерев'яних балок.

Для оцінки впливу способу армування на тримку здатність клеєних дерев'яних балок зведемо визначені параметри напружено-деформованого стану для розглянутих моделей конструкції в таблицю 3.1. В якості ключових факторів для аналізу та порівняння вибираємо максимальний прогин балок  $f$ , максимальні значення напружень розтягу чи стиску в напрямку осі  $X$  глобальної системи координат (по модулю)  $|\sigma_x|$  та максимальне значення нормального зусилля в арматурних стержнях (по модулю)  $N_a$ .

Також додатково визначаємо значення відносної різниці між значеннями даних величин, що отримані для трьох різних схем армування балок, та значеннями відповідних величин для неармованої балки, виражене у відсотках за формулою

$$\Delta X = \frac{X - X_0}{X_0} \cdot 100\%$$

де  $X$  – значення величини, що аналізується, для поточного способу армування балки;

$X_0$  – значення відповідної величини для неармованої балки.

Таблиця 3.1 – Зведена таблиця параметрів НДС балки залежно від способу армування

Спосіб армування	$f$ , мм	$\Delta f$ , %	$ \sigma_x $ , МПа	$\Delta  \sigma_x $ , %	$N_a$ , кН
Без армування	162	-	7,31	-	-
Одиничне	140	-13,5	6,9	-5,6	15,1
Несиметричне	123	-23,9	5,69	-22,2	15,3
Симетричне	120	-25,9	5,46	-25,3	14,5

Порівнявши значення максимального прогину балки залежно від способу армування (рис. 3.16), можна побачити, що використання будь-якої схеми армування дозволяє суттєво зменшити цю величину. Найбільше відносне зменшення прогину складає  $-25,9\%$  та характерне для випадку симетричного армування. Відзначимо, що несиметричне армування дає дуже близький результат, а одиничне значно менший.

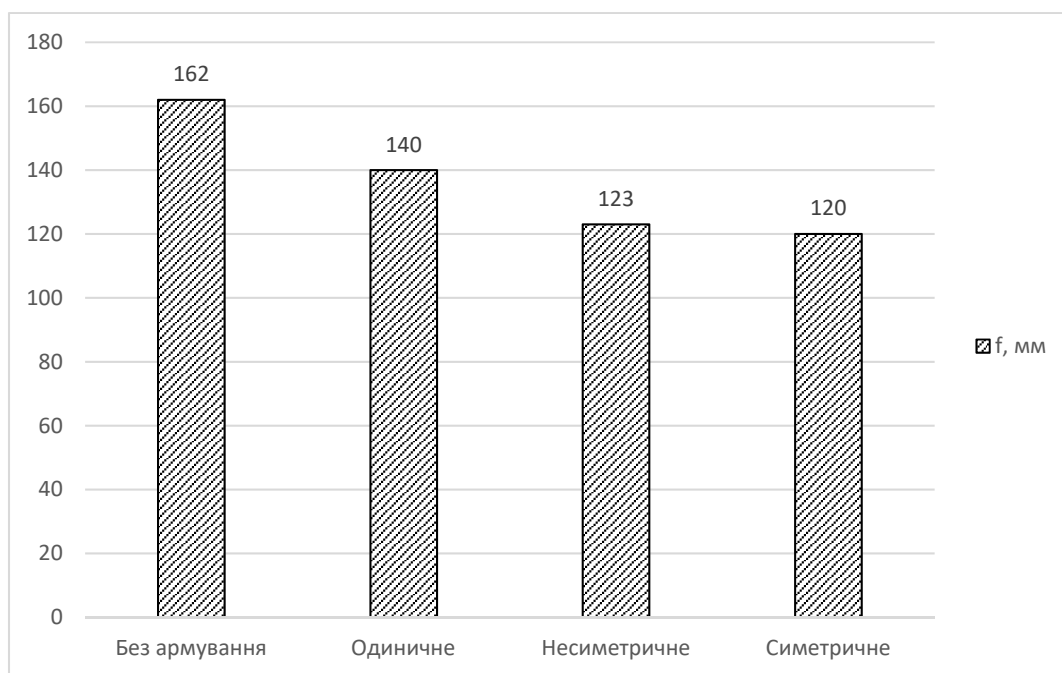


Рисунок 3.16 – Прогин балки залежно від способу армування

Порівнявши значення максимальних поздовжніх напружень основного матеріалу балки (по модулю), спостерігаємо схожу картину (рис. 3.17). Максимальне відносне зменшення даної величини також спостерігається для випадку симетричного армування та становить  $-25,3\%$ . Також можемо бачити, що величини поздовжнього напруження в основному матеріалі для випадку одиничного армування зменшується не суттєво, всього на  $5,6\%$ .

