

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

Факультет інженерії машин, споруд і технологій
(повна назва факультету)
Кафедра будівельної механіки
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

Магістр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Моделювання роботи клеєфанерних плит при дії рівномірно-
розподіленого навантаження.

Виконав(ла): студент(ка) 6 курсу, групи МБнм-61
спеціальності _____

192. Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

Студент

(підпис)

Ковальський Б. І.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Бодрова Л. Г.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Мещерякова О. М.

(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри

(підпис)

Ясний В. П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Качка О.І

(прізвище та ініціали)

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

Факультет Факультет інженерії машин, споруд і технологій

(повна назва факультету)

Кафедра Будівельної механіки

(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Ясній В.П.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

« »

2025 р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр

(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 192 Будівництво та цивільна інженерія

(шифр і назва спеціальності)

студенту Ковальському Богдану Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделювання роботи клеєфанерних плит при дії рівномірно-розподіленого навантаження.

Керівник роботи Бодрова Людмила Гордіївна.. к.т.н., проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від « 11 » 04 2025 року № 4/7-287

2. Термін подання студентом завершеної роботи

3. Вихідні дані до роботи

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

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

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Каспрук В.Б. доцент		
Безпека в надзвичайних ситуаціях	Стручок В.С. ст. викл.		
Нормоконтроль	Мещерякова О.М. ст.викл.		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент _____
(підпис)

Ковальський Б. І.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Бодрова Л. Г.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ.....	7
1.1 Особливості розрахунку клеєних елементів з фанери.....	7
РОЗДІЛ 2 ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ КЛЕЄФАНЕРНИХ ПЛИТ МЕТОДОМ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ	9
2.1 Розрахункові схеми проєктованих клеєфанерних плит, що проектуються.....	9
2.1.1 Геометричні характеристики перерізів елементів клеєфанерних плит.....	11
2.1.2 Фізико-механічні характеристики елементів клеєфанерних плит .	11
2.2 Коротка характеристика програмних комплексів, використаних під час досліджень	13
2.2.1 Програмний комплекс Ansys.....	13
2.2.2 Програмний комплекс Autodesk Robot Structural Analysis.....	14
2.3 Методика розрахунку	15
2.3.1 Програмний комплекс Ansys.....	15
2.3.2 Програмний комплекс Autodesk Robot Structural Analysis.....	19
2.4 Результати розрахунку та аналіз отриманих результатів	20
2.5 Висновки за розділом 2	42
РОЗДІЛ 3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	43
3.1 Охорона праці	43
3.1.1 Законодавство України про охорону праці.....	43
3.1.2 Вимоги при будівельно-монтажних роботах.....	44
3.1.3 Вентиляційна установка	46
3.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях.....	49
3.2.1 Законодавство України про безпеку в надзвичайних ситуаціях	49
3.2.2 Загальні положення	49

3.2.3 Вплив ударних хвиль при вибуху	51
3.2.4 Системи сейсмозахисту будівель і споруд	56
3.2.5 Заходи щодо підвищення стійкості об'єкта	56
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	58
БІБЛІОГРАФІЯ	59

ВСТУП

Деревина - це універсальна сировина і єдиний відновлюваний будівельний матеріал. Дерев'яні конструкції зазвичай характеризуються поєднанням різних компонентів, які разом забезпечують максимально можливу несучу здатність, теплову, акустичну та вологоізоляцію, а також тривалий термін служби.

Одним із можливих варіантів влаштування покриття будівель, переважно промислового призначення, є застосування клеєфанерних плит покриття. Доцільність застосування клеєфанерних плит покриття визначається як малою масою при високій несучій здатності, так і поєднанням огорожувальних і несучих функцій.

Такі плити належать до полегшених конструкцій індустріального виготовлення. Панелі покриттів складаються з дерев'яного несучого каркаса і фанерної обшивки, з'єднаних в єдине ціле водостійким клеєм. Плити технологічні, прості у виготовленні та монтажі, мала маса дає змогу під час монтажу вдатися до техніки меншої вантажопідйомності.

Крім незаперечних переваг, клеєфанерні плити покриття мають істотний недолік: висока вартість матеріалів конструкції. Одним з основних завдань будівельної галузі в усі часи був пошук таких конструктивних рішень, які забезпечують необхідні міцнісні якості і при цьому є найменш матеріаломісткими.

Мета роботи: дослідження напружено-деформівного стану клеєфанерних плит покриття з врахуванням конструктивних рішень.

Об'єкт досліджень – клеєфанерні плити покриття.

Предмет дослідження – напружено-деформівний стан елементів клеєфанерних плит покриття в залежності від навантаження, висоти та товщини ребра панелі.

Для вирішення поставленої мети дослідження визначено такі **завдання**:

- проведення розрахунку у двох програмних комплексах;
- виявлення впливу зміни величини навантаження на характер розподілу результатів розрахунку в програмних комплексах;

- визначення умов обпирання фанерної обшивки на поздовжні ребра на основі аналізу нормальних напружень, величини переміщень і епюр згинальних моментів;
- аналіз отриманих результатів і вибір оптимальних параметрів плити для заданого навантаження з погляду сукупності чинників міцності та матеріаломісткості;
- висновок щодо виконаної роботи.

Методи дослідження –скінченно-елементне моделювання.

Галузю застосування результатів роботи є проектування нових, реконструкція та експлуатація існуючих будівель.

Наукова новизна отриманих результатів: отримала подальший розвиток методика чисельних досліджень з розрахунку НДС клеєфанерних плит покриття в залежності від навантаження, висоти та товщини ребра панелі.

Практичне значення отриманих результатів: виконані автором дослідження можуть бути актуальними під час проектування нових та реконструкції існуючих будівель.

Апробація результатів магістерської роботи виконана роботи виконана на VIII Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 24-25 квітня 2025 року).

Публікація результатів магістерської роботи здійснена у збірнику тез вищезазначеної конференції.

Робота виконана згідно з тематикою науково-дослідних робіт кафедри будівельної механіки ТНТУ та державними програмами надійності і економічності будівельних виробів, матеріалів і конструкцій.

Ключові слова: фанера, деревина, напружено-деформівний стан, скінченно-елементне моделювання.

РОЗІДЛ 1

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ЗА ТЕМОЮ РОБОТИ

1.1 Особливості розрахунку клеєних елементів з фанери

Особливості розрахунку клеєних елементів з фанери з деревиною регламентується ДБН В.2.6-161:2017 Дерев'яні конструкції. Основні положення. Згідно з вимогами цього нормативного документу розрахунок клеєних елементів із фанери з деревиною слід виконувати за методом наведеного перерізу. Цей метод являє собою приведення перерізу конструкції, виконаного з матеріалів з різними модулями пружності, до одного модуля пружності через коефіцієнт приведення.

Під час виконання умови міцності велику роль відіграють геометричні характеристики наведеного перерізу клеєфанерної плити. Момент опору перерізу за незмінних розмірів конструкції клеєфанерної плити в плані залежить від: товщини фанерної обшивки; кроку поздовжніх ребер; висоти поздовжніх ребер; товщини поздовжніх ребер.

Дослідження напружено-деформованого стану клеєних елементів із фанери з урахуванням зміни кроку поздовжніх ребер і товщини фанерної обшивки були широко вивчені.

Згідно з ДБН В.2.6-161:2017 верхню обшивку плит додатково перевіряють на місцевий вигин, як балку, зароблену жорстко в місцях приклеювання фанерної обшивки до несучих ребер конструкції від дії зосередженого зусилля завбільшки 1кН з коефіцієнтом перевантаження 1,2.

Об'єктом дослідження є ребриста не утеплена клеєфанерна плита з верхньою фанерною обшивкою під холодну рулонну покрівлю.

Перевагою цього типу плити порівняно з плитами коробчатого перерізу є доступність для огляду, швидка провітрюваність у разі зволоження. Також відсутність утеплювача унеможливорює ризик накопичення вологи в його товщі внаслідок перепаду температур повітря всередині приміщення і зовні (у разі, якщо точка роси розташована всередині утеплювача), таким чином, ризик загнивання деревини. Крім цього, відсутність нижньої фанерної обшивки призводить до

суттєвої економії дорогого матеріалу, оскільки під час інженерного розрахунку під час врахування нижньої обшивки як силового елемента через можливі непроклеєні стики необхідно враховувати зниження розрахункового опору фанери на 40% [2].

Незаперечним недоліком ребристої клеєфанерної плити вважається неможливість використання її для опалювальних будівель.

Плита покриття складається з дерев'яного несучого каркаса і фанерної обшивки, з'єднаних водостійким клеєм в одне ціле. Дерев'яний несучий каркас являє собою поздовжні ребра, розташовані з кроком 0,5 м, і довжиною 3 м. Розміри плити в плані 1,5х3 м.

На рисунку 1.1 представлена схематична модель клеєфанерної плити.

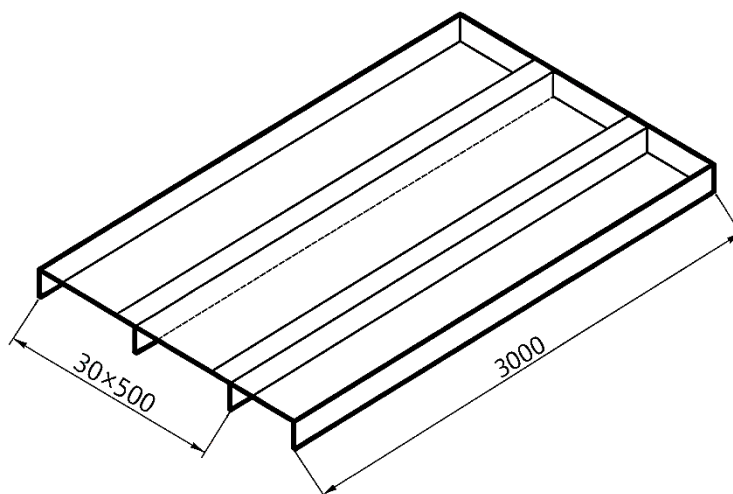


Рисунок 1.1 - Схематична модель

Для виконання наукового дослідження запропоновано два методи: чисельне моделювання та натурні випробування.

Чисельне моделювання - це створення математичної моделі з однаковими характеристиками і подальше її вивчення з використанням різних програмних комплексів.

Програмні комплекси, які використовуються в межах цього дослідження, для створення математичної моделі: ПК ANSYS; ПК Robot Structural Analysis у зв'язці з Revit.

РОЗДІЛ 2

ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ КЛЕЄФАНЕРНИХ ПЛИТ МЕТОДОМ ЧИСЕЛЬНОГО МОДЕЛЮВАННЯ

Під варіантним проектуванням розуміють розроблення декількох рівнозначних і рівноцінних варіантів, а також зіставлення їх між собою і вибір оптимального варіанта.

Метою цього варіантного проектування є виявлення найоптимальніших параметрів конструкції для проведення натурного експерименту.

Завданнями варіантного проектування є:

- моделювання в трьох різних програмних комплексах: ПК Ansys, ПК Autodesk Robot Structural Analysis конструкції клеєфанерної плити зі зміною товщини фанери, ширини і товщини ребра;
- обробка отриманих результатів і виявлення впливу зміни геометричних параметрів і навантаження на результати розрахунку.

2.1 Розрахункові схеми проєктованих клеєфанерних плит, що проєктуються

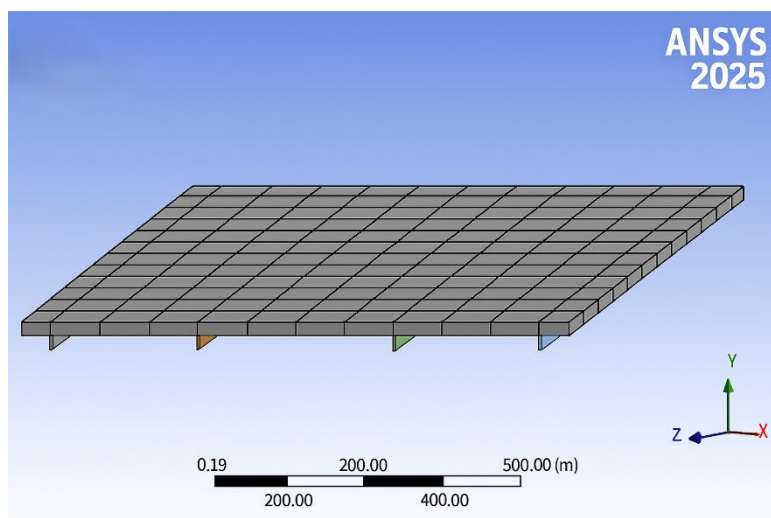
Розрахункова схема для всіх трьох програм задана однаковою і являє собою плоску оболонку, підкріплену прямокутними ребрами жорсткості. Затискання розрахункової схеми прийнято в кінцевих точках ребер і є шарнірним.

Ребра жорсткості розрахункової схеми моделюють поздовжні ребра жорсткості клеєфанерної плити, плоска оболонка моделює верхню обшивку клеєфанерної плити.

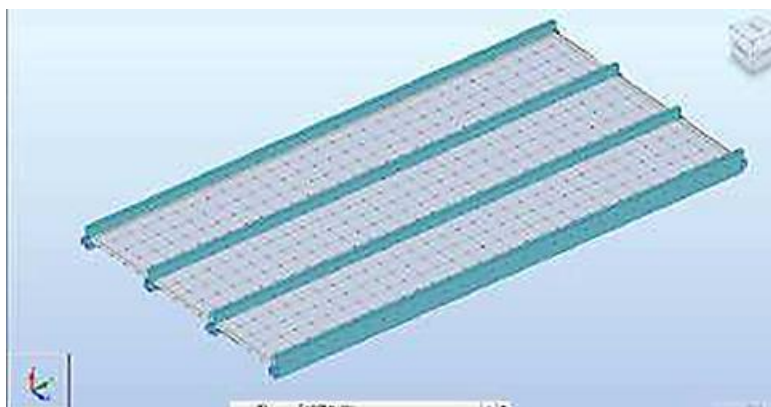
Розрахункові схеми в загальному випадку в трьох програмних комплексів зображено на рисунку 2.1.

Для виконання варіантного проектування обрано безліч розрахункових схем, у кожній з яких змінюються такі параметри: ширина ребра жорсткості, товщина ребра жорсткості, товщина фанери та значення навантаження.

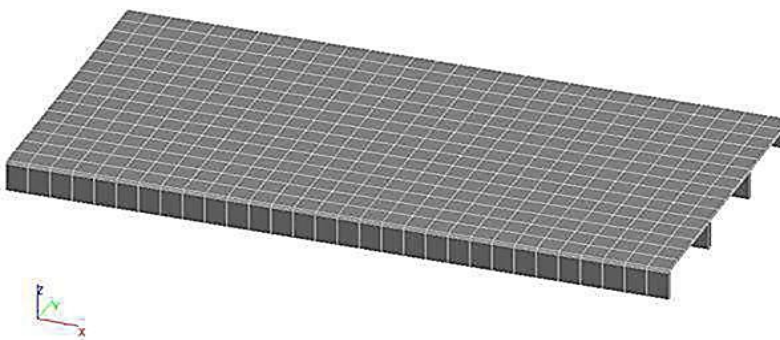
Навантаження прийнято рівномірно розподіленим поверхнею оболонки, спрямованою проти осі Oz, рівним від 5 до 15 кПа з кроком у 5 кПа.



а)



б)



в)

а) ПК Ansys; б) ПК Robot Structural Analysis; в) ПК SCAD.

Рисунок 2.1 - Розрахункова схема

2.1.1 Геометричні характеристики перерізів елементів клеєфанерних плит

Конструкцію плити розроблено довжиною 3 м на дерев'яному каркасі з фанерною і дощатою обшивками [7].

За номінальними розмірами пиломатеріалів [3] було прийнято початкові перерізи ребер жорсткості, що відповідають вологості деревини 20%.

У таблиці 2.1 представлено розрахунок пиломатеріалів на усушку до 10 % [4] і на фрезерування для II групи [5]. Для II групи визначають припуски на фрезерування деталей із двох боків у разі неповного непрофрезерування одного зі боків.

Товщина фанери прийнята в діапазоні від 8 до 14 мм з кроком в 1 мм.

Таблиця 2.1- Розрахунок геометричних параметрів на усушку і фрезерування

Параметр	Початковий розмір, мм	На усушку (10% вологості), мм	На фрезерування, мм	Кінцевий розмір, мм
1	2	3	4	5
Товщина ребер	32	0,3	4,5	27,2
	40	0,4	4,5	35,1
	45	0,4	4,5	40,1
	50	0,4	4,5	45,1
	60	0,4	4,5	55,1
Ширина ребер	150	1,5	4,5+19,6*	124,4
	150	1,5	4,5	144
	200	1,9	5,0+19,5*	173,6
Примітка: * - передбачено використання пиломатеріалу, склеєного по довжині на зубчастий шип				

2.1.2 Фізико-механічні характеристики елементів клеєфанерних плит

Фізико-механічні властивості елементів розрахункової схеми призначено відповідно до фізико-механічних властивостей матеріалів клеєфанерної плити.

