

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)

« »

2024 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 Краузе Олександр Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Дослідження напружено-деформівного стану лінзоподібних просторових плит покриття»

Керівник роботи Чорномаз Наталія Юріївна, к.т.н.

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

Затверджені наказом ректора від « 15 » 04 2024 року № 4/7-346

2. Термін подання студентом завершеної роботи _____

3. Вихідні дані до роботи _____

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

Обґрунтування конструктивного рішення. Чисельне дослідження лінзоподібної плити покриття з дерев'яних смугових елементів. Експериментальні дослідження

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1 ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ	7
1.1 Огляд наявних конструктивних рішень.....	7
1.2 Варіантне проектування	8
1.2.1 Лінзоподібний блок покриття з металевого профлиста	8
1.2.2 Лінзоподібна плита покриття з дерев'яних смугових елементів.....	11
1.2.3 Лінзоподібна плита покриття з металевих стрижневих елементів... ..	13
1.3 Техніко-економічне порівняння варіантів.....	14
1.4 Висновки до розділу	15
РОЗДІЛ 2 ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНЗОПОДІБНОЇ ПЛИТИ ПОКРИТТЯ З ДЕРЕВ'ЯНИХ СМУГОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ	16
2.1 Завдання розрахункової схеми та збір навантажень	16
2.2 Результати розрахунку	21
2.3 Аналіз частоти дроблення поясів на пластинчасті скінченні елементи .	26
2.4 Підбір оптимальної товщини перерізу елементів поясів.....	32
2.5 Підбір оптимального початкового вигину елементів поясів.....	34
2.6 Підбір оптимальної кількості стійок.....	36
2.7 Вибір раціонального варіанта постановки зв'язків.....	39
2.8 Визначення коефіцієнта подібності для зменшеної випробувальної моделі.....	44
2.8.1 Перевірка стійкості, жорсткості та міцності зменшеної моделі	48
РОЗДІЛ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ	50
3.1 Випробування наконечника з болтовим з'єднанням на розтягнення.....	50
3.2 Цілі, методика і зміст випробувань	51
3.3 Опис установки для випробувальної моделі	53
3.4 Результати випробувань.....	54
3.5 Аналіз отриманих результатів	58
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	65
4.1 Охорона праці.....	65
4.1.1 Вимоги безпеки під час виконання кам'яних робіт	67
4.2 Аналіз надзвичайних ситуацій та засоби захисту	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	72
БІБЛІОГРАФІЯ	73

ВСТУП

Швидкокомтовані модульні будівлі мають ряд важливих переваг, які роблять їх особливо актуальними в Україні, особливо в контексті сучасних викликів та потреб країни. Зокрема:

Швидкість будівництва: Однією з головних переваг швидкокомтованих будівель є їхня швидкість зведення. Це особливо важливо для України, де необхідно швидко відновлювати інфраструктуру та житлові приміщення після руйнувань, спричинених війною.

Економічна ефективність: Швидкокомтовані будівлі часто дешевші у будівництві та експлуатації порівняно з традиційними методами будівництва. Це дозволяє зекономити бюджетні кошти та залучити інвестиції в інші критичні сфери.

Гнучкість та мобільність: Такі будівлі можна швидко зводити, розбирати та переміщати. Це актуально для тимчасових житлових рішень для переселенців або для створення мобільних медичних та освітніх закладів.

Енергоефективність: Сучасні швидкокомтовані будівлі часто проєктуються з використанням енергоефективних технологій, що допомагає зменшити споживання енергії та витрати на опалення і охолодження. Це сприяє екологічній стійкості та економії ресурсів.

Різноманітність застосувань: Такі конструкції можуть використовуватися в різних сферах, від житлових будинків та офісів до медичних закладів, шкіл і промислових об'єктів. Це дозволяє задовольнити різноманітні потреби суспільства.

Сейсмостійкість: Україна розташована в регіоні, де можливі землетруси, тому сейсмостійкість будівель є важливим фактором. Швидкокомтовані будівлі, завдяки своїй конструкції, можуть бути більш стійкими до сейсмічних впливів.

Сучасні матеріали та технології: Використання новітніх матеріалів і технологій дозволяє створювати будівлі з високими експлуатаційними характеристиками, включаючи довговічність та стійкість до різних погодних

умов.

Враховуючи ці переваги, швидкокомтовані блочні будівлі стають