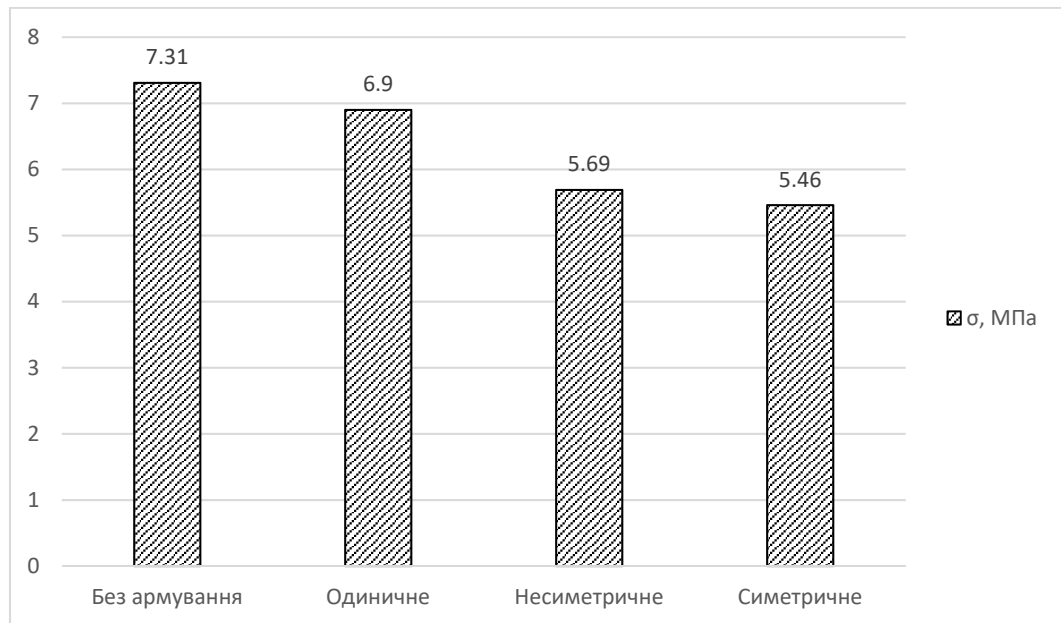


Рисунок 3.17 – Поздовжнє напруження в матеріалі балки залежно від способу армування

Останнім параметром, який порівнюємо для різних способів армування клеєних дерев'яних балок, є максимальне значення поздовжніх зусиль в арматурних стержнях (рис. 3.18). Залежність даного параметру від способу армування має дещо інший тренд порівняно з попередніми величинами. В цьому випадку найменше значення поздовжніх зусиль в арматурі спостерігається для симетричного способу армування, а найбільше – для несиметричного, відмінність між ними складає близько 5%.

Вважаємо також цікавим проаналізувати відмінності в положенні нейтральній лінії в перерізах клеєних дерев'яних балок для різних способів армування. Для цього проаналізуємо ізополя розподілу нормальних поздовжніх напружень для трьох випадків армування, що розглядаються в даній роботі (рис. 3.19).



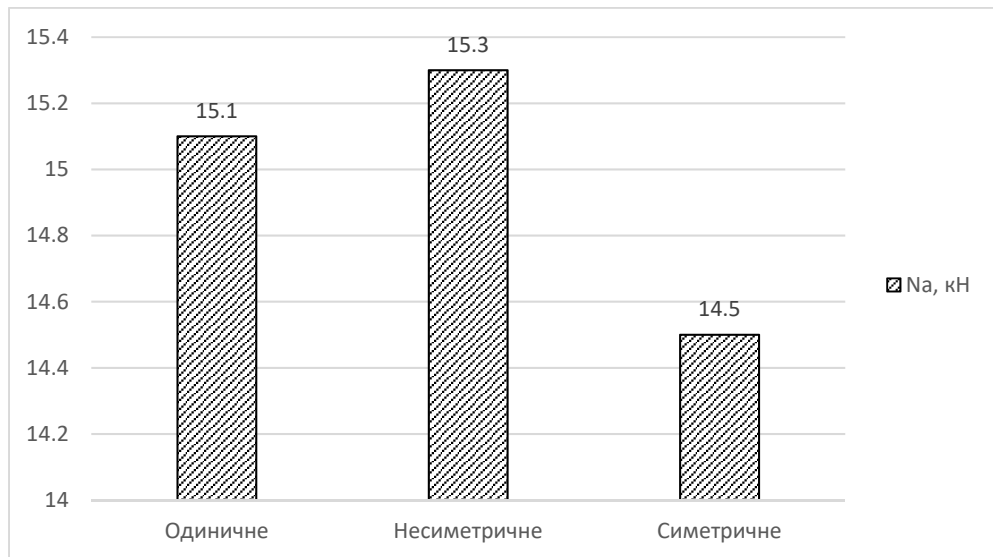


Рисунок 3.18 – Нормальне зусилля в арматурних стержнях залежно від способу армування

Можна побачити, що для випадку армування з розміщенням арматурних стержнів в розтягнутій зоні матеріалу балки спостерігається зміщення нейтральної лінії вниз на 16,34 мм, таким чином збільшується площа стиснутої зони в перерізі. Оскільки для деревини границя міцності при стиску є суттєво меншою, ніж границя міцності при розтягу, даний ефект призводить до збільшення максимальних стискуючих напружень та може мати негативний ефект на міцність основного матеріалу конструкції.