Для ребер жорсткості застосовано властивості пиломатеріалу хвойних порід (сосна). Властивості сосни в трьох розрахункових програмах відображені в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 - Вхідні параметри для ребер

Властивості матеріалу	Програмні комплекси	
	ПК Ansys	ПК Autodesk Robot Structural Analysis
1	2	3
Модуль Юнга (пружності), МПа	5940	5940
Коефіцієнт Пуассона	0,01	0,01
Щільність, кг/м ³	638	638

Для оболонки застосовано матеріал фанера. Різні програмні комплекси вимагають для розрахунку різні фізико-механічні властивості матеріалу, що відображено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Вхідні параметри для фанерної обшивки

Властивості матеріалу	Програмні комплекси	
	ПК Ansys	ПК Autodesk Robot Structural Analysis
1	2	3
Модуль Юнга(пружності) по осі X, МПа	6534	6534
Модуль Юнга(пружності) по осі Y, МПа	4356	
Модуль Юнга (пружності) по осі Z, МПа	6534	
Коефіцієнт Пуассона XY	0,085	-
Коефіцієнт Пуассона YX	0,085	-
Коефіцієнт Пуассона XZ	0,065	-
Модуль зсуву XY,ГПа	0,75	-
Модуль зсуву YZ,ГПа	0,75	-
Модуль зсуву XZ,ГПа	0,75	-

Продовження таблиці 2.3

1	2	3
Міцність при вигині, МПа	-	18,0
Міцність для осьових напружень, МПа	-	11,0
Міцність для поперечних напружень, МПа	-	0,3
Міцність при осьовому стисненні, МПа	-	18,0
Міцність при поперечному стисненні, МПа	-	4,8
Міцність при зрізі, МПа	-	2,0

2.2 Коротка характеристика програмних комплексів, використаних під час досліджень

Нині створення математичної моделі конструкції ґрунтується на використанні методів чисельного моделювання.

Для розв'язання задач чисельного моделювання існує безліч програмних комплексів, що дають змогу з високою ефективністю створювати фізичні моделі, які найточніше відображають властивості та поведінку конструкції в реальних умовах.

Як такі програмні комплекси в рамках наукової роботи було використано такі продукти: ПК Ansys, ПК Autodesk Robot Structural Analysis.

2.2.1 Програмний комплекс Ansys

Універсальна програмна система скінченно-елементного (МСЕ) аналізу, що існує і розвивається протягом останніх 30 років.

Є доволі популярною у фахівців у сфері автоматизованих інженерних розрахунків і скінченно-елементного розв'язування лінійних і нелінійних просторових задач механіки деформівного твердого тіла та механіки конструкцій (включно з нестационарними геометрично та фізично нелінійними задачами контактної взаємодії елементів конструкцій), задач механіки рідини та газу,

теплопередачі та теплообміну, електродинаміки, акустики, а також механіки зв'язаних полів.

Усі типи розрахунків, що виконуються програмою Ansys, засновані на класичних інженерних уявленнях і концепціях. За допомогою надійних чисельних методів ці концепції можуть бути сформульовані у вигляді матричних рівнянь, які найбільш придатні для скінченно-елементних застосувань. Сукупність дискретних областей (елементів), пов'язаних між в кінцевому числі точок (вузлів), являє собою математичну модель системи, поведінку якої потрібно аналізувати.

Основними невідомими є ступені свободи вузлів скінченноелементної моделі. До ступенів свободи належать переміщення, повороти, температури, тиску, швидкості, потенціали електричних або магнітних полів; їхній конкретний зміст визначається типом елемента, що пов'язаний із даним вузлом. Відповідно до ступенів свободи для кожного елемента моделі формуються матриці мас, жорсткості (або теплопровідності) і опору (або питомої теплоємності). Ці матриці приводять до систем спільних рівнянь, які обробляються так званими "розв'язувачами".

Переваги:

- широкий спектр розв'язуваних завдань;
- можливість розв'язувати задачі в двовірній і в тривірній постановці;
- великі можливості постпроцесора.

Недоліки:

- невисока швидкість побудови сітки;
- дорожня ліцензія;
- обмежені можливості студентської версії;
- складний інтерфейс.

2.2.2 Програмний комплекс Autodesk Robot Structural Analysis

Комплекс скінченно-елементного розрахунку і проектування, створений спеціально для інженерів-конструкторів у галузі будівельного проектування.

Продукт являє собою рішення "все в одному", пропонуючи фахівцям, які виконують розрахунки на міцність, інструменти для розв'язання різних завдань.

Програма пропонує дуже широкі можливості з вибору матеріалів для елементів конструкцій - як стандартних, узятих з готових бібліотек, так і заданих за певними параметрами самим користувачем. Крім того, можна використовувати бібліотеки типових конструкцій для швидкого параметричного моделювання таких об'єктів, як ферми різної геометрії, рамні конструкції, плити і оболонки.

Однією з найважливіших переваг програми є висока автоматизація, що використовує найпередовіші алгоритми розбивки сітки скінченних елементів. Сітка виконується швидко і якісно. Для поверхневих елементів виконується розбивка сітки на три- і чотирикутні скінченні елементи, для об'ємних елементів - на чотири- і восьмикутні скінченні елементи. У характеристичних точках для згущення сітки кінцевих елементів застосовуються емітери.

Переваги:

- функціональна сумісність із програмою Autodesk Revit;
- наявність бібліотеки різних конструктивних елементів;
- швидка й ефективна побудова сітки скінченних елементів;
- наявність повної ліцензійної версії в широкому доступі в навчальних цілях.

Недоліки:

- складний інтерфейс;
- невелика кількість вхідних параметрів властивостей матеріалу.

2.3 Методика розрахунку

2.3 1 Програмний комплекс Ansys

Розрахунок у ПК Ansys виконувався в робочому середовищі Ansys Workbench, побудованому на деревоподібній ієрархічній структурі операцій.

Робота в цьому середовищі починається з дерева проекту, зображеного на рисунку 2.2, що відображає логічний порядок розрахунку. Статичний розрахунок

виконано через розрахунковий модуль "Static Structural".

Геометричні розміри розрахункової моделі задано через модуль "Geometry" за допомогою редактора "DesignModeler", що дає змогу на базі двовимірних елементів і примітивів побудувати тривимірну розрахункову модель. Розрахункова модель виконана з чотирьох балок, що імітують роботу ребер жорсткості та оболонки, що імітує фанерну обшивку. Оболонка зміщена щодо балок так, щоб коректно моделювати розрахункову схему.

Матеріал конструкції визначено через модуль "Engineering Data", вигляд робочого простору зображено на рисунках 2.3-2.5. Навантаження на модель і розрахунок зроблено в модулі "Model".

На етапі роботи з редактором "DesignModeler" була проведена параметризація моделі з метою раціоналізації та спрощення розрахунку. Як параметри було обрано товщину ребра, його ширину і товщину фанерної обшивки. На етапі роботи з модулем "Geometry" було введено додатковий параметр у вигляді величини розподіленого навантаження.

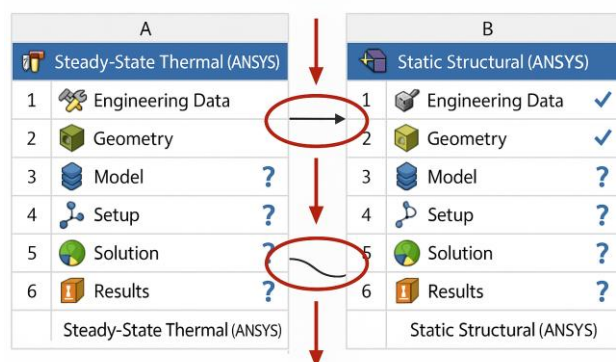


Рисунок 2.2 - Дерево проекту

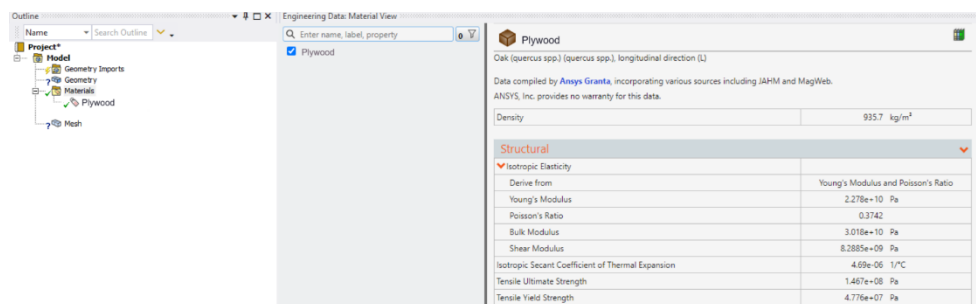


Рисунок 2.3 - Властивості матеріалу (фанера) в робочому середовищі "EngineeringData"

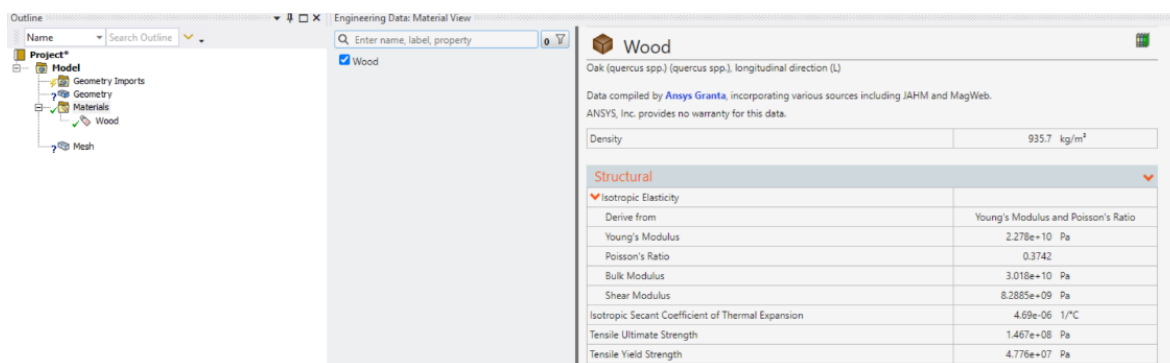


Рисунок 2.4 - Властивості матеріалу (деревина) в робочому середовищі "EngineeringData"

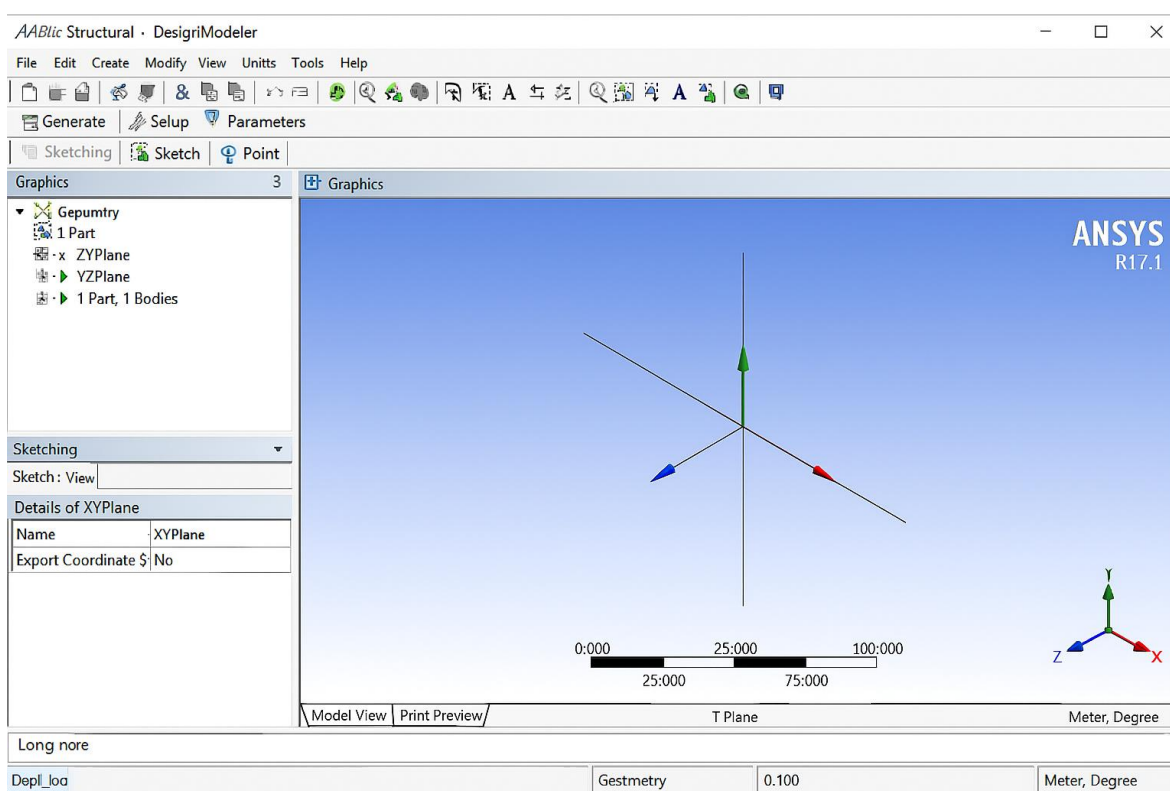


Рисунок 2.5 - Робоче середовище "Mechanical" для складових проєкту "Geometry", "Model", "Setup", "Solution" і "Results"

Робоче середовище "Mechanical" для складових проєкту "Geometry", "Model", "Setup", "Solution" і "Results" зображено на рисунках 2.6-2.7.

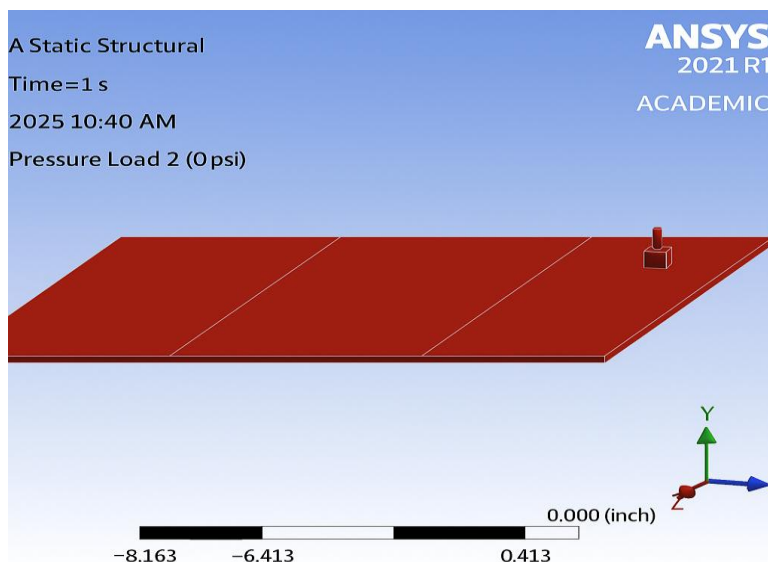


Рисунок 2.6 - Навантаження на розрахункову модель

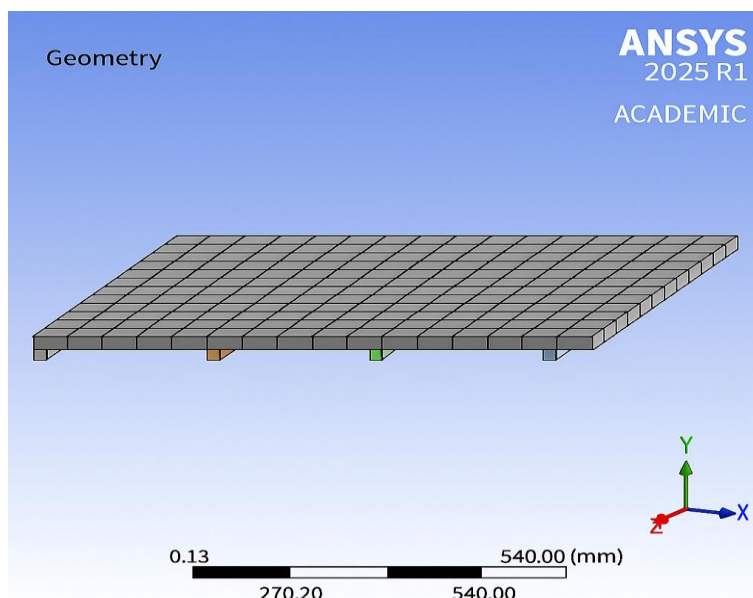


Рисунок 2.7 - Розрахункова модель

Завдання величини параметрів виконано в модулі "Parameters" через редактор "Parameter Set", робочий простір якого зображений на рисунку 2.8. Результати розрахунку для кожного розрахункового випадку виводяться в модулі "Parameters" у вигляді таблиці.

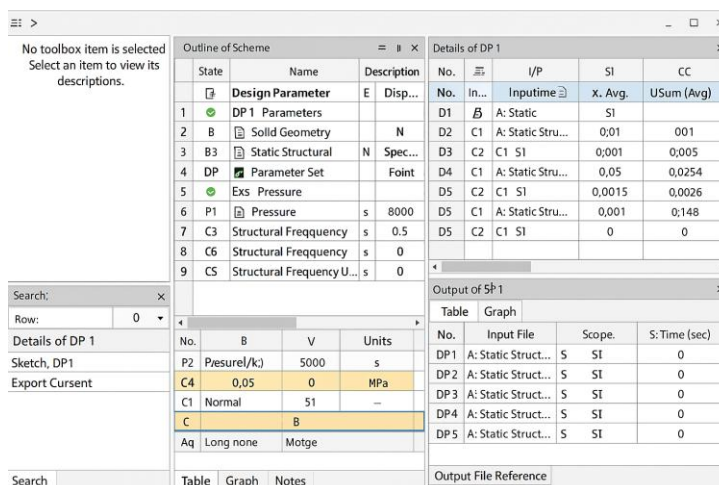


Рисунок 2.8 - Робоче середовище "ParameterSet"

2.3.2 Програмний комплекс Autodesk Robot Structural Analysis

Робота в ПК Autodesk Robot Structural Analysis починається з побудови розрахункової моделі в модулі "Геометрія", що складається з балок, які моделюють ребра жорсткості, та оболонки, що імітує верхню обшивку клейофанерної плити. У модулі "Опора" призначаються граничні умови. У модулі "Навантаження" задається значення розподіленого навантаження. У модулі "Властивості" призначаються властивості обшивки і ребер жорсткості.

Результати доступні після виконання команди "Розрахунок". Робоче середовище модуля "Геометрія" зображено на рисунку 2.9.

Робочий простір під час перегляду результатів зображено на рисунку 2.10.