У випадку несиметричного армування з розміщенням більшої площі арматури в стиснутій зоні можемо бачити протилежний ефект. Нейтральна лінія в цьому випадку зміщується вгору на 6,29 мм, що збільшує площу зони розтягу в перерізі балки. Даний ефект дозволяє більш ефективно використовувати основний матеріал балки, оскільки для нього характерна анізотропія властивостей, при якій тримка здатність матеріалу на розтяг більша, ніж на стиск. Зауважимо, що косошарість чи навіть незначне відхилення напрямку дії сили від напрямку волокон значно знижують границю міцності на розтяг, тому застосування арматурних стержнів в розтягнутій зоні необхідне для забезпечення надійності роботи конструкції.

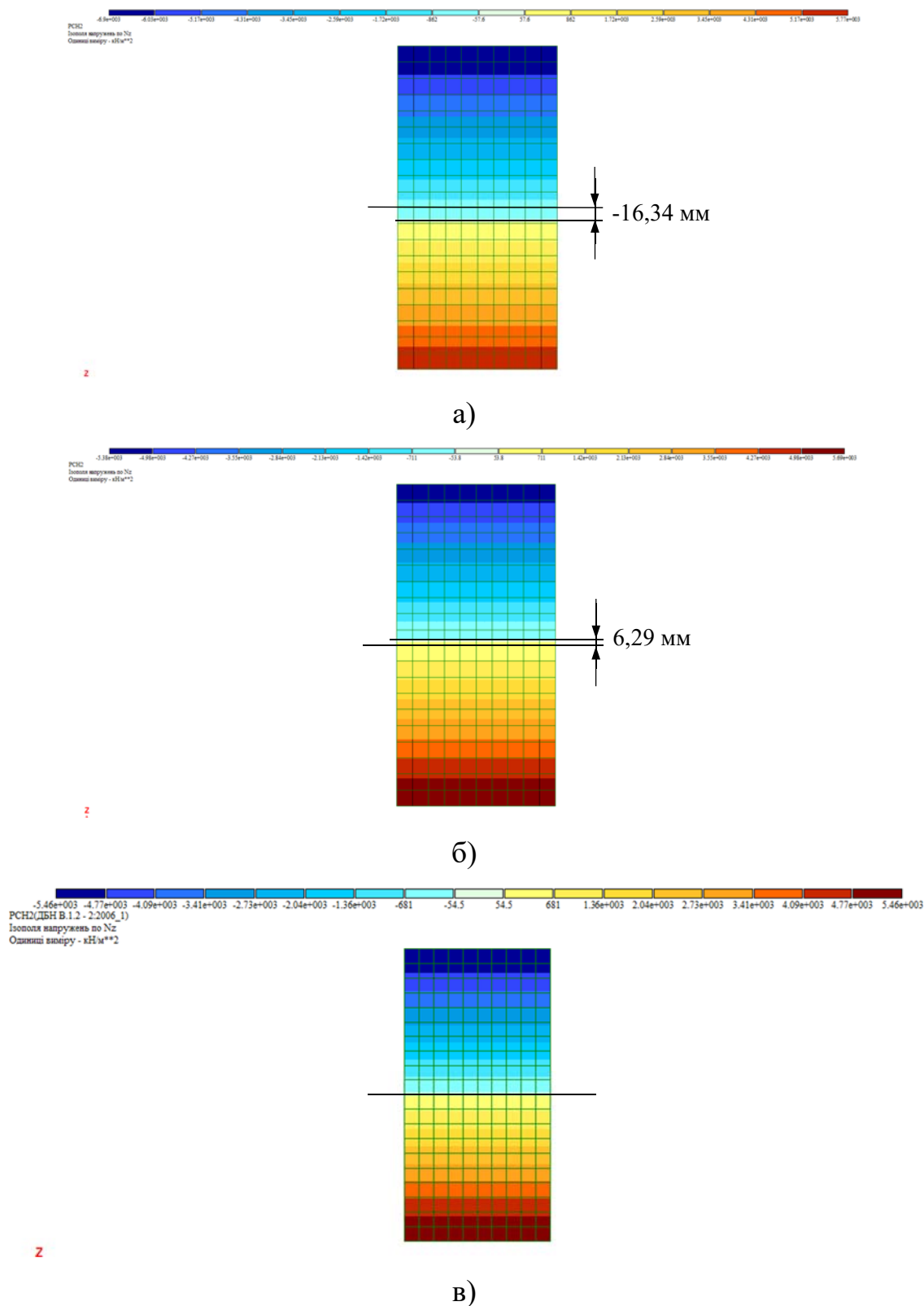


Рисунок 3.19 – Ізополя нормальних напружень в середньому перерізі балки та положення нейтральної лінії:

- а) – для одиничного армування; б) – для несиметричного армування;  
в) – для симетричного армування.

Очевидно, що для випадку симетричного армування положення нейтральної лінії не змінюється відносно базової схеми неармованої балки та залишається посередині висоти перерізу.

### **3.3. Висновки до розділу**

Можемо стверджувати, що використання будь-якої схеми армування дозволяє суттєво підвищити тримку здатність клеєних дерев'яних балок. Величина такого підвищення коливається залежно від способу армування та становить від 5% для одиничного армування до 25% для симетричного.

Армування клеєних дерев'яних конструкцій дозволяє знизити вимоги до границі міцності деревини при незмінних розмірах перерізу чи зменшити розміри перерізу при забезпеченні тієї ж тримкої здатності. Це дозволяє зменшити матеріаломісткість виготовлення дерев'яних конструкцій, знизити їх масу, підвищити надійність роботи, забезпечивши високі експлуатаційні властивості.

Застосування армування дозволяє перерозподілити напруження в елементах клеєних дерев'яних балок, знизивши максимальні напруження в деревині та перенісши частину з них на сталеві стержні, що мають значно більшу міцність.

## Розділ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 4.1. Основні вимоги до виробничої санітарії при виконанні будівельних робіт

Суттєвий вплив на стан організму працівника, його працездатність здійснює мікроклімат. Ці умови визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури поверхонь, що оточують людину та інтенсивності теплового (інфрачервоного) опромінення. Можливості організму пристосовуватись до метеорологічних умов значні. Верхньою межею терморегуляції людини, що знаходиться у стані спокою прийнято вважати 30-31°C при відносній вологості 85% чи 40 °C при відносній вологості 30%. При виконанні важкої роботи теплова рівновага ще зберігається завдяки терморегулятивній функції організму при  $t_n = 25-26^\circ\text{C}$  (відносна вологість 40-60%). Коливання температури в приміщеннях від 10 до 20°C, швидкість руху повітря 0,1-0,3 м/с [26].

Важливе значення при роботі на відкритому повітрі має одяг. Спецодяг повинен бути повітро- та вологопроникним (бавовняним, з льону, грубововняного сукна). Захист від дії зниженої температури досягається використанням теплового спецодягу, а під час опадів — плащів та гумових чобіт. Слід робити перерви для обігрівання в спеціальних приміщеннях розрахованих при проектуванні будгенплану.

Розташування, розміри, оздоблення допоміжних приміщень обумовлюється санітарними вимогами. Туалети розраховують на кожному поверсі на відстані не більше 75 м від найбільш віддаленого робочого місця, а душові слід влаштовувати в кімнатах, суміжних з гардеробними біля внутрішніх стін.

Під час роботи з вібротранспортом по ущільненню ґрунту чи бетону потрібно використовувати: для рук – рукавиці, рукавички, прокладки; для ніг – спецвзуття, коврики, наколінники; для тіла – нагрудники, пояси, спецкостюми. Заборону доступу до вібраційних робіт мають особи молодші 18 років та ті, що мають

відповідні протипокази у стані здоров'я. Працівники, що мають відповідну кваліфікацію, пройшли медичний огляд і техніку безпеки по виконанню робіт допускаються до роботи з вібротранспортом.

Будівельний об'єкт повинен бути освітлений природнім або штучним світлом. При поганому освітленні людина швидко втомлюється, працює менш продуктивно, зростає потенційна небезпека помилкової дії і нещасних випадків. При надмірній яскравості джерел світла та предметів, що знаходяться у полі зору, може відбутись засліплення працівника, що призводить до швидкого втомлення органів зору.

Щоб захистити робітників від шкідливих виробничих факторів використовують такий одяг: костюми, куртки, комбінезони, халати, плащі, фартухи. Основні вимоги, яким повинен відповідати спецодяг: забезпечувати необхідний захист від дії несприятливих чинників, бути зручним, не обмежувати рухомих можливостей працівника. До спецвзуття належить: чоботи, півчоботи, черевики. Спецодяг по закінченні робочого дня чистять від пилу, бруду та сушать в спеціальних приміщеннях і вішають у відведеному місці. Для захисту обличчя використовуються ручні, наголовні та універсальні щитки (ЩЄУ-1). Для захисту очей від твердих часточок, бризок кислот та лугів використовують окуляри (ОЗН, ПО-2). Узимку внутрішню поверхню скла окулярів обробляють спеціальними сумішами, щоб воно не запотівало.

#### **4.2. Охорона праці при монтажі вогнезахисного покриття**

Покриття будівельних конструкцій вогнезахисними фарбами, що спучуються, вважається однією з небезпечних для здоров'я робіт. Для їх виконання працююча особа повинна пройти щорічне спеціальне навчання з питань охорони праці та перевірку знань.

Фарбувальні матеріали повинні надходити до робочих місць готовими до використання; подачу їх до робочих місць (у разі відсутності централізованої подачі) необхідно виконувати в тарі, що щільно закривається.