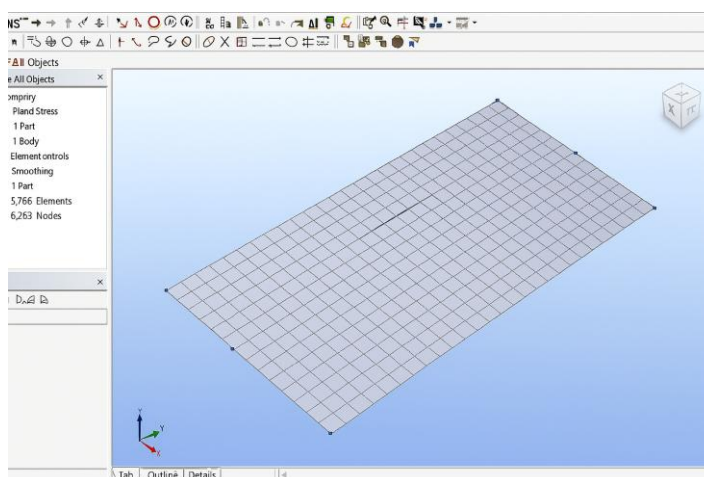


Рисунок 2.9 - Робоче середовище "Геометрія"

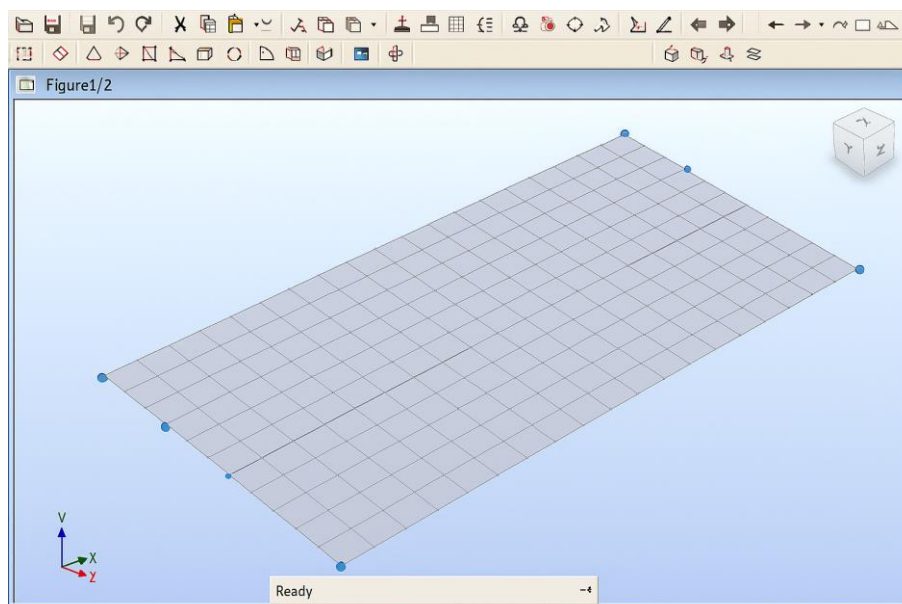


Рисунок 2.10 - Робочий простір під час перегляду результатів

2.4 Результати розрахунку та аналіз отриманих результатів

Результати розрахунку нормальних напружень і величин переміщень у двох програмних комплексах у табличному вигляді подано в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4. Результати розрахунку нормальних напружень і величин переміщень у двох програмних комплексах

Висота ребра, мм	Товщина фанери, мм	Ширина ребра, мм	Переміщення, мм		Нормальні напруження, МПа	
			Ansys	Robot Structural Analysis	Ansys	Robot Structural Analysis
1	2	3	4	5	6	7
124,4	8	27,2	9,847	16	7,2811	9,26
		35,1	8,2825	13	7,1069	8,41
		40,1	7,6872	12	6,9887	7,89
		45,1	7,1991	10	6,8763	7,41
		55,1	6,4465	9	6,6829	6,64
	9	27,2	8,8349	16	5,8257	7,63
		35,1	7,4661	13	5,7147	7,02
		40,1	6,9005	11	5,6301	6,63
		45,1	6,435	10	5,545	6,25
		55,1	5,7153	8	5,3908	5,61

Продовження таблиці 2.4

1	2	3	4	5	6	7
	10	27,2	8,0692	16	4,7702	6,41
		35,1	6,8852	12	4,7037	5,95
		40,1	6,3418	11	4,644	5,65
		45,1	5,8965	10	4,5798	5,36
		55,1	5,209	8	4,4563	4,83
	11	27,2	7,5963	15	3,9745	5,5
		35,1	6,4483	12	3,9406	5,12
		40,1	5,9225	11	3,8999	4,88
		45,1	5,4937	10	3,8523	4,65
		55,1	4,8333	8	3,754	4,22
	12	27,2	7,2283	15	3,3558	4,79
		35,1	6,104	12	3,3464	4,47
		40,1	5,593	10	3,3215	4,27
		45,1	5,1781	9	3,2877	4,08
		55,1	4,5412	8	3,2106	3,72
	13	27,2	6,9206	15	2,9968	4,23
		35,1	5,8216	12	2,8724	3,95
		40,1	5,324	10	2,8599	3,78
		45,1	4,9214	9	2,8374	3,62
		55,1	4,3051	8	2,7787	3,32
	14	27,2	6,6535	15	2,6993	3,78
		35,1	5,5818	12	2,4863	3,53
		40,1	5,0971	10	2,4839	3,39
		45,1	4,7059	9	2,471	3,25
		55,1	4,1084	8	2,4281	2,99

Розраховані епюри порівнювали з епюрами згинальних моментів, що виникають у багатопрогонових шарнірній і жорстко опертій балках, отриманих методом побудови поверхових схем і методом переміщень відповідно. Отримані епюри зображено на рисунках 2.11 і 2.12.

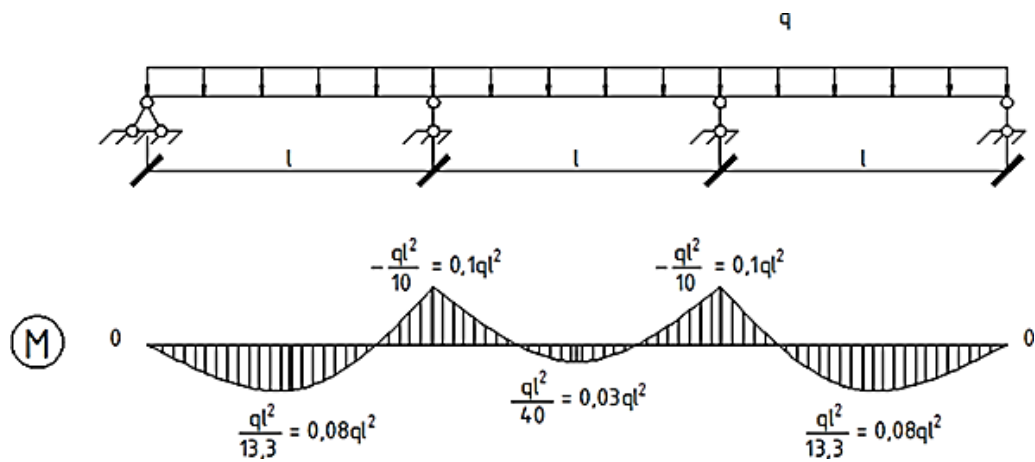


Рисунок 2.11 - Епюра згинальних моментів для багатопролітної шарнірної балки

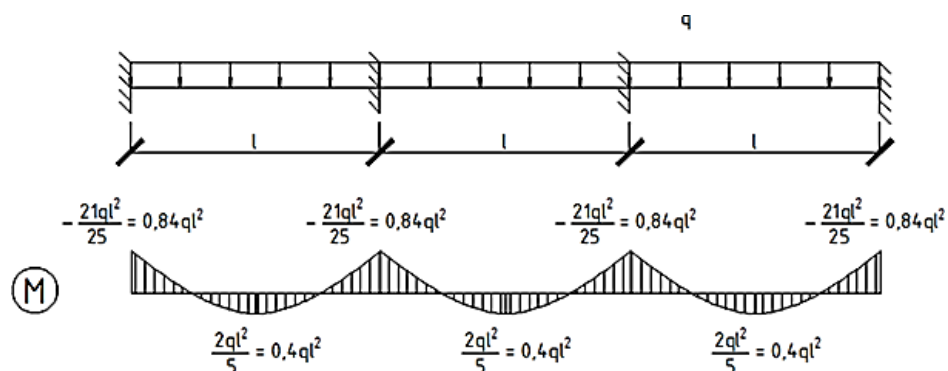


Рисунок 2.12 - Епюра згинальних моментів для багатопролітної жорстко опертої балки

Під час аналізу розподілу згинальних моментів усі епюри умовно розділилися на три групи:

- епюри, розподіл значень у яких однозначно можна назвати схожим з епюрами згинальних моментів, що виникають у багатопролітній балці з жорстким обпиранням;
- епюри, розподіл значень у яких не можна назвати схожим з епюрами згинальних моментів, що виникають ні в багатопролітній балці з жорстким обпиранням, ні в багатопролітній балці з шарнірним обпиранням, тобто такі епюри умовно можна назвати проміжними;
- епюри, розподіл значень у яких однозначно можна назвати схожим з епюрами згинальних моментів, що виникають у багатопролітній балці з шарнірним обпиранням.

Таким чином, було виявлено параметри клеєфанерних плит із шарнірним спиранням обшивки на ребра. Ці параметри вказані в таблиці 2.5.

Критерії визначення виду обпирання фанерної обшивки на поздовжні ребра подано в таблиці 2.6.

Таблиця 2.5 - Параметри клеєфанерних плит із шарнірним обпиранням обшивки на ребра

Висота ребра, мм	Товщина фанери, мм	Товщина ребра, мм
124,4	12	27,2
	13	
	14	
144	13	27,2
	14	
173,6	13	27,2
	14	

Таблиця 2.6 - Критерії оцінювання виду обпирання

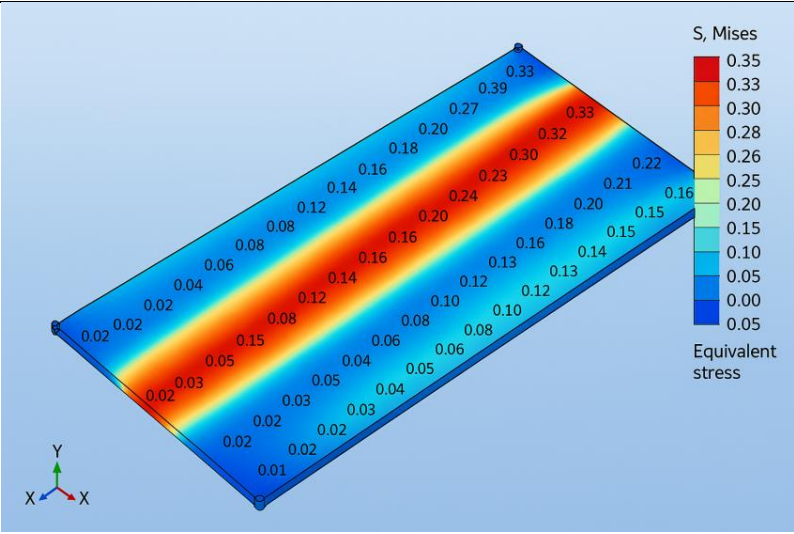
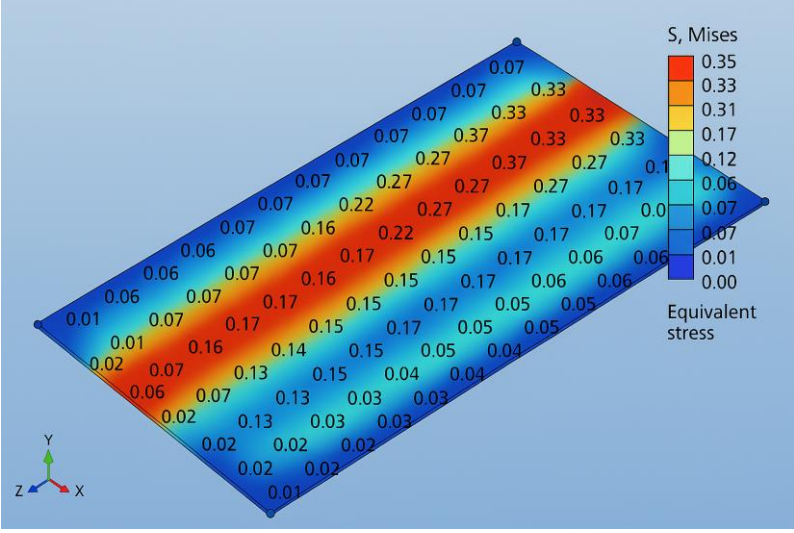
Вид обпирання фанери на поздовжні ребра	Величина згинального моменту, кН-м		
	На крайніх опорах	У перших з краю прольотах	У середньому прольоті
Шарнірне	0-0,01	0,11-0,12	0,07-0,08
"Перехідне"	0,02-0,04	0,09-0,1	
Жорстке	0,06-0,08	0,08-0,1	

З таблиці 2.6 видно, що визначальним і однозначним критерієм виду обпирання є величина згинального моменту на крайніх опорах, однак під час визначення виду обпирання необхідно брати до уваги всі критерії.

Розподіл нормальних напружень конструкції, розраховані в ПК "Autodesk Robot Structural Analysis", наведені в таблицях 2.7-2.9 відповідно. Розподіл нормальних напружень і переміщень конструкції, розраховані в ПК "Ansys",

подано на рисунках 2.13-2.16.

Таблиця 2.7 - Результати розрахунку напружень при навантаженні 5 кПа та товщині фанери 8 мм

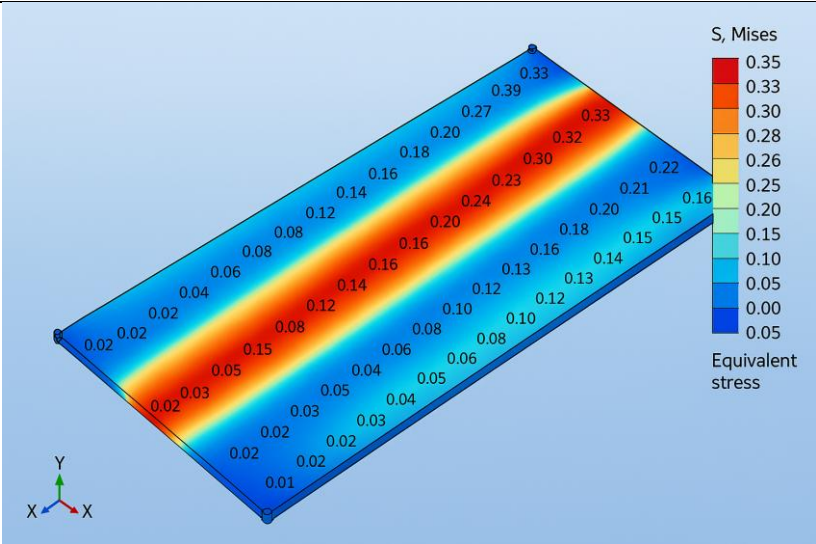
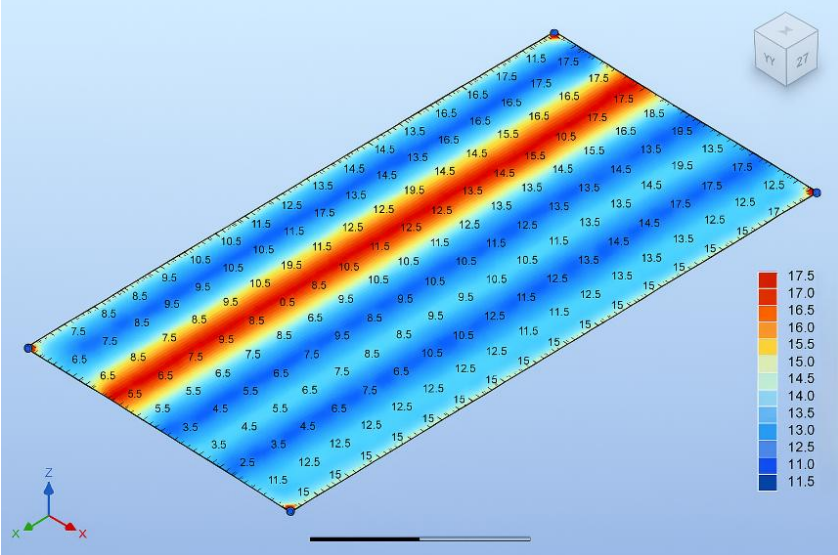
Висота ребра, мм	Товщина ребра, мм	Розподіл нормальних напружень, МПа	
1	2	3	
124,4	27,2		
	35,1		

Наведені в табл. 2.7 зображення свідчать про нерівномірний розподіл нормальних напружень у пластині. Максимальні значення напружень зосереджені у червоних зонах, що вказує на необхідність аналізу цих ділянок. Навпаки, сині зони представляють області з мінімальним напруженням. Концентрації напружень

спостерігається у певних зонах, що може свідчити про потенційні місця деформації або руйнування матеріалу. Основними місцями концентрації напружень в даному випадку є:

- граничні області — закріплені краї;
- контактні зони — місця взаємодії з опорами чи іншими конструкційними елементами.