Пневматичне розпилення матеріалів необхідно виконувати на визначених постах, у спеціальних установках або камерах, обладнаних конвеєрами або столами, що обертаються, та місцевою витяжною вентиляцією.

Фарбування методом пневматичного розпилення (за винятком використання лакофарбувальних матеріалів, що містять свинець) великогабаритних виробів, для яких неможливо обладнати постійні пости фарбування, необхідно виконувати на відкритих дільницях, обладнаних вентиляційними решітками в підлозі.

Під час фарбування виробів заввишки більше 2 м місце фарбування повинно бути огорожене негорючими перегородками полегшеного типу. Роботи необхідно виконувати із застосуванням підйомників, пересувних підмостків, малярних візків порталного (велосипедного) типу, візків з платформою.

Фарбування поверхонь щітками або валиком необхідно виконувати при працюючій загальнообмінній або місцевій витяжній вентиляції.

Печі для формування порошкових покриттів повинні бути обладнані вентиляційним зонтом та мати блокування для запобігання підняттю температури вище встановленої норми.

Природне сушіння виробів необхідно виконувати в камерах або витяжних шафах при включеній місцевій витяжній вентиляції.

Робітники повинні бути забезпечені засобами індивідуального захисту (респіраторами, окулярами, захисними пастами і мазями, гумовими рукавичками, комбінезонами) відповідно до діючих норм техніки безпеки і виробничої санітарії для робітників, зайнятих в цементній промисловості. Робітники, зайняті приготуванням розчинів вогнезахисних лаків та фарб, повинні працювати в гумових рукавичках і захисних окулярах.

### **4.3. Безпека в надзвичайних ситуаціях**

#### **4.3.1. Заходи протипожежної профілактики**

Згідно з положеннями чинного законодавства, яке регулює сферу пожежної безпеки, в будівлях громадського призначення повинні дотримуватися наступні вимоги пожежної безпеки, що пред'являються з боку контрольних органів:

- забезпечення функціонування сучасної системи оповіщення про виникнення вогнища загоряння;
- забезпечення постійної наявності засобів боротьби з вогнем (вогнегасники, стаціонарні пожежні шланги). Ці засоби повинні знаходитися у доступному місці, прохід якого нічим не загороджений. Всі співробітники організації повинні бути проінформовані про розташування цих засобів;
- розробка планів евакуації для кожного поверху будівлі і розміщення цих планів в зоні видимості. Для забезпечення пожежної безпеки підсобних приміщень необхідно проводити розрахунок категорії небезпеки згідно з Правилами улаштування електроустановок;
- розміщення вказівних знаків до місць виходу і евакуації при виникненні пожежі, забезпечення видимості цих покажчиків у разі задимленості за рахунок використання підсвічування;
- наявність системи голосового оповіщення всіх приміщень організації про пожежонебезпечні ситуації;
- забезпечення безперешкодного доступу до шляхів евакуації;
- забезпечення безперебійного функціонування вентиляційної системи;
- ведення обліку засобів боротьби з вогнем в цілях забезпечення їх наявності і справного стану;
- ознайомлення працівників з порядком дій при виникненні пожежі, а також для його недопущення, ведення відповідного журналу про проведення інструктажу з наявністю підписів працівників, що підтверджують їх ознайомлення з інструкцією;

- призначення працівника, відповідального за протипожежну безпеку організації в цілому, а також у кожному структурному підрозділі.

В цілях відповідності громадських приміщень вимогам ДСНС України для кожного приміщення необхідно проводити розрахунок наступних показників:

- категорія вибухонебезпеки і пожежної небезпеки;
- технічні характеристики, що дозволяють встановлювати і використовувати сигналізації і системи автоматичного гасіння пожежі;
- гранична стійкість використаних при будівництві і обробці матеріалів до дії вогню;
- розрахунок розташування та оснащення необхідними засобами боротьби з пожежею, а також шляхів евакуації.

Прикладами практичної реалізації даних вимог в процесі проектування громадських будівель можуть бути наступні заходи:

- забезпечення мінімально необхідної віддалі від будівель до джерел вогню згідно з протипожежними нормами при проектуванні будгенплану об'єкту;
- улаштування протипожежних розривів між тимчасовими і постійними будівлями залежно від ступеню їх вогнестійкості;
- передбачення поділу площі об'єкту на окремі зони, призначені для персоналу та відвідувачів, та влаштування проходів і шляхів евакуації для них так чином, щоб потоки людей не перетиналися;
- обов'язкове влаштування на шляхах евакуації аварійного освітлення та покажчиків виходу, встановлення дверей з відповідним ступенем вогнестійкості, що відчиняються в сторону зовнішніх виходів;
- влаштування протипожежного водопроводу та спринклерних систем внутрішнього пожежогасіння з підключенням до автоматичної системи пожежного захисту з засобами контролю задимленості та температури приміщень.