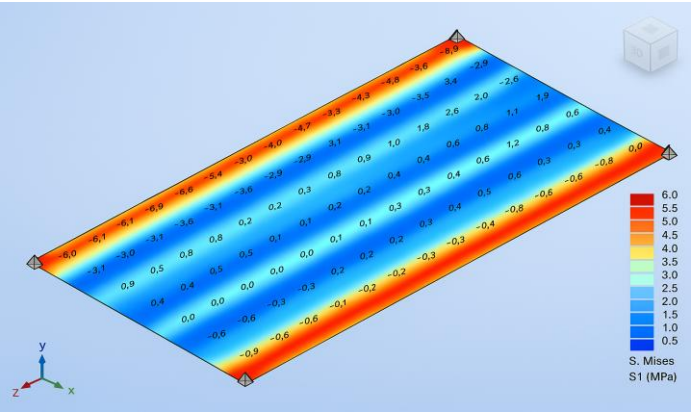
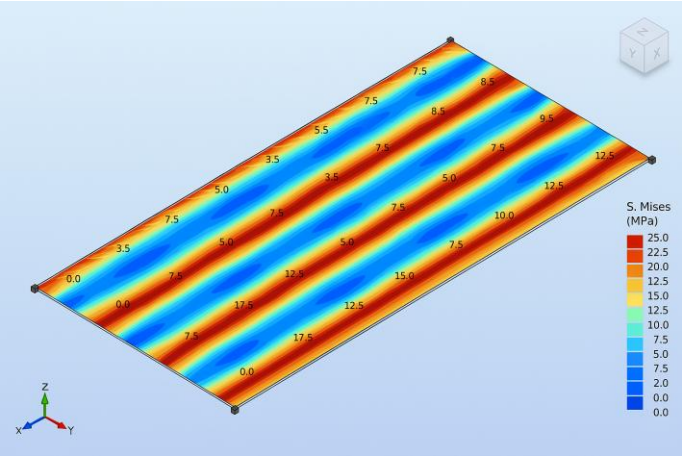
Таблиця 2.8 - Результати розрахунку напружень при навантаженні 10 кПа та товщині фанери 8 мм

Висота ребра, мм	Товщина ребра, мм	Розподіл нормальних напружень, МПа	
1	2	3	
124,4	27,2		
	35,1		

Зображення, наведені в таблиці 2.8 демонструють розподіл нормальних напружень у пластині при товщині ребра 27,2 та 35,1 мм при навантаженні 10 кПа. Максимальні значення напружень локалізуються в зонах, крайових ділянки, де здійснюється закріплення пластини та контактних областях, у місцях взаємодії з опорами або іншими конструктивними елементами.

Області, позначені синім кольором, відповідають зонам з найменшими значеннями напружень. Виявлені концентрації напружень у певних ділянках можуть вказувати на потенційні осередки деформації або руйнування матеріалу.

Таблиця 2.9 - Результати розрахунку напружень при навантаженні 15 кПа та товщині фанери 8 мм

Висота ребра, мм	Товщина ребра, мм	Розподіл нормальних напружень, МПа
1	2	3
124,4	27,2	
	35,1	

Зображення, представлені в таблиці 2.9 ілюструють розподіл нормальних напружень у пластині за умови товщини ребра 27,2 мм та 35,1 мм при прикладеному навантаженні 15 кПа. Максимальні значення напружень спостерігаються в крайових зонах закріплення пластини, а також у контактних ділянках, що відповідають місцям взаємодії з опорами або іншими елементами конструкції. Зони, позначені синім кольором, характеризуються мінімальним рівнем напружень. Виявлені локальні концентрації напружень свідчать про можливість виникнення деформацій або пошкоджень матеріалу в зазначених областях.

Аналіз результатів числового моделювання розподілу нормальних напружень у пластині, наведених у таблицях 2.7–2.9, свідчить про наявність чітко локалізованих зон концентрації напружень. Зокрема, підвищені значення напружень зосереджуються переважно в крайових ділянках, де здійснюється жорстке закріплення пластини, а також у місцях взаємодії з ребрами жорсткості та іншими конструктивними елементами, що обумовлено перерозподілом внутрішніх сил і зміною жорсткісних характеристик у цих зонах. Такі концентрації напружень можуть сприяти виникненню локальних пластичних деформацій або ініціюванню тріщин, що, в свою чергу, суттєво впливає на загальний напружено-деформований стан конструкції. Отримані результати підкреслюють важливість урахування особливостей граничних умов і геометричних параметрів при проєктуванні пластинчастих елементів для забезпечення їхньої надійності та довговічності.

Зі збільшенням товщини ребра напружено-деформований стан пластини зазнає змін, однак характер розподілу напружень залишається подібним. Області з максимальними напруженнями становлять потенційну загрозу для виникнення локальних деформацій або руйнування, що вимагає особливої уваги при проєктуванні та підсиленні відповідних ділянок конструкції. Зони з мінімальними напруженнями зосереджені у центральній частині пластини та не становлять небезпеки з точки зору міцності.

Розподіл деформацій та напружень клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 9 мм показані на рисунках 2.13-2.14 відповідно.

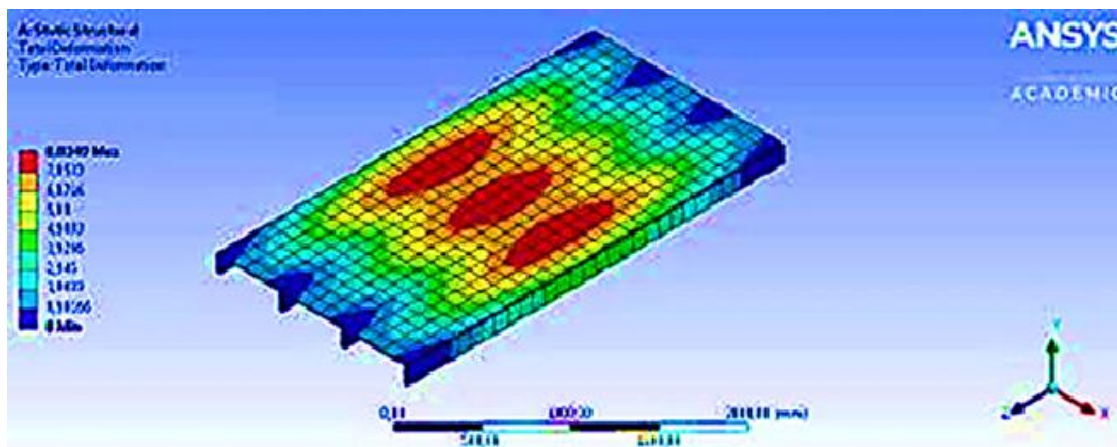


Рисунок 2.13 – Розподіл деформацій клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 9 мм

На рисунку 2.13 представлено результати аналізу методом скінченних елементів (FEA) для клеєфанерної плити з товщиною фанерної обшивки 9 мм. Аналіз виконано за допомогою програмного забезпечення ANSYS 2025 Academic. Діапазон деформацій від 0 до 0.011 м. Найбільш деформованими є центральні ділянки обшивки.

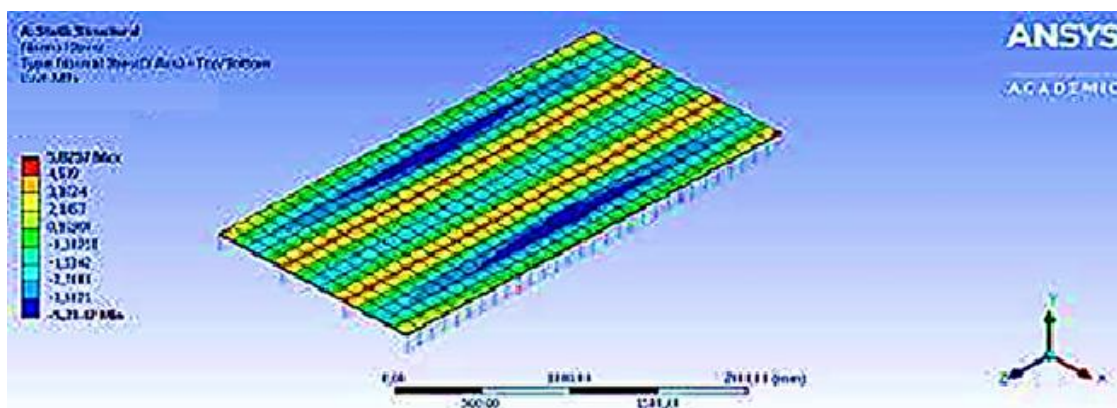


Рисунок 2.14 – Розподіл напружень клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 9 мм

Рисунок 2.14 демонструє розподіл напружень у клеєфанерній плиті з фанерною обшивкою товщиною 9 мм. Напруження концентруються на середині

прольоту фанери та в зонах поблизу опор та місць кріплення. Максимальне значення напружень становить 5.8 МПа, мінімальне значення -5.3 МПа

Розподіл деформацій та напружень клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 10 мм показані на рисунках 2.15-2.16 відповідно.

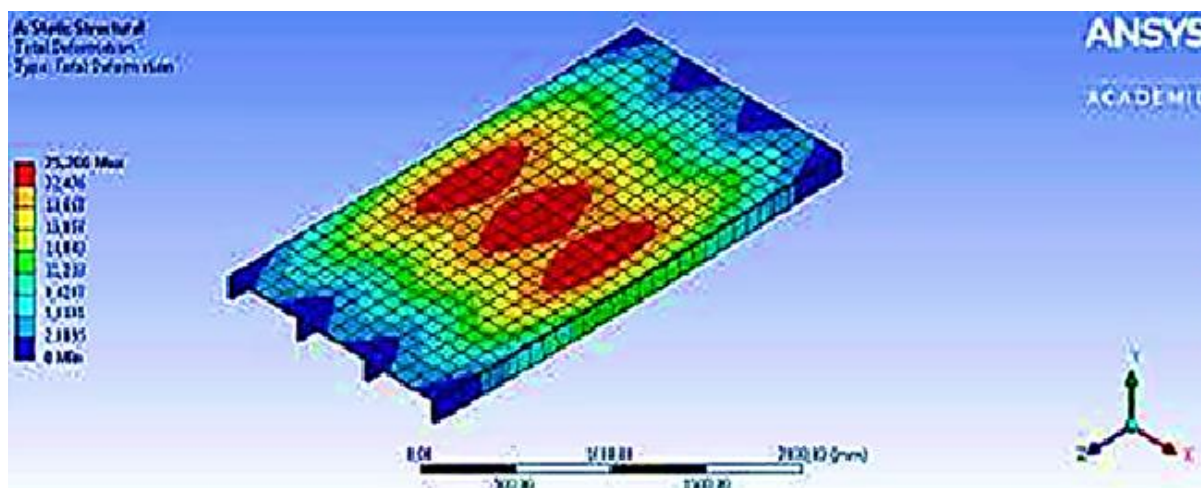


Рисунок 2.15 – Розподіл деформацій клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 10 мм

Рисунок 2.15 демонструє розподіл деформацій клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 10 мм. Найбільші деформації спостерігаються в центральній частині.

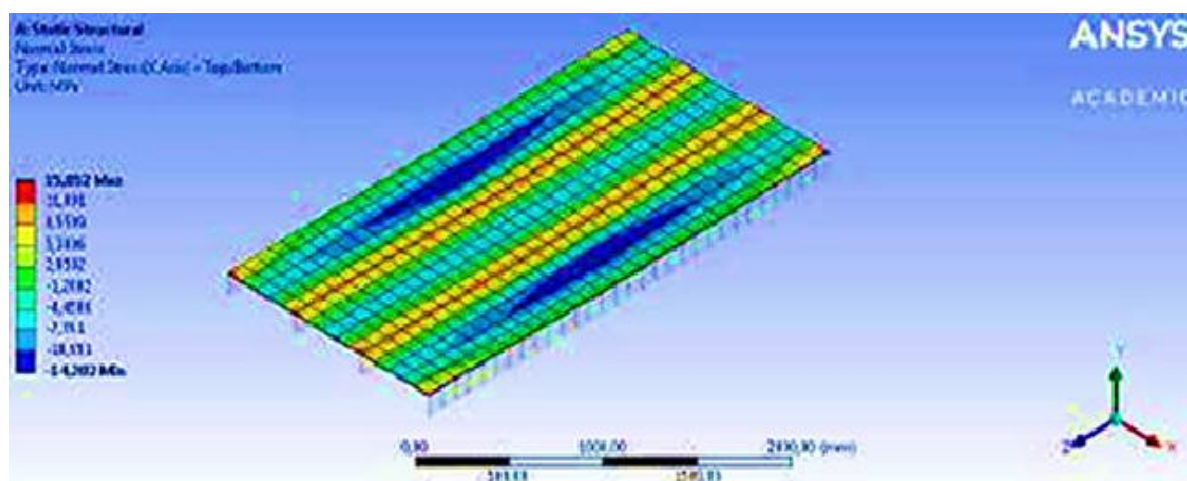


Рисунок 2.16 – Розподіл напружень клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 10 мм

На рисунку 2.16 представлено результати аналізу розподілу напружень у клеєфанерній плиті при товщині фанерної обшивки 10 мм. Аналіз виконано методом скінченних елементів у програмному середовищі ANSYS 2025 Academic, а тип розрахунку – статичний структурний. Візуалізація здійснена у вигляді кольорової карти, що демонструє загальну деформацію плити.

Розподіл напружень має нерівномірний характер, з концентрацією максимальних значень у певних зонах. Червоні області – зони найбільшого напруження, що досягають 25.3 МПа). Зелені області – зони найменшого напруження, де значення наближається до 0.

Максимальні напруження спостерігаються у трьох центральних ділянках плити, які витягнуті вздовж її осі. Це свідчить про наявність локальних зон концентрації напружень, що можуть бути спричинені особливостями конструкції. Мінімальні напруження розташовані на центральних частинах довгих сторін плити, що підтверджується зеленим забарвленням. Це типова картина для структур, де крайові зони мають менший рівень механічного впливу.

Розподіл деформацій та напружень клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 11 мм показані на рисунках 2.17-2.18 відповідно.

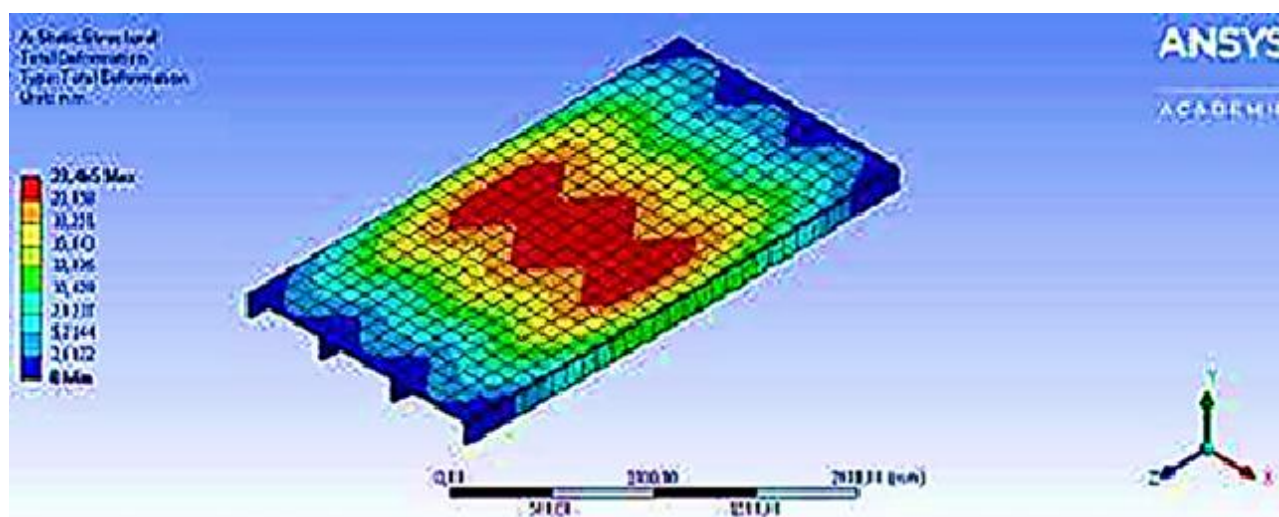


Рисунок 2.17 – Розподіл деформацій клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 11 мм

Рисунок 2.17 демонструє розподіл деформацій клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 11 мм. Максимальні деформації, позначені червоним кольором, спостерігаються в центральній частині плити, де значення досягають 25.3 мм. Ці області мають форму овальних плям, розташованих вздовж осі плити. Мінімальні деформації, позначені синім кольором, знаходяться на краях плити, де значення деформацій наближаються до 0 мм.

Розподіл деформацій має характерну форму: найбільші деформації зосереджені в центральній частині плити над поздовжніми ребрами, поступово зменшуючись до країв. Такий розподіл обумовлений конструктивними особливостями плити та умовами її закріплення.

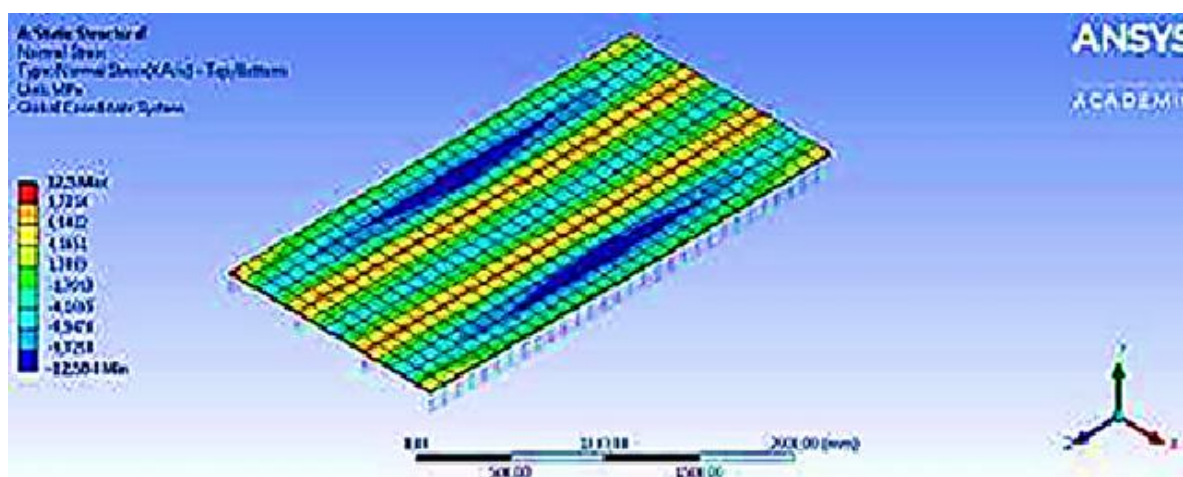


Рисунок 2.18 – Розподіл напружень клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 11 мм

На рисунку 2.18 представлено розподіл напружень у клеєфанерній плиті при товщині фанерної обшивки 11 мм.

Найбільші напруження спостерігаються у центральній частині плити, де утворюються три червоні зони поздовжніми над ребрами. Навколо цих зон розташовані жовті та зелені області, які характеризуються середнім рівнем напружень. Краї плити переважно зазнають мінімальних значення напружень. Такий характер розподілу напружень пояснюється граничними умовами моделювання та особливостями кріплення плити.

Розподіл деформацій та напружень клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 12 мм показані на рисунках 2.19-2.20 відповідно.

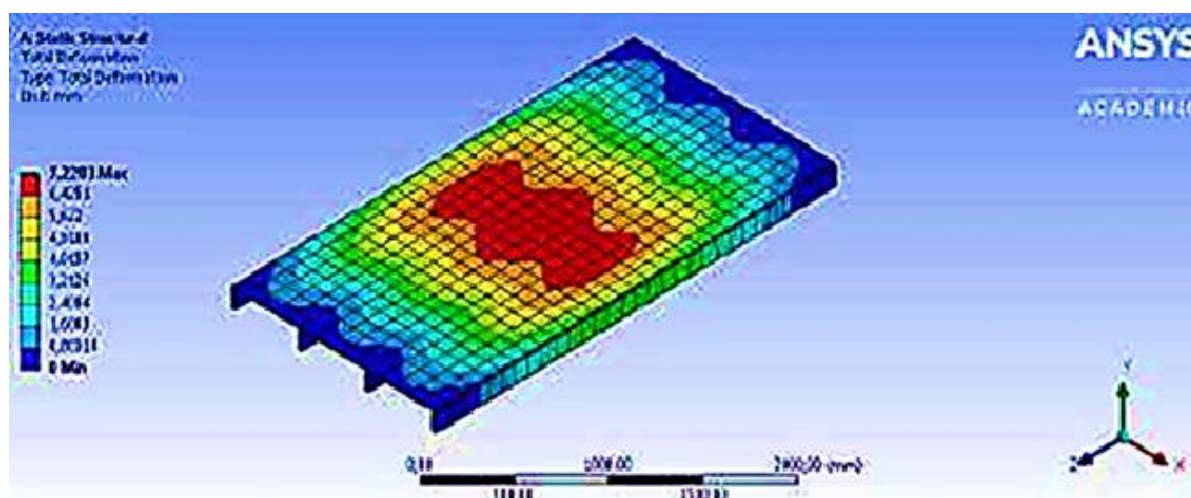


Рисунок 2.19 – Розподіл деформацій клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 12 мм

На рисунку 2.19 представлено розподіл деформацій клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 12 мм. Розподіл деформацій має характерну закономірність: максимальні значення спостерігаються в центральній частині плити, тоді як мінімальні – на її краях.

Максимальні деформації (позначені червоним кольором) досягають 7.3 мм і локалізуються в центральній зоні плити. Ця область має овальну форму і розташована вздовж центральної осі плити. Високі значення деформацій у цій зоні пояснюються концентрацією навантаження та відсутністю жорсткого закріплення.

Мінімальні деформації (позначені синім кольором) спостерігаються по краях плити, де вона закріплена або підтримується. Значення деформацій у цих зонах становлять 0 мм, що свідчить про відсутність значних переміщень у цих областях.

Перехід між зонами з різними рівнями деформацій відбувається поступово, що відображено зміною кольорів від синього через зелений і жовтий до червоного. Такий розподіл свідчить про рівномірне поширення навантаження по поверхні плити, з концентрацією напружень у центральній частині.

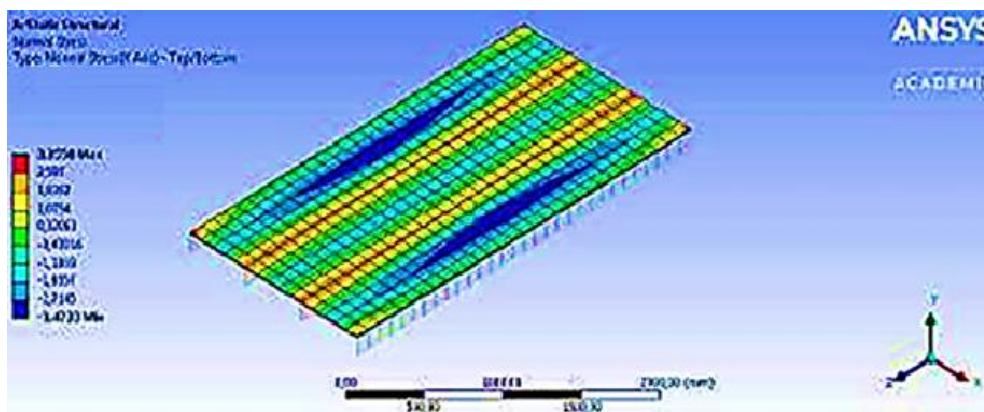


Рисунок 2.20 – Розподіл напружень клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 12 мм

Рисунок 2.20 демонструє результати аналізу розподілу напружень у клеєфанерній плиті з фанерною обшивкою товщиною 12 мм. Розподіл напружень у плиті має виражену неоднорідність. Найвищі значення напружень спостерігаються у центральній частині плити, де утворюються три зони з максимальними концентраціями напружень. Ці області позначені червоним кольором, що відповідає найвищим значенням напружень у діапазоні до 3.3 МПа.

Найменші значення напружень спостерігаються на периферії плити. Ці області позначені синім кольором, що відповідає мінімальним значенням напружень, близьким до 0.0 МПа.

Розподіл деформацій та напружень клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 13 мм показані на рисунках 2.21-2.22 відповідно.

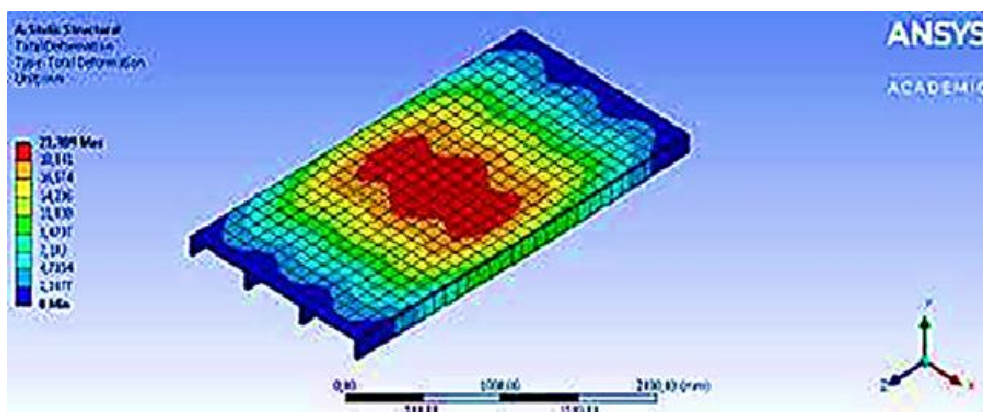


Рисунок 2.21 – Розподіл деформацій клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 13 мм

Рисунок 2.21 демонструє розподіл деформацій клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 13 мм. На рисунку зображено модель плити, яка піддається статичному навантаженню. Деформації розподілені нерівномірно по поверхні плити. Найбільші значення деформацій спостерігаються в центральній частині плити, де кольори переходять від жовтого до червоного. Максимальне значення деформації становить 21.3 мм. Найменші значення деформацій спостерігаються на краях плити.

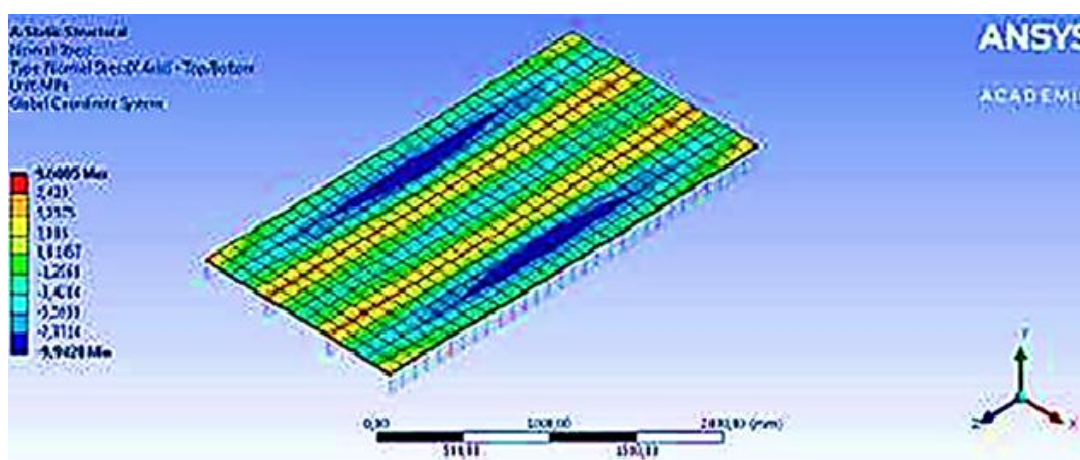


Рисунок 2.22 – Розподіл напружень клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 13 мм

Розподіл напружень у плиті має нерівномірний характер, що зумовлено особливостями навантаження та геометрії конструкції. Максимальні значення напружень спостерігаються у трьох центральних зонах уздовж осі ребер плити, що пов'язано з особливостями кріплення.

Мінімальні значення напружень (позначені синім кольором) розташовані по краях та в кутах плити.

Розподіл деформацій та напружень клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 14 мм показані на рисунках 2.23-2.24 відповідно.

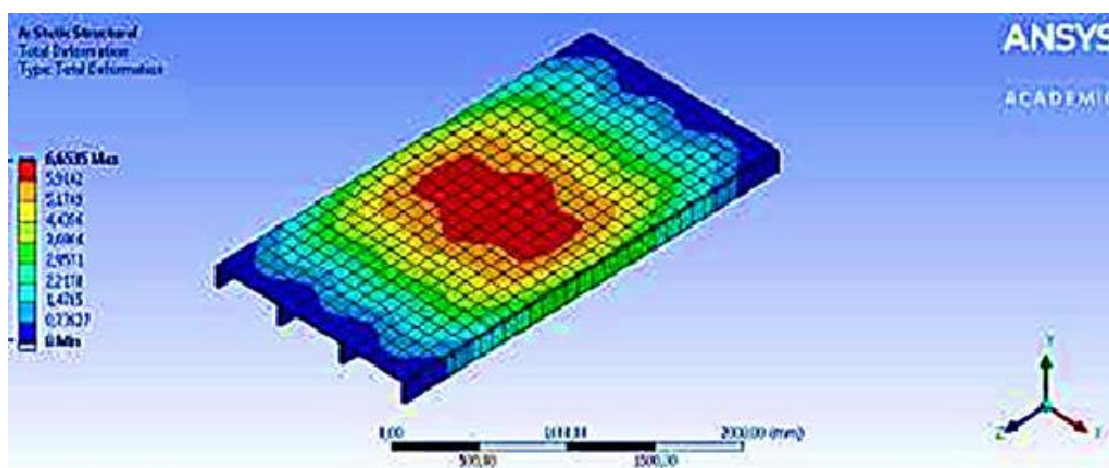


Рисунок 2.23 – Розподіл деформацій клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 14 мм

Рисунок 2.23 демонструє розподіл деформацій у клеєфанерній плиті при товщині фанерної обшивки 14 мм. Найбільші значення деформацій спостерігаються у центральній частині плити, де три виражені червоні області з'єднуються. Найменші деформації спостерігаються по краях та в кутах плити.

Розподіл деформацій у клеєфанерній плиті з товщиною фанерної обшивки 14 мм має центральну концентрацію максимальних деформацій, тоді як краї та кути залишаються менш деформованими. Така картина характерна для плит, що піддаються рівномірному навантаженню, коли центральна частина приймає на себе основну механічну дію, а периферійні зони залишаються більш стабільними.

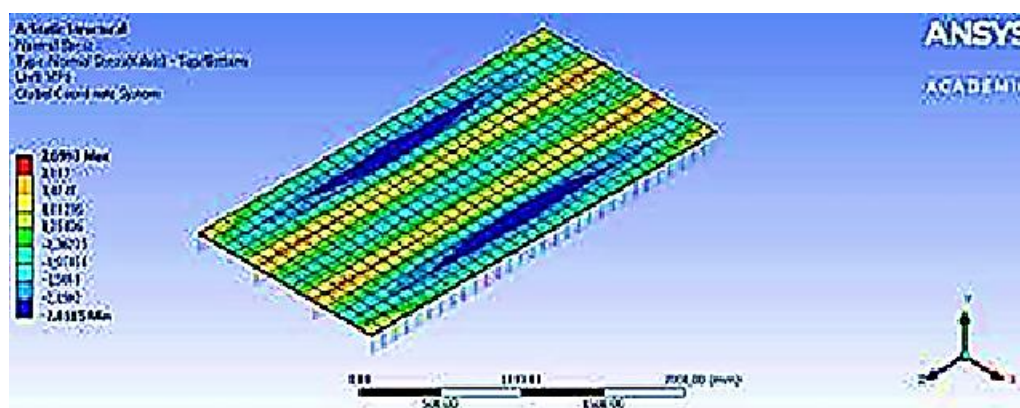


Рисунок 2.24 – Розподіл напружень клеєфанерної плити при товщині фанерної обшивки 14 мм

На рисунку 2.24 представлено розподіл напружень у клеєфанерній плиті при товщині фанерної обшивки 14 мм. Аналіз напружень дозволяє визначити зони максимальних та мінімальних значень, а також характер їх розподілу.

Максимальні напруження спостерігаються у центральній частині плити, де концентрація силових впливів є найбільшою. Ці зони позначені червоним кольором на графічному зображенні, що вказує на високі значення напружень. Числові значення напружень у цих областях досягають максимальних показників.

Мінімальні напруження розташовані по краях плити. Ці області позначені синім кольором, що вказує на низькі значення напружень. Числові показники напружень у цих зонах наближаються до нуля.

Розподіл напружень має градієнтний характер: від мінімальних значень на краях до максимальних у центральній частині. Такий розподіл є типовим для плитних конструкцій, де навантаження передається через центральну область, а краї залишаються менш навантаженими.

Результати аналізу демонструють, що збільшення товщини фанерної обшивки позитивно впливає на механічну поведінку плити. Так, зменшуються деформації. Рівномірніше розподіляються напруження, що сприяє зменшенню ризику виникнення локальних перевантажень та механічних пошкоджень. Підвищується загальна жорсткість конструкції, що робить її більш надійною під дією експлуатаційних навантажень.

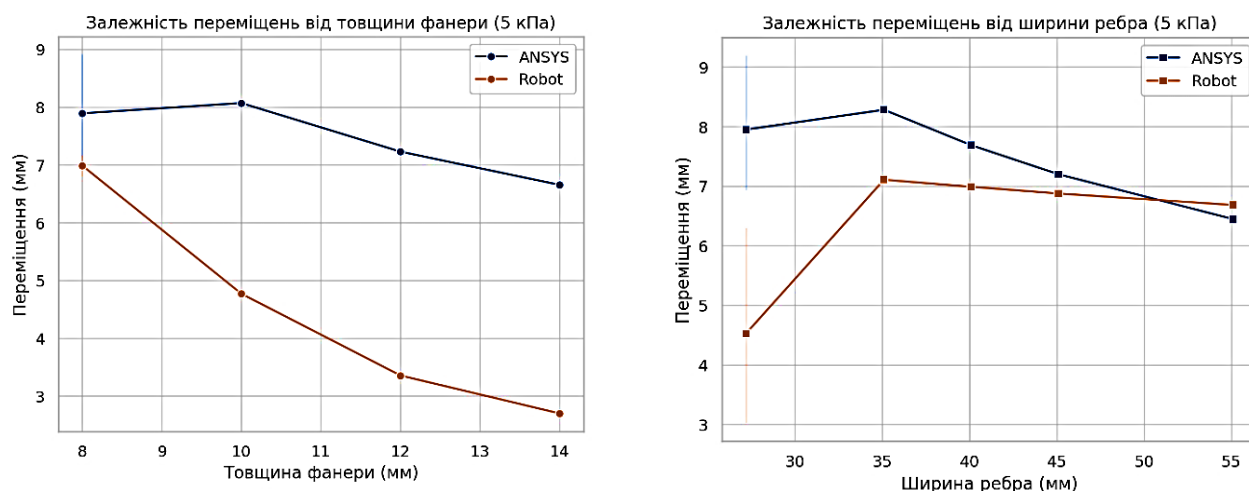


Рисунок 2.25 – Залежність переміщень від геометричних параметрів конструкції при навантаженні 5 кПа

На графіках показано, як змінюються переміщення фанерного перекриття за результатами розрахунків у програмах ANSYS та Autodesk Robot Structural Analysis при змінному значенні основних параметрів і фіксованому навантаженні 5 кПа. Із збільшенням товщини фанери переміщення суттєво зменшуються для обох ПЗ. У ANSYS переміщення зменшуються з 7,9 до 6,6 мм, у Robot — з 7,0 до 2,7 мм. Це свідчить про підвищення жорсткості конструкції при збільшенні товщини плити. Також спостерігається зменшення переміщень зі зростанням ширини ребра. ANSYS: з 8,0 до 6,5 мм, Robot: з 4,6 до 6,7 мм, при чому у Robot крива має менш виражений спад. Це підтверджує значення жорсткості ребристих елементів у загальній роботі конструкції.