#### **4.3.2. Виявлення та оцінка небезпеки, моделювання можливої обстановки відпрацювання сценаріїв на об'єкті**

На об'єктах підвищеної небезпеки (радіаційно-, хімічно-, вибухонебезпечних) створюються локальні системи виявлення загрози виникнення надзвичайних ситуацій (НС) і оповіщення працівників цих об'єктів та місцевого населення, що проживає в зоні можливого ураження (згідно кодексу цивільного захисту України власники таких об'єктів відповідають за захист населення, що проживає в зонах можливого ураження від наслідків аварій на цих об'єктах).

Комплексні об'єктові навчання проводяться підприємствами, установами та організаціями з чисельністю працюючих 50 осіб і більше з метою комплексного відпрацювання їх учасниками алгоритмів дій з організації та здійснення заходів, передбачених планами реагування на надзвичайні ситуації, локалізації і ліквідації наслідків аварій на об'єктах підвищеної небезпеки, цивільного захисту на особливий період [27].

Навчання проводяться на завершальному етапі трирічного періоду об'єктової підготовки з цивільного захисту працівників після того, як вони оволодіють у повному обсязі теоретичним матеріалом відповідних програм підготовки населення до дій у надзвичайних ситуаціях.

Для підготовки і проведення навчання не пізніше ніж за 45 днів до його проведення керівником підприємства, установи, організації видається наказ, яким визначаються вихідні дані (тема, навчальні цілі, строк та місце проведення), призначається керівництво навчанням, а також визначаються склад тих, хто навчається, посередники при них, порядок їх підготовки і допуску до навчання, строки та обсяг робіт з підготовки місць (ділянок) проведення практичних заходів, відповідальні виконавці, матеріально-технічне забезпечення, кошторис на підготовку та проведення навчання.

Керівником навчання є керівник підприємства, установи, організації. До складу керівництва навчанням також входять: заступники, помічники керівника навчання, начальник штабу керівництва навчанням.

Штаб керівництва навчанням створюється як тимчасовий орган для забезпечення розробки документів з проведення навчання, підготовки навчально-матеріальної бази, пунктів управління, робочих місць тих, хто навчається, засобів зв'язку та оповіщення, організаційно-методичного керівництва навчанням та управління силами цивільного захисту, які беруть в ньому участь.

Чисельність працівників штабу керівництва навчанням визначається керівником навчання і залежить від обсягу завдань, що вирішуються під час підготовки і проведення навчання.

Посередники при тих, хто навчається, є представниками керівника навчання, які надають допомогу керівникові у проведенні навчання, а також здійснюють контроль за діями тих, хто навчається, та дотриманням ними заходів безпеки.

До проведення навчання залучаються:

- об'єктова комісія з питань надзвичайних ситуацій;
- об'єктові евакуаційні органи;
- штатний або позаштатний підрозділ (особа) з питань цивільного захисту підприємства, установи, організації;
- особи, на яких у разі виникнення НС покладаються функції керівника робіт з ліквідації наслідків НС та працівників штабу з ліквідації наслідків НС об'єктового рівня;
- об'єктові спеціалізовані служби цивільного захисту;
- чергова (диспетчерська) служба (у разі утворення);
- до третини об'єктових формувань цивільного захисту;
- об'єктова добровільна пожежна дружина (команда);
- об'єктова аварійно-рятувальна служба (у разі утворення);
- працівники підприємства, установи, організації, яких планується залучити до проведення практичних заходів.

Підготовка керівництва для забезпечення успішного проведення навчання здійснюється на спеціально організованих керівником підприємства, установи, організації інструктивно-методичних заняттях, що проводяться територіальними

курсами, навчально-методичними центрами цивільного захисту та безпеки життєдіяльності.

Під час таких занять, що проводяться безпосередньо на підприємстві, в установі, організації, заступниками (помічниками) керівника навчання, персоналом штабу керівництва відпрацьовуються документи з проведення навчання.

З посередниками та працівниками, які на час навчання призначаються керівниками на навчальних місцях з практичного відпрацювання заходів і робіт та/або залучаються до проведення таких заходів і робіт, проводяться інструктажі.

Для забезпечення проведення навчання керівником підприємства, установи, організації за погодженням з територіальним органом ДСНС України затверджується план проведення спеціального об'єктового навчання з питань цивільного захисту.

План проведення, що є основним документом, який визначає хід навчання, послідовність відпрацювання навчальних питань, розробляється з такими додатками: план об'єкта з графічним показом ділянок, рубежів, пунктів відтворення обстановки та переліком засобів імітації; почасовий графік нарощування обстановки з переліком ввідних; схема розгортання сил і засобів у місцях (ділянках) відпрацювання практичних заходів та їх зміст; таблиць термінових донесень за навчанням.

Проведення навчання планується за етапами, кількість і зміст яких залежать від навчальних цілей і масштабів. Кожен етап має включати питання, що повністю охоплюють певний період дій.