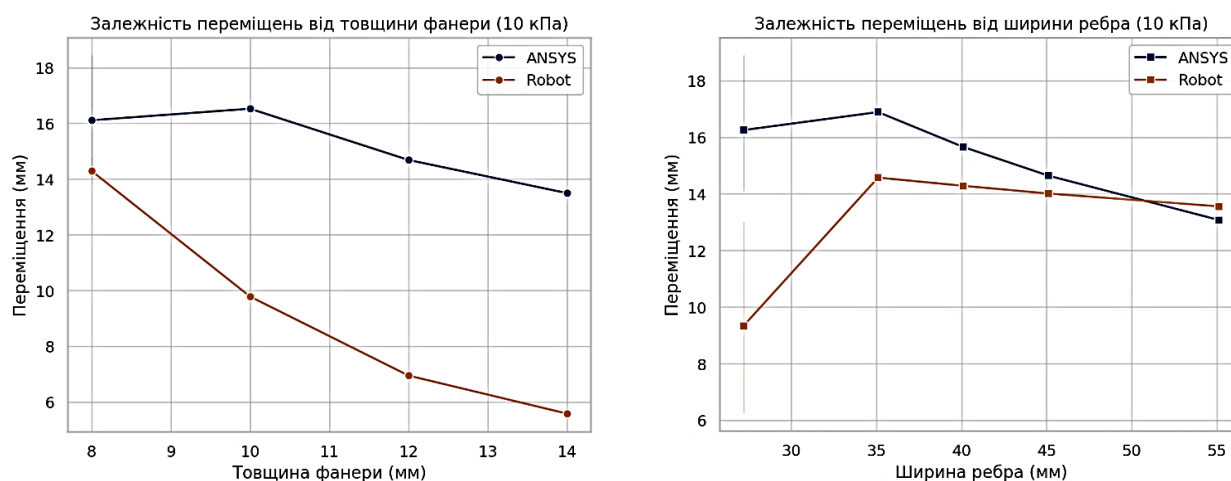


Рисунок 2.26 – Залежність переміщень від геометричних параметрів конструкції при навантаженні 10 кПа

На рисунку 2.26 представлено порівняння переміщень елементів конструкції, розрахованих у програмних комплексах ANSYS та Autodesk Robot Structural Analysis, в залежності від двох основних геометричних параметрів:

Товщина фанери. Спостерігається зменшення переміщень зі збільшенням товщини фанери. ANSYS дає вищі значення переміщень у порівнянні з Robot. Найбільша різниця помітна при мінімальній товщині фанери (8 мм).

Ширина ребра. Із зростанням ширини ребра переміщення зменшуються для обох програм. Криві ANSYS і Robot мають подібну форму, однак значення ANSYS

вищі майже на всьому діапазоні.

Рисунок 2.27 містить графіки, які показують залежність переміщень від різних параметрів під зусиллям 15 кПа. Кожен графік порівнює результати, отримані за допомогою ANSYS і Robot.

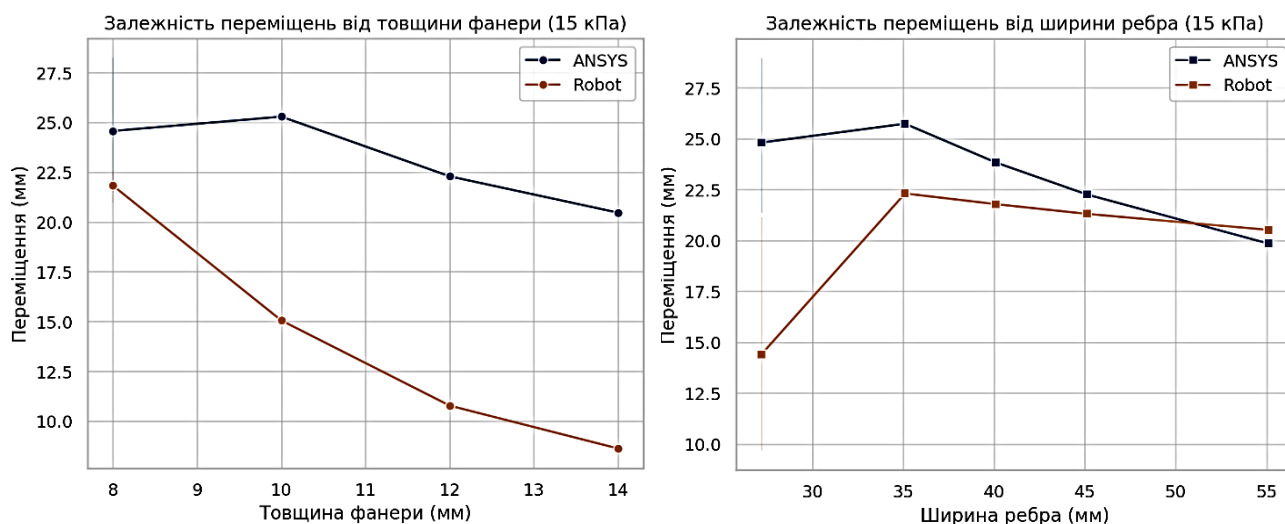


Рисунок 2.27 – Залежність переміщень від геометричних параметрів конструкції при навантаженні 15 кПа

Перший графік (ліворуч) – "Залежність переміщень від товщини фанери (15 кПа)". На осі x позначена товщина фанери (мм), а на осі y – переміщення (мм). З графіка видно, що зі збільшенням товщини фанери з 8 мм до 14 мм переміщення зменшується для обох програм, причому значення ANSYS дещо вищі за Robot.

Другий графік – "Залежність переміщень від ширини ребра (15 кПа)". Вісь x – ширина ребра (мм), вісь y – переміщення (мм).

Спостерігається, що при збільшенні ширини ребра з 30 мм до 55 мм переміщення спочатку збільшується, а потім зменшується для обох програм, знову ж таки, ANSYS дає трохи вищі значення.

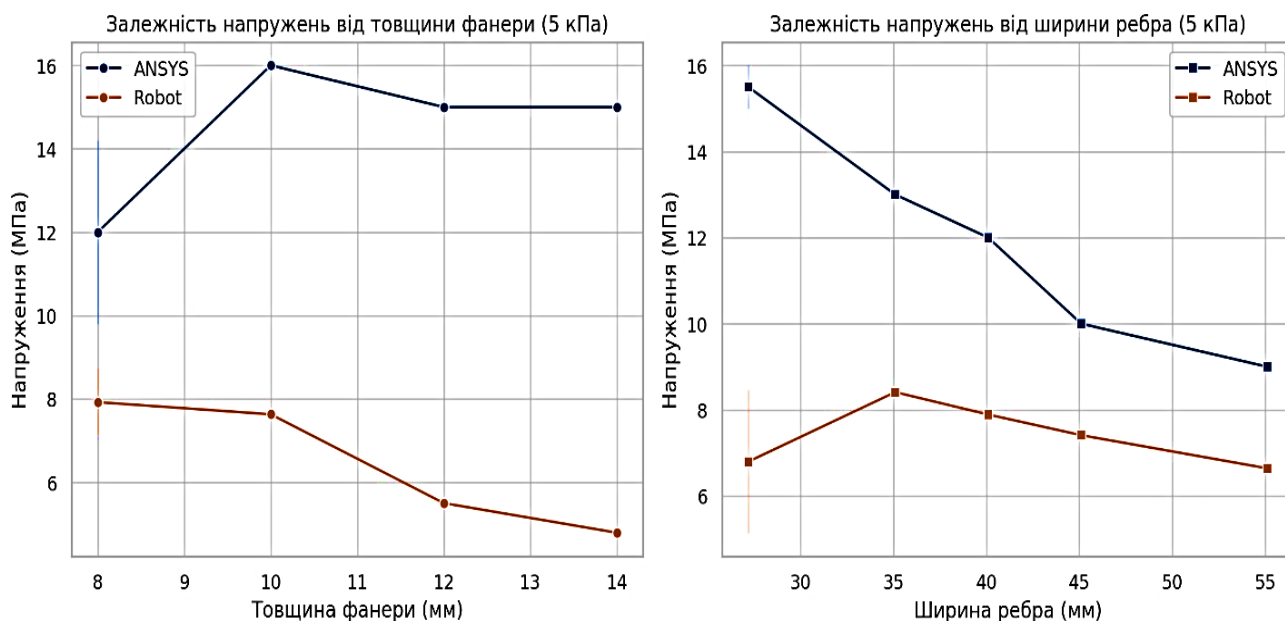


Рисунок 2.28 – Залежність нормальних напружень від геометричних параметрів конструкції при навантаженні 5 кПа

Графіки представленого зображення демонструють залежність напружень у конструкції від двох параметрів: товщини фанери та ширини ребра, при впливі навантаження 5 кПа. Аналіз отриманих даних проводиться на основі двох програмних розрахункових методів: ANSYS та Robot Structural Analysis.

На графіку залежності напружень від товщини фанери можна спостерігати різницю між розрахунковими результатами ANSYS та Robot. Напруження, розраховані в ANSYS, зростають до певного критичного значення при товщині 11 мм, після чого починають зменшуватися. У свою чергу, результати Robot демонструють поступове зниження напружень із ростом товщини. Це може вказувати на різні підходи до моделювання та числового інтегрування у цих програмах.

Фізично така поведінка пояснюється збільшенням жорсткості фанери з її зростанням, що веде до меншої деформації та відповідно зниження внутрішніх напружень. Проте розбіжність між ANSYS та Robot може свідчити про відмінності в алгоритмах розрахунку або моделювання контакту матеріалу з іншими елементами конструкції.

Збільшення ширини ребра призводить до зменшення напружень у конструкції, що відповідає очікуваній поведінці матеріалу. Однак розбіжності між ANSYS та Robot варто проаналізувати глибше. Результати ANSYS демонструють стабільне зниження напружень, тоді як дані Robot вказують на певний піковий момент при ширині 35 мм, після якого починається зниження. Це може бути пов'язане з особливостями алгоритмів дискретизації моделі або відмінностями у визначенні граничних умов.

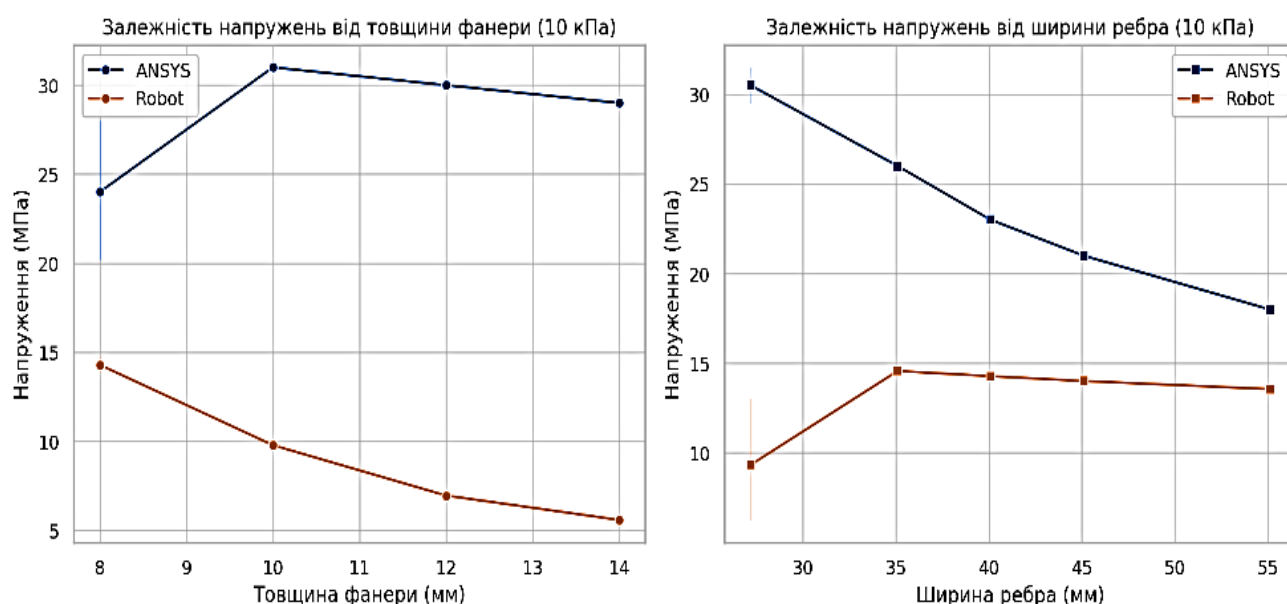


Рисунок 2.29— Залежність нормальних напружень від геометричних параметрів конструкції при навантаженні 10 кПа

На лівому графіку аналізується вплив товщини фанери на напруження при навантаженні 10 кПа. Вісь x відображає товщину фанери (мм), а вісь y — напруження (МПа). Помітно, що напруження, отримане за допомогою ANSYS, досягає максимуму при товщині 10 мм, а потім поступово зменшується. Результати Robot показують стабільне зниження напружень із ростом товщини фанери.

На правому графіку представлена зміна напружень залежно від ширини ребра при такому ж навантаженні. Вісь x — ширина ребра (мм), вісь y — напруження (МПа). В ANSYS відзначається стабільне зниження напружень із ростом ширини,

тоді як у Robot спостерігається невеликий локальний максимум при ширині 35 мм, після чого також відбувається зниження.

На рисунку зображено зміни нормальних напружень у фанерному перекритті в залежності від основних параметрів конструкції. Аналіз проведено з використанням двох розрахункових програмних середовищ — ANSYS та Autodesk Robot Structural Analysis.

Товщина фанери. Зі збільшенням товщини фанери напруження зменшуються в Robot від 15 до 5,6 МПа. У ANSYS спостерігається пік напружень при товщині 10 мм, потім поступове зниження при товщині 14 мм.

Ширина ребра. Зі збільшенням ширини ребра (від 27,2 до 55,1 мм) напруження також зменшуються. У ANSYS напруження зменшуються з 46,6 до 27,8 МПа, у Robot – з 14,4 до 22,5 МПа. В обох випадках підтверджується позитивний вплив збільшення ширини ребра на зменшення напруженого стану.

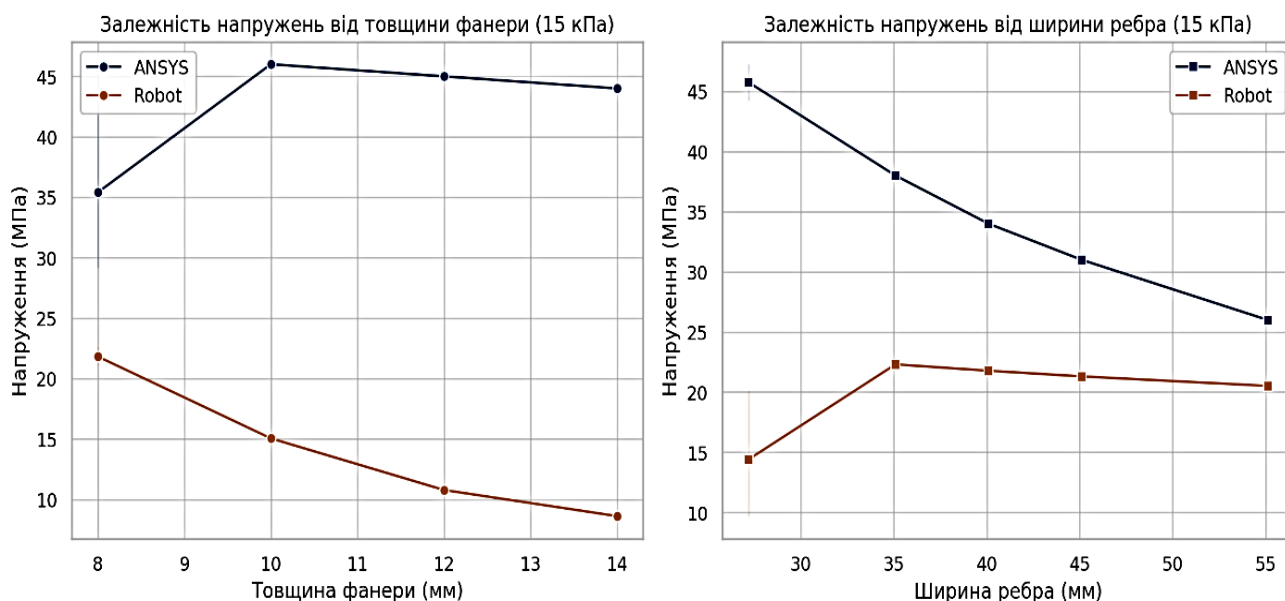


Рисунок 2.30 – Залежність нормальних напружень від геометричних параметрів конструкції при навантаженні 15 кПа

2.5 Висновки за розділом 2

Одним із завдань дипломної роботи було виявлення характеру розподілу результатів розрахунку залежно від зміни величини навантаження.

Тобто необхідно було відповісти на запитання: "Чи змінюється залежність параметр-переміщення і параметр-напруга від величини навантаження, чи змінюється лише їхнє положення щодо осі ординат?".

У разі зміни навантаження з однаковим кроком, виходячи з результатів, отриманих чисельним дослідженням, слід зробити висновок, що характер розподілу напружень і деформацій не змінюється, змінюється лише їхнє значення. Тобто подальша зміна значення навантаження на аналіз результатів не вплине.

У результаті порівняння з'ясувалося, що ПК "Autodesk Robot Structural Analysis" видавав менші значення переміщень і напруг, на відміну від Ansys за одного й того самого навантаження. Поясненням такого явища можна, ймовірно, назвати різницю в підходах до розв'язання аналогічних завдань і різні необхідні для розрахунку характеристики міцності матеріалів.

З аналізу епюр згинальних моментів у поперечному перерізі клеєфанерних плит видно, що товстіша фанерна обшивка і менша товщина ребра, то ближче обпирання обшивки на ребра до шарнірного.

РОЗДІЛ 3

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

3.1 Охорона праці

3.1.1 Законодавство України про охорону праці

Відповідно до статті Закону України «Про охорону праці» (далі — Закону) законодавство про охорону праці складається з цього Закону, Кодексу законів про працю України, Закону України «Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності», законів України «Про пожежну безпеку», «Про основні засади державного нагляду (контролю) у сфері господарської діяльності», «Про дозвільну систему у сфері господарської діяльності» та прийнятих відповідно до них нормативно-правових актів. В основі всіх цих документів лежить Конституція України.