#### **4.4. Висновки до розділу**

З розділу охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях можна зробити наступні висновки:

- нормативними документами до виробничої санітарії при виконанні будівельних робіт ставляться вимоги щодо забезпечення температурного режиму,

освітленості, доступності та площі санітарних і допоміжних приміщень, концентрації пилу та шкідливих речовин;

- запобігання впливу шкідливого середовища на здоров'я людини проводиться шляхом забезпечення засобами індивідуального захисту та дотримання правил техніки безпеки;

- покриття будівельних конструкцій вогнезахисними фарбами, що спучуються, вважається однією з небезпечних для здоров'я робіт. Для їх виконання працююча особа повинна пройти щорічне спеціальне навчання з питань охорони праці та перевірку знань, дотримуватися вимог техніки безпеки при пневматичному розпиленні матеріалів;

- в будівлях громадського призначення повинні дотримуватися вимоги пожежної безпеки, що пред'являються з боку контрольних органів, зокрема щодо забезпечення функціонування сучасної системи оповіщення про виникнення вогнища загоряння, забезпечення постійної наявності засобів пожежогасіння, забезпечення безперешкодного доступу до шляхів евакуації;

- комплексні об'єктові навчання проводяться підприємствами, установами та організаціями з чисельністю працюючих 50 осіб і більше з метою комплексного відпрацювання їх учасниками алгоритмів дій з організації та здійснення заходів, передбачених планами реагування на надзвичайні ситуації.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Кваліфікаційна робота магістра присвячена дослідженню впливу способу армування на тримку здатність клеєних дерев'яних балок.

За результатами дослідження та у відповідності до поставлених задач роботи можна зробити такі висновки:

1. Для дослідження, аналізу та порівняння обрано три способи розміщення арматурних стержнів в перерізі клеєних дерев'яних балок: симетричне, несиметричне та одинарне. Проаналізовано особливості конструкції та технологію виконання армування для кожного з них.
2. Розроблено методику оцінки напружено-деформованого стану клеєних дерев'яних балок, що враховує анізотропію властивостей матеріалу та дозволяє підвищити достовірність моделювання плоского напруженого стану даного типу конструкцій.
3. З використанням методу скінченних елементів розроблено ряд моделей для розрахунку напружено-деформівного стану клеєних дерев'яних балок довжиною  $L = 20$  м з перерізом  $b \times h = 20 \times 40$  см без армування та з різними схемами армування сталевими арматурними стержнями  $\varnothing 14$  А400С.
4. Встановлено, що використання будь-якої схеми армування дозволяє суттєво підвищити тримку здатність клеєних дерев'яних балок. Величина такого підвищення коливається залежно від способу армування та становить від 5% для одиничного армування до 25% для симетричного способу армування.
5. Застосування армування дозволяє перерозподілити напруження в елементах клеєних дерев'яних балок, знизивши максимальні напруження в деревині та перенісши частину з них на сталеві стержні, що мають значно більшу міцність.

**Наукова новизна** отриманих в дослідженні результатів наступна:

1. Отримала подальший розвиток методика оцінки напружено-деформованого стану армованих клеєних дерев'яних балок за допомогою методу скінченних елементів з урахуванням ортотропії властивостей матеріалу.
2. Встановлено закономірності впливу способу армування на тримку здатність та напружено-деформований стан клеєних дерев'яних балок.

**Практична значимість отриманих результатів.** Розроблена методика моделювання напружено-деформованого стану клеєних дерев'яних конструкцій дозволяє враховувати ортотропію властивостей матеріалу, що має дуже важливе значення для підвищення достовірності розрахунку. В роботі проаналізовано напружено-деформований стан клеєної дерев'яної балки довжиною 20 м з різними способами армування. Визначено спосіб розміщення арматурних стержнів, який дає найкращий результат. Запропонована методика може бути також використана при розрахунку інших подібних дерев'яних конструкцій.

## БІБЛІОГРАФІЯ

1. Фурсов В. В. Современные конструкции из клееной древесины / В. В. Фурсов, Н. Н. Ковлев, А. Ю. Васильев. // ПБИС. – 2010. – №2. – С. 34–41.
2. Михайловський Д. В. Аналіз техніко-технологічних властивостей клеєної деревини як перспективного матеріалу для будівельних конструкцій / Д. В. Михайловський, М. С. Коваленко, Д. М. Матющенко. // Чернігівський науковий часопис. Серія 2, Техніка і природа. – 2011. – №2. – С. 122–127.
3. Дерев'яні клеєні конструкції: інформаційно-довідковий супровід [Електронний ресурс] // Будівельний портал. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://ukr3.com/derevjani-kleeni-konstrukcii-informacijno>.
4. Воронець І., Сорочак А. Особливості використання гнотоклеєних дерев'яних рам // Міжнародна науково-технічна конференція «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» до 100 річчя з дня заснування НАН України та на вшанування пам'яті Івана Пулюя (100 річчя з дня смерті), Тернопіль, 22-24 травня 2018 року. – Тернопіль: ТНТУ, 2018. – С. 86.
5. Демчина Б.Г., Орешкин Д.О., Сурмай М.І., Кравз А.Р., Бляхар Т.Й. Експериментальне дослідження роботи дощатоклеєних балок армованих металевою та неметалевою арматурою // Вісник НУЛП: Теорія і практика будівництва. – №697. – Львів, НУЛП, 2010. – С.87-92.
6. Касаткин В. Б. Эффективность применения армированной древесины для изготовления панельных покрытий / В. Б. Касаткин, Ю. Б. Вылегжанин // Развитие производства клееных деревянных конструкций в Сибири / В. Б. Касаткин, Ю. Б. Вылегжанин. – Новосибирск: Новосиб. строит, институт, 1975. – (Сб. тр.). – С. 120–123.
7. Кліменко В.З. Конструкції з клеєної деревини Світовий досвід // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2009. – №1. – С. 39 – 43.