Основою правового регулювання охорони праці в Україні є Конституція України, яка гарантує кожному громадянину право на безпечні та здорові умови трудової діяльності (ст. 43, 45, 46, 49, 57). Ці положення формують фундамент державної політики щодо захисту прав працівників.

Кодекс законів про працю містить норми, що визначають права та обов'язки роботодавців і працівників у сфері охорони праці. Документ встановлює вимоги до забезпечення безпечних умов трудової діяльності та визначає механізми відповідальності у разі їх порушення.

До ключових законів, що регулюють питання охорони праці, належать:

- Закон України "Про охорону праці" – визначає основні напрями державної політики у сфері охорони праці та встановлює права та обов'язки працівників і роботодавців.
- Закон України "Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання" – регламентує порядок соціального захисту та компенсацій у разі виробничих травм.

- Закон України "Про охорону здоров'я" – містить положення щодо медичного забезпечення та профілактики професійних захворювань.
- Закон України "Про пожежну безпеку" – регулює заходи протипожежного захисту та безпеки на робочих місцях.
- Закон України "Про використання ядерної енергії і радіаційний захист" – визначає заходи безпеки для працівників, що працюють у сфері ядерної енергетики.
- Закон України "Про забезпечення санітарного й епідемічного благополуччя населення" – встановлює вимоги до санітарних умов праці та профілактики професійних захворювань.
- Закон України "Про цивільну оборону" – регламентує заходи безпеки у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

У сфері будівельних робіт охорона праці регулюється відповідними державними будівельними нормами. Зокрема:

- ДБН А.3.2-2-2009 "Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення" містить вимоги щодо забезпечення безпеки праці при виконанні будівельно-монтажних робіт.

3.1.2 Вимоги при будівельно-монтажних роботах

До початку будівельно-монтажних робіт майстер повинен бути забезпечений проектною документацією з організації будівництва і виконання робіт.

Без такої документації будівельно-монтажні роботи проводити неприпустимо.

Проектні рішення з техніки безпеки повинні бути конкретними і відповідати реальним умовам роботи. В спеціальному розділі проекту виконання робіт (ПВР) повинні бути відображені особливо важливі вимоги правил охорони праці і заходи щодо забезпечення їх виконання. Ці заходи повинні містити технічні рішення і основні організаційні заходи щодо забезпечення безпечного проведення робіт і санітарно-гігієнічного обслуговування працюючих.

У ПВР повинно бути визначено:

1. Місця розміщення тимчасової огорожі, установки кранів, розташування ліній електропередач, доріг, проходів, санітарно-побутових приміщень.
2. Місця складування будівельних конструкцій і матеріалів.
3. Межі небезпечних зон.
4. Схеми електропостачання і освітлення будівельного майданчика і робочих місць, із зазначенням типів світильників і місця їх установки.
5. Безпечні проходи до робочих місць і способи підйому на поверхи будівель, що зводяться.
6. Безпечна послідовність вантажопідйомних операцій.
7. Перелік особливо небезпечних робіт, на виконання яких робітникам необхідно видавати письмовий наряд-допуск.
8. Послідовність розбирання опалублення.
9. Організація робочих місць монтажників будівельних конструкцій.
10. Розташування і зони дії монтажних механізмів.
11. Методи і пристосування для безпечної роботи монтажників:
 - послідовність технологічних операцій при монтажі будівельних конструкцій;
 - місця і способи тимчасового кріплення елементів, які монтуються;
 - протипожежні заходи і засоби пожежогасіння;
 - типи санітарно-побутових приміщень із зазначенням їх складу, кількості та місць установки;
 - заходи щодо зниження виробничого шуму, вібрації та ін.

Для попередження небезпеки падіння з висоти працюючих у ПВР повинно бути передбачено скорочення обсягів операцій верхолазів.

Для попередження небезпеки падіння з висоти виробів і матеріалів при переміщенні їх кранами повинно бути передбачено:

- 1) тара для переміщення штучних і сипучих матеріалів;
- 2) вантажозахватні пристосування;
- 3) пристосування для стійкого зберігання елементів конструкцій ;

4) способи видалення відходів і будівельного сміття;

5) необхідність використання захисних перекриттів або козирків при виконанні робіт по одній вертикалі.

На будівельному майданчику всі працівники зобов'язані бути в касках та у відповідних місцях встановити знаки безпеки.

3.1.3 Вентиляційна установка

Для подачі повітря застосовують підпільні або підлогові повітророзподільні канали постійного або змінного поперечного перерізу.

Перетин підпільних каналів рекомендується виконувати прямокутним, а підлогових-трикутним, кут при вершині рекомендується приймати рівним 90 °. Повітророзподільних і решітки розміщують в покритті каналів.

Площа живого перерізу повітророзподільних решіток, m^2 , визначають за формулою:

а) при влаштуванні повітророзподільних каналів для одного каналу

$$S_{\text{ж}} = A \cdot v \cdot q / (k_1 \cdot V_p \cdot 3600) \quad (3.1)$$

де A - розмір насипу продукції в плані вздовж каналу, м;

v - відстань між осями сусідніх каналів, м;

q - інтенсивність вентилявання насипу продукції, $m^3 / (m^2 \text{ год})$;

k_1 - коефіцієнт, що враховує закриття живого перетину решітки з продукцією; $k_1 = 0,5$;

V_p - середня швидкість повітря в живому перетині решіток, м / с;

Інтенсивність вентилявання насипу продукції визначають за формулою 3.2:

$$q = v \cdot G / (A \cdot B) \quad (3.2)$$

де v - питома витрата повітря, m^3 ;

G - маса насипу продукції, т. $v = a \times b \times h$

Кількість розподільних каналів m , шт., визначають зі співвідношення

$$m = B / b.$$

Площа поперечного перерізу підлогового каналу повинна задовільняти умову $S_k \geq 0,12 S_{\text{ж}}$

Повітророзподільні канали повинні мати на вході повітря шибер або дросель-клапан з ручним або автоматичним управлінням.

Коефіцієнт місцевого опору (КМО) підпільних каналів, віднесений до середньої швидкості у вхідному перерізі, рекомендується приймати залежно від сумарної відносної площі вихідних отворів по табл. 3.1.

КМО підлогових каналів з поперечним розташуванням планок, що утворюють щілини для виходу повітря, також рекомендується визначати за табл. 3.1.

КМО підлогових каналів з поздовжнім розташуванням планок і внутрішнім каркасом рекомендується приймати рівним 1,5 і відносити до швидкості в першому по ходу повітря звуженому перетині, утвореному каркасом.

Таблиця 3.1 – Коефіцієнт місцевих опорів каналів

Найменування	Позначення	Коефіцієнт							
		1	1,5	2	3	4	5	6	10
Відносна площа виходу	$S_{\text{ж}}/S_k$	1	1,5	2	3	4	5	6	10
Коефіцієнт місцевого опору	ξ	19	10	6	4	3	2,5	2	1,1

До магістральних відносять канали, розташовані між вентилятором і повітророзподільними каналами. Магістральні канали повинні бути прохідними.

До магістрального каналу повинен бути приєднано не менше двох вентиляторів. Слід передбачати дублювання роботи вентиляторів. З'єднання вентилятора з магістральним каналом рекомендується виконувати перехідною ділянкою з мінімальним аеродинамічним опором. Для подачі повітря в насип продукції слід встановлювати осьові вентилятори низького тиску, які розвивають необхідний тиск в межах 200÷400 Па.

Рекомендується застосовувати вентилятори з колесом на валу електродвигуна.

Продуктивність вентилятора, $\text{м}^3/\text{с}$, що подає повітря в насип продукції, визначають виходячи з питомої витрати повітря за формулою

$$L = G_v / 3600 S \quad (3.3)$$

де S – кількість вентиляційних установок.

Опір повітророзподільного каналу знаходять за формулою:

$$H_{в.к} = \xi P_{д.в.х} = \xi \rho V_k^2 / 2 \quad (3.4)$$

де ξ - коефіцієнт опору каналу визначають за таблицею 1 коефіцієнти місцевих опорів каналів; $P_{д.в.х}$ - середнє динамічний тиск на вході в канал, Па; V_k - середня швидкість повітря на вході в канал, $\text{м}/\text{с}$.

Щільність переміщуваного вентилятором повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$, визначають за формулою:

$$\rho = 0,35 P_{бар} / (273+t) \quad (3.5)$$

де $P_{бар}$ – барометричний тиск, Гпа; t – температура повітря, $^{\circ}\text{C}$.

Підбір вентиляційного обладнання при розрахункових значеннях продуктивності вентилятора і опору мережі слід проводити, користуючись характеристиками вентиляторів у відповідності з діючими нормативними документами.

Потужність електродвигуна вентилятора N_e , кВт, визначають за формулою

$$N_b = L H_{в.к} / \eta_v \eta_n 10^3 \quad (3.6)$$

де η_v - ККД вентилятора; η_n - ККД передачі.

ККД вентилятора і частоту обертання колеса визначають за характеристикою вентилятора.

3.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях

3.2.1 Законодавство України про безпеку в надзвичайних ситуаціях

Одним з головних законодавчих документів з безпеки в надзвичайних ситуаціях являється “Кодекс цивільного захисту України”. У цьому кодексі є роз’яснення до повноважень суб’єкту, контроль та відповідальність за порушення законодавства у сфері цивільного захисту. Кодекс складається з 33 глав, в яких 140 статті. Прикінцеві та перехідні положення кодексу :

1) Закон України "Про цивільну оборону України" (Відомості Верховної Ради України, 1993 р.)

2) Постанова Верховної Ради України "Про порядок введення в дію закону України "Про Цивільну оборону України" (Відомості Верховної Ради України, 1993 р.)

3) Закон України "Про пожежну безпеку" (Відомості Верховної Ради України, 1994 р., № 5, ст. 21 із наступними змінами);

4) Постанова Верховної Ради України "Про порядок введення в дію Закону України "Про пожежну безпеку" (Відомості Верховної Ради України, 1994 р.)

8) Закон України "Про захист населення і територій від надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру" (Відомості Верховної Ради України, 2009 р.)

9) Закон України "Про правові засади цивільного захисту" (Відомості Верховної Ради України, 2004 р. із змінами, внесеними Законом України від 5 липня 2012 року № 5081-VI).

3.2.2 Загальні положення

Проблема з забезпечення стійкості роботи підприємств для зберігання

продуктів харчування і захисту його персоналу в умовах застосування сучасних засобів масового ураження, чи вибуху на залізниці вогнебезпечних речовин при перевезенні є актуальним і в даний час.

Незважаючи на те, що за останні роки між ядерними державами було досягнуто низку домовленостей про скорочення ядерної зброї, про те Україна піддається військовій агресії. Проблема захисту населення і забезпечення надійного функціонування підприємств для зберігання продуктів харчування є актуальним і в мирний час. Значні руйнування таких підприємств для зберігання продуктів харчування можуть нести великі втрати серед населення. Можуть стати причиною суттєвого скорочення випуску сільськогосподарської продукції, привести до величезних витрат на необхідні великі масштаби проведення рятувальних і невідкладних аварійно-відновлювальних робіт в осередках ураження і привести до повного краху виробничо-економічної системи держави. У зв'язку з цим виникає необхідність завчасно вжити відповідні заходи щодо захисту населення, забезпечення стійкості роботи сільськогосподарських об'єктів в умовах надзвичайних ситуацій мирного часу та у воєнний час, що складає суть основних завдань цивільної оборони.

Стала робота підприємств для зберігання продуктів харчування дозволяє забезпечити населення і збройні сили України продуктами харчування, а промисловість - сировиною. За сучасних умов, коли вплив вражаючих чинників джерел НС незмірно виросло, а наша економіка, зокрема і виробництво, стали уразливими, завдання забезпечення їх стійкості стає актуальнішим.

Під сталістю роботи підприємств для зберігання продуктів харчування розуміється здатність їх у надзвичайних ситуаціях мирного й військового часу забезпечувати виробництво продукції в встановлених обсягах і номенклатурі і відновлювати свою виробничу діяльність у мінімально стислі терміни після впливу вражаючих чинників джерел надзвичайних ситуацій.

Більше підготовленими, здатними протистояти негативним впливам будуть підприємства для зберігання продуктів харчування, які завчасно реально визначають і виконують заходи, які знижуватимуть наслідки стихійних лих, аварій та

катастроф. Стала робота у надзвичайних обставинах мирного й військового часу залежить від багатьох чинників. Найважливіші чинники:

- природно-кліматичні;
- техніко-економічні;
- організаційно-господарські.

3.2.3 Вплив ударних хвиль при вибуху

Ударна хвиля – це поширення із надзвуковою швидкістю тонкої перехідної області, у якій відбувається різке збільшення щільності, тиску і швидкості речовини.

Під час вибуху вибухонебезпечних речовин утворюються високо нагріті продукти, які мають величезну щільність, що збільшується під високим тиском. У початковий момент вони оточені повітрям при нормальній щільності і атмосферним тиском. Розширюючись продукти вибуху стискають навколишнє повітря. З часом обсяг стиснутого повітря зростає. Прямий вплив ударної хвилі на працюючих носить травматичний характер, а вплив на споруди — руйнівний характер.

Прямий вплив ударної хвилі на людину призводить до травматичних наслідків, тяжкість яких залежить від величини тиску у фронті ударної хвилі. Усі травми поділяються за ступенем тяжкості на легкі, середні, лихоліття і дуже важкі.

При тиску у фронті ударної хвилі 20–40 кПа люди можуть отримати незначні ушкодження: забиті місця, вивихи кінцівок, тимчасове ушкодження слуху, легкі контузії.

Середні травми робітники мають при тиску 40–60кПа, які характеризуються серйозними контузіями, ушкодженнями слуху, кровотечею з носа і вух, вивихами, переломами кінцівок.

Важкі травми наступають при тиску 60–100кПа і характеризуються важкими контузіями, значними переломами кінцівок, сильною кровотечею з носа і вух.

Вкрай важкі травми людина має при надмірному тиску понад 100 кПа і ті

травми, зазвичай, закінчуються смертю.

Прямий вплив надлишкового тиску у фронті ударної хвилі і швидкісний натиск споруди та будівлі призводить до їхньої часткової чи повної руйнації. Руйнування будинків, споруд залежить від величини тиску руйнування можуть бути слабкими, середніми, сильними і повними.

Ступінь руйнації виробничих комплексів залежно від надлишкового тиску можна оцінити наступним чином:

1. Для промислових будівель з металевим чи залізобетонним каркасом: при надмірному тиску 50...60кПа – сильне, 40...50кПа – середнє, 20...40кПа – слабке;
2. Для антенних пристроїв: при надмірному тиску 40кПа – сильне, 20...40 кПа – середнє, 10...20 кПа – слабке;
3. Для відкритих складів із залізобетонним перекриттям: при надмірному тиску 200 кПа – сильне.

Для зменшення дії ударної хвилі слід виконувати вимоги будівельних вимог та будувати згідно проекту не знижуючи характеристик міцності для здешевлення будівництва.

Під впливом ударної хвилі створюються осередки ураження, руйнації, розміри яких залежать від потужності і виду вибуху, рельєфу місцевості.

Нові об'єкти народного господарства повинні будуватися з урахування вимог, виконання яких сприяє підвищенню сталості об'єкта. Основні з них такі:

Будівлі і споруди на об'єкті необхідно розташовувати розосереджено. Відстані між будівлями повинні забезпечувати протипожежні розриви. При наявності таких розривів виключається можливість перенесення вогню з однієї будівлі на іншу, навіть якщо пожежу не гасять.

Ширина протипожежного розриву L_p м визначається за формулою:

$$L_p = H_1 + H_2 + (15...20), \text{де } H_1 \text{ і } H_2 \text{ — висоти сусідніх будівель, м.}$$

Будівлі адміністративно господарського та обслуговуючого призначення повинні розташовуватися окремо від основних цехів.

2. Найважливіші виробничі будівлі слід будувати заглибленими або пониженої висотності, прямокутної форми у плані. Це зменшує парусність будівель

і збільшує опірність їх ударній хвилі ядерного вибуху. Належну стійкість до впливу ударної хвилі мають залізобетонні будівлі з металевими каркасами в бетонній опалубці.

Для підвищення стійкості до світлового випромінення у будівлях та спорудах, що будуються, повинні застосовуватися вогнетривкі конструкції, а також вогнетривка обробка елементів будівлі, які горять. У кам'яних будівлях перекриття повинні бути виготовлені з армованого бетону або виконані з бетонних плит. Великі будівлі повинні розділятися на секції вогнетривкими стінами (брандмауерами).

У ряді випадків при проектуванні та будівництві промислових будівель і споруд має бути передбачена можливість герметизації приміщень від проникнення радіоактивного пилу. Це особливо важливо для підприємств харчової промисловості і продовольчих складів.

3. У складських приміщеннях повинна бути мінімальна кількість вікон і дверей. Складські приміщення для зберігання легкозаймистих речовин (бензин, гас, нафта, мазут) повинні розташовуватися в окремих блоках заглибленого або напівзаглибленого типу біля меж території об'єкта чи поза нею.

4. Деякі унікальні види технологічного обладнання доцільно розміщувати у найміцніших спорудах (підвалах, підземних приміщеннях) або у будівлях з легких вогнетривких конструкцій павільйонного типу, під накриттям чи без нього. Це обумовлюється тим, що у багатьох випадках обладнання може витримати набагато більший тиск ударної хвилі, ніж будівлі, в яких воно знаходиться, а при зруйнуванні будівель в результаті падіння конструкцій встановлене в них обладнання виходитиме з ладу.

5. На підприємствах, що виробляють або використовують сильнодіючі отруйні та вибухонебезпечні речовини, при будівництві і реконструкції необхідно передбачати захист ємностей та комунікацій від зруйнування ударною хвилею чи конструкціями, що падають, а також заходи, що виключають розливання отруйних речовин і вибухонебезпечних рідин.

6. Душові приміщення необхідно проектувати з урахуванням використання

їх для санітарної обробки людей, а місця для миття машин — з урахуванням використання їх для знезараження автотранспорту.

7. Шляхи на території об'єкта повинні бути з твердим покриттям і забезпечувати зручне і найкоротше сполучення між виробничими будівлями, спорудами і складами; в'їздів на територію об'єкта має бути не менше двох з різних напрямків. Внутрізаводські залізничні шляхи повинні забезпечувати найпростішу схему руху, займати мінімальну площу території об'єкта та мати обгінні ділянки. Вводи залізничних ліній в цехи повинні бути, як правило, тупикові.

8. Системи побутової та виробничої каналізації повинні мати не менше двох випусків у міські каналізаційні мережі та пристрої для аварійних скидів у котловани, яри, траншеї тощо.

Дія ударної хвилі на об'єкт характеризується складним комплексом навантажень: надлишковим тиском, тиском відбиття, тиском швидкісного напору, тиском затікання, навантаження від сейсмовибухових хвиль і т.д. Значення їх залежить в основному від виду і потужності вибуху, відстані до об'єкта, конструкції і розмірів елементів об'єкта, орієнтації щодо епіцентру вибуху, місця розташування будинків і споруджень у загальній забудові об'єкта й окремих елементів виробництва в приміщеннях будинків, рельєфу місцевості і деяких інших факторів. Врахувати їх у сукупності для кожного елемента об'єкта, як правило, неможливо. Тому можливість елементів опиратися дії ударної хвилі характеризують тільки надлишковим тиском у її фронті, вважаючи, що масштаби руйнувань не залежать від потужності і висоти найбільш ймовірних ядерних вибухів.

Для визначення ступеня руйнувань чи ушкоджень:

- вивчають вихідні дані і розраховують параметри ударної хвилі на відповідних відстанях;
- для розрахованих значень надлишкових тисків оцінюють ступінь руйнування розглянутих елементів;
- оцінюють можливість виникнення вторинних вражаючих факторів;
- з огляду на ступінь руйнувань найслабших елементів об'єкта, визначають ступінь руйнування об'єкта в цілому.

Вихідними даними для оцінки фізичної стійкості є: конструктивні особливості елемента, його форма, вага, габарити, характеристики міцності.

Оцінка ступеня руйнувань будинків і споруд, сховищ і ПРУ, енергетичного устаткування і мереж, верстатного і технологічного устаткування, вимірювальної апаратури, засобів зв'язку й оповіщення, транспортних та інших засобів може здійснюватися або методом порівняння наявних довідкових даних для розглянутого виду чи аналогічного йому елемента, або методом розрахунку впливу ударних навантажень і сил зсуву на елемент.

Для порівняльної оцінки необхідно мати відповідні таблиці можливих руйнувань елементів об'єкта в залежності від надлишкового тиску у фронті ударної хвилі: будинків, споруд, транспорту, устаткування, енергетичних споруд і мереж. Ці таблиці складаються на основі статистичних даних, отриманих при аналізі руйнувань у Хіросімі й Нагасакі та при проведенні випробувальних ядерних вибухів на полігонах, і можуть поповнюватися результатами розрахунків при конструюванні нових елементів.

Метод розрахунку передбачає визначення динамічних навантажень, створюваних надлишковим тиском у фронті ударної хвилі, і реакції елемента на ці навантаження. Вихідними даними при використанні цього методу є: надлишковий тиск у фронті ударної хвилі і характер його зміни в часі (протягом фази стискання), тривалість фази стискання і швидкість руху фронту ударної хвилі. У більшості випадків дію ударної хвилі оцінюють питомим імпульсом — добутком надлишкового тиску на час його дії. Оскільки ΔP_ϕ залежить не тільки від часу, а й від відстані до епіцентру, і від потужності джерела ПУХ, розрахунок імпульсу з використанням інтегрального числення ускладнений. Тому звичайно використовують кусково-лінійну апроксимацію кривої ΔP_ϕ як функції часу.

Таким чином, дія ударної хвилі на об'єкт характеризується складним комплексом навантажень: надлишковим тиском, тиском відбиття, тиском швидкісного напору, тиском затікання, навантаження від сейсмовибухових хвиль і т.д. Значення їх залежить в основному від виду і потужності вибуху, відстані до об'єкта, конструкції і розмірів елементів об'єкта, орієнтації щодо епіцентру вибуху,

місця розташування будинків і споруджень у загальній забудові об'єкта й окремих елементів виробництва в приміщеннях будинків, рельєфу місцевості і деяких інших факторів. Врахувати їх у сукупності для кожного елемента об'єкта, як правило, неможливо. Однак ряд таких заходів як розосередження нових будівель та споруд, забезпечення протипожежних розривів, наявність в будівлі залізобетонного каркасу та шляхів із твердим покриттям, запроектовані брандмауери істотно підвищують шанси людей вижити під час катастрофи, а також зменшують ризик отримання травм чи пошкоджень, сприяють швидшому доступу рятувальних служб до місця трагедії.

3.2.4 Системи сейсмосахисту будівель і споруд

Загальна класифікація систем сейсмосахисту споруд представлена на рис. 4.1. Вона складається з традиційних методів забезпечення сейсмостійкості та спеціальних засобів сейсмосахисту.

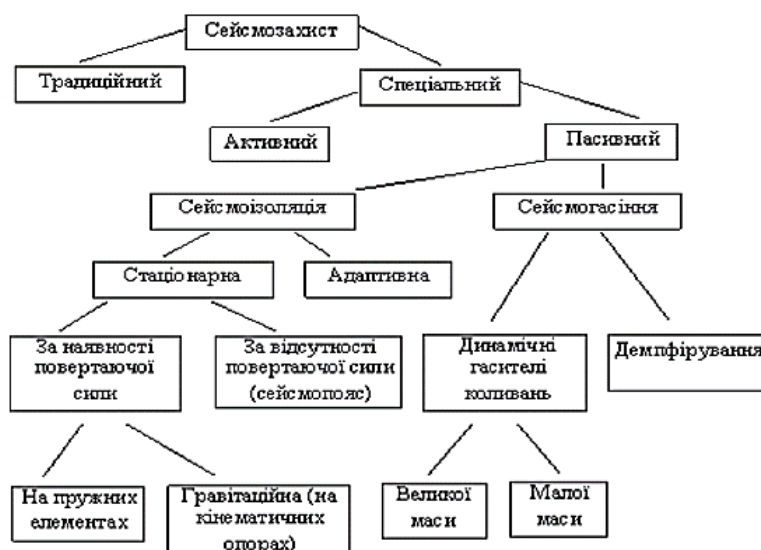


Рисунок 3.1 - Загальна класифікація систем сейсмосахисту споруд

3.2.5 Заходи щодо підвищення стійкості об'єкта

Одне з основних завдань в області цивільного захисту ЦЗ - проведення

заходів, спрямованих на підвищення стійкості роботи об'єктів в умовах надзвичайних ситуацій мирного і воєнного часу. Під стійкістю функціонування будівельного об'єкта розуміють здатність його в надзвичайних ситуацій виконувати покладену на нього функцію, а при отриманні слабких і середніх руйнувань або порушенні зв'язків з постачання, відновлювати виконання покладеної функції в мінімальні терміни.

Розглянутий об'єкт будівництва є нестійким до дії ударних хвиль, тому що розглянуті мною безкаркасні арочні ангари мають невелику товщину стінки і власну вагу, що не забезпечує належної стійкості будівлі, отже, необхідно розробляти низку заходів щодо підвищення його стійкості.

Для цього необхідно зробити наступне:

1. Підвищити стійкість промислової споруди шляхом встановлення більш міцного металевого каркасу, встановлення більш міцних рам для дверей і вікон, зменшення прольоту несучих конструкцій, а також зміцнення стін будівлі більш міцними матеріалами.

2. Для підвищення стійкості кранів та кранового обладнання до впливу ударної хвилі доцільно забезпечити їх жорстку фіксацію на міцному фундаменті, розташовувати устаткування за міцними елементами будівлі і споруд на ймовірному напрямку дії ударної хвилі, забезпечити додаткові точки фіксації і кріплення. Також необхідно встановлювати контрфорси, що підвищують стійкість обладнання до дії швидкісного напору ударної хвилі.

3. Для підвищення стійкості кабельних наземних ліній слід помістити їх під землю, також можливе їх зміцнення за рахунок укладання їх всередину, а також за рахунок застосування броньованих кабелів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У рамках роботи проведено чисельні дослідження розрахункової моделі ребристої неутепленої (холодної) клеєфанерної плити покриття з верхньою фанерною обшивкою під холодну рулонну покрівлю. Дослідження проводилися у двох програмних комплексах із варіюванням геометричних розмірів плити: висоти поздовжнього ребра, його товщини і товщини фанерної обшивки, а також навантаження.

За результатами варіантного проєктування було встановлено, що чим товща фанерна обшивка і менша товщина ребра, тим ближче спирання обшивки на ребра до шарнірного.

Наступним кроком було оцінювання впливу поперечних ребер на вид обпирання верхньої фанерної обшивки плити. Це завдання вирішували в сукупності шляхом проведення натурного експерименту та чисельних досліджень.

Таким чином, можна вважати, що обчислення, проведені в програмних комплексах, виконано правильно.

Заключним етапом був аналіз техніко-економічних показників усіх розглянутих плит покриття.

Висновок про виконану роботу: на основі досліджень, проведених у рамках КРМ, можна зробити такі висновки:

- що товща фанерна обшивка і менша товщина ребра, то ближче опирання обшивки на ребра до шарнірного;
- поперечні ребра клеєфанерної плити змінюють характер обпирання фанерної обшивки в бік жорсткого затискання, таким чином, підвищується стійкість фанерної обшивки і збільшується її залученість у загальну роботу конструкції;
- результати, отримані під час експерименту, показують, що деформації під час проведення чисельних і натурних випробувань відрізняються на 2,96%. Таким чином, через мінімальність розбіжності результатів можна зробити висновок, що робота математичної моделі відповідає роботі реальної конструкції;
- ПК "Autodesk Robot Structural Analysis" не підходить для розв'язання завдань, спрямованих на вивчення роботи окремо взятих конструкцій, як-от клеєфанерна плита покриття.

БІБЛІОГРАФІЯ

1. Ковальчук Я. О. Методичний посібник для виконання кваліфікаційної роботи магістра за спеціальністю 192 “Будівництво та цивільна інженерія” / Я. О. Ковальчук, Г. М. Крамар, О. М. Мещерякова. - Тернопіль: ТНТУ, 2020. – 56 с.
2. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи / Мінбуд України. К: Сталь, 2006. – 70 с.
3. ДБН В.2.6-161:2017 Дерев’яні конструкції. Основні положення
4. ДСТУ 4920:2008 Пилопродукція. Визначання радіального та тангенціального усихання.
5. ДСТУ Б В.2.6-149:2010 Конструкції будинків і споруд. Деталі і вироби дерев’яні для малоповерхових житлових і громадських будинків. Технічні умови.
6. ДСТУ Б В.2.6-172:2011 Деталі і вироби з деревини для будівництва. Метод визначення умовної вологопроникності вологозахисних покриттів і просочувань .
7. ДСТУ EN 635-2:2022 Фанера. Класифікація за зовнішнім виглядом поверхні. Частина 2. Деревина листяних порід (EN 635-2:1995, IDT)
8. ДСТУ EN 635-3:2022 Фанера. Класифікація за зовнішнім виглядом поверхні. Частина 3. Деревина хвойних порід (EN 635-3:1995, IDT)
9. ДСТУ EN 335-1:2010 Стійкість деревини та виробів з деревини. Визначення класів використання. Частина 1. Загальні положення
10. ДСТУ-Н Б В.2.6-217:2016 Настанова з проектування будівельних конструкцій з цільної і клеєної деревини
11. ДСТУ EN 14080:2019 Конструкції дерев’яні. Шарувата клеєна деревина та масивна клеєна деревина. Вимоги
12. Isaksson, J., Natterer, J., & Salmen, L. (2015). The influence of panel lay-up on bending strength of cross-laminated timber. *Wood Science and Technology*, 49(2), 353-367.
13. McGinnis, M. J., & Falk, R. H. (2017). Static and Cyclic Behavior of Hybrid Cross-Laminated Timber Shear Walls with Steel Coupling Beams. *Journal of Structural*

Engineering, 143(10), 04017111. doi: 10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0001867

14. Natterer, J., & Serrano, E. (2015). Cross-Laminated Timber: A Primer. *The Structural Engineer*, 93(2), 34-39.
15. <https://www.floornature.com/r2k-architectes-groupe-scolaire-pasteur-limeil-brevannes-12480/>
16. Helander, S., & Serrano, E. (2017). Influence of moisture and in-plane shear on the tensile strength of cross-laminated timber. *Wood Science and Technology*, 51(2), 409-422.
17. <https://www.moelven.com/mjostarnet/>
18. <https://www.ctbuh.org/>
19. Zhang, J., & Yu, W. (2018). Experimental study on the seismic behavior of cross-laminated timber shear walls. *Journal of Earthquake Engineering*, 22(2), 367-385.
20. C. Sandhaas, *Mechanical Behaviour of Timber Joints with Slotted-In Steel Plates*, Karlsruhe, 2012
21. J. Van de Kuilen & A. Leijten, "Schuifsterkte bepaling van zeven houtsoorten voor de toepassing in verkeersbruggen," *Sectie Staal- & Houtconstructies*, Delft, 2001.
22. M. Grosse, "Zur numerischen Simulation des physikalisch nichtlinearen Kurzzeittragverhaltens von Nadelholz am Beispiel von Holz-Beton Verbundkonstruktionen.
23. Wei, J., Zhou, Y., Wang, X., & Li, Y. (2020). An experimental study on the mechanical properties of cross-laminated timber using full-sized specimens. *Journal of Building Engineering*, 31, 101385.
24. Wu, Q., & Ahn, K. (2018). Full-scale testing and analysis of a hybrid cross-laminated timber-concrete floor system. *Engineering Structures*, 170, 446-457.
25. Zhu, X., Chen, Y., & He, S. (2019). Mechanical properties and inelastic analysis of cross-laminated timber panels: A review. *Construction and Building Materials*, 224, 497-513.
26. *Canadian CLT Handbook ,2019 EDITION*. Edited by: Erol Karacabeyli, Sylvain Gagnon © 2019 FPInnovations. All rights reserved.
27. E. Saavedra Flores, K. Saavedra, J. Hinojosa, Y. Chandra and R. Das,

"Multi-scale modeling of rolling shear failure in cross-laminated timber structures by homogenisation and cohesive zone models," *International Journal of Solids and Structures*, no. 81, pp. 219-232, 2016.

28. Hud, Mykhailo, Nataliya Chornomaz, and Svitlana Danylchenko. "Modelling of the stress-strain state of a wooden frame under dynamic loads with local stiffening elements." *Procedia Structural Integrity* 59 (2024): 687-691.

29. Cenk Demirkir, Şükrü Özşahin, Ismail Aydin, Gursel Colakoglu, Optimization of some panel manufacturing parameters for the best bonding strength of plywood, *International Journal of Adhesion and Adhesives*, Volume 46, 2013, Pages 14-20, ISSN 0143-7496, <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2013.05.007>.

30. Ismail Aydin, Gursel Colakoglu, Semra Colak, Cenk Demirkir, Effects of moisture content on formaldehyde emission and mechanical properties of plywood, *Building and Environment*, Volume 41, Issue 10, 2006, Pages 1311-1316, ISSN 0360-1323

31. Saal, K., Kallakas, H., Tuhkanen, E., Just, A., Rohumaa, A., Kers, J., Kalamees, T., & Lohmus, R. (2024). Fiber-Reinforced Plywood: Increased Performance with Less Raw Material. *Materials*, 17(13), 3218. <https://doi.org/10.3390/ma17133218>

32. Tianxiang Wang, Yue Wang, Roberto Crocetti, Magnus Wålinder, In-plane mechanical properties of birch plywood, *Construction and Building Materials*, Volume 340, 2022, 127852, ISSN 0950-0618, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127852>.

33. Методичний практикум на тему: “Інженерний аналіз в Ansys Workbench” з дисципліни: “Комп’ютерне моделювання процесів обробки матеріалів” для практичних занять і самостійної роботи здобувачів освітнього рівня доктор філософії за спеціальністю 131 “Прикладна механіка” та блоку вибіркових дисциплін інших спеціальностей / Укладачі : Васильків В. В., Данильченко Л. М., Радик Д. Л., Дивдик О. В. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. – 58 с.

34. Chen, S. M., Gao, H. L., Zhu, Y. B., Yao, H. B., Mao, L. B., Song, Q. Y., ... & Yu, S. H. (2018). Biomimetic twisted plywood structural materials. *National Science*

Review, 5(5), 703-714.

35. Li, W., Zhang, Z., Zhou, G., Leng, W., & Mei, C. (2020). Understanding the interaction between bonding strength and strain distribution of plywood. *International journal of adhesion and adhesives*, 98, 102506.

36. Jakob, M., Stemmer, G., Czabany, I., Müller, U., & Gindl-Altmutter, W. (2020). Preparation of high strength plywood from partially delignified densified wood. *Polymers*, 12(8), 1796.

37. Lee, H.H. Finite Element Simulations with ANSYS Workbench 14. Theory, Applications, Case Studies / H. H. Lee. - SDC PUBLICATIONS Schroff Development Corporation. BetterTextbooks. LowerPrices/ www.SDCpublications.com, 2012. - 619 p.

38. Hughes, M. (2015). Plywood and other veneer-based products. In *Wood composites* (pp. 69-89). Woodhead Publishing.

39. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (абатанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

40. Методичні вказівки для написання розділу дипломного проекту з дисципліни «Охорона праці в галузі» / В. Б. Каспрук. - Тернопіль: ТНТУ, 2017. – 14 с.