8. Пермяков В.А., Клименко В.З. Состояние и перспективы применения строительных деревянных конструкций в Украине // Экономика строительства. – № 4. – 2005. – С. 36 – 41.
9. Клименко В. З. Еволюційний характер сучасної концепції проектування конструкцій з клеєної деревини / В. З. Клименко. // Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – 2011. – №8. – С. 5–14.
10. Шналь Т. М. Вогнестійкість та вогнезахист дерев'яних конструкцій: Навч. посібник / Т. М. Шналь. – Львів: Видавництво Національного університету "Львівська політехніка", 2006. – 220 с.
11. Деревянные конструкции в строительстве / [Л. М. Ковальчук, С. Б. Турковский, Ю. В. Пискунов и др.]. – Москва: Стройиздат, 1995. – 246 с.
12. Попельнух В. М. Проектування дерев'яних конструкцій / В. М. Попельнух. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 207 с. – (Навч. посібник).
13. Иванов Ю. М. Исследования влияния армирования на прочность и жесткость клееных деревянных изгибаемых элементов / Ю. М. Иванов, И. М. Линьков, В. М. Соротокин. // Разработка и исследование клееных деревянных и фанерных армированных конструкций. – 1972. – №24. – С. 13–39.
14. Молотовщиков С. Л. Прочность и деформативность армированных деревянных балок при длительном действии нагрузки / С. Л. Молотовщиков // Материалы областной конф / С. Л. Молотовщиков. – Владимир, 1999. – С. 28–31.
15. Боднарчук Т.Б. Дослідження несучої здатності дерев'яних балок, армованих зовнішньою стрічковою арматурою / Т. Боднарчук, С. Нікіфоряк, М. Івчук // Вісник ЛНАУ. Архітектура і сільськогосподарське будівництво. – №15. – 2014. – С. 68-74.
16. Рощина С. И. Повышение надежности несущих армированных деревянных конструкций / С. И. Рощина, В. А. Репин, М. В. Лукин. // Деревообрабатывающая промышленность. – 2008. – №2. – С. 11.



17. Стоянов В. В. Проблемы совершенствования комбинированных строительных конструкций с целью повышения их несущей способности / В. В. Стоянов. // Современные строительные конструкции из металла и древесины. – 2004. – №5. – С. 4–11.
18. Ашкенази Е. К. Анизотропия древесины и древесных материалов / Е. К. Ашкенази. – Москва: Лесная промышленность, 1978. – 224 с.
19. Ясній П. В., Гомон С. С. Експериментальні дослідження суцільної деревини конструкційних розмірів з врахуванням фактора вологості // Сучасні технології, матеріали і конструкції в будівництві. – №28, вип. 1. – 2020. – С. 49-56.
20. Ясній П. В., Гомон С. С. Дослідження січних модулів листяних та хвойних порід деревини з різним показником вологості // Вісник Вінницького політехнічного інституту. - №4. – 2020. – С. 125-130.
21. EN 1995-1-2:2004. Eurocode 5: Design of timber structures - Part 1.1: General rules and rules for buildings – London: BSI, 2004. – 102 p.
22. ДСТУ 3760-2006. Прокат арматурний для залізобетонних конструкцій. Загальні технічні умови – Київ: Держспоживстандарт України, 2007. – 28 с.
23. Програмне забезпечення інженерних розрахунків : конспект лекцій для студентів спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» всіх форм навчання / Укладач: Сорочак А.П. – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2018. – 128 с.
24. ДБН В.1.2-2:2006. Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Навантаження і впливи. Норми проектування. – К.: Мінбуд України, 2006. – 75 с.
25. ДБН В.2.6-161:2010. Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції. Основні положення – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 106 с.
26. ДБН А.3.2-2-2009. Система стандартів безпеки праці. Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2012. – 116 с.

27. Цивільна оборона: навч. посіб. Кулаков М.А., Ляпун В.О., та ін. – Харків: НТУ  
ХПІ, 2005. – 363 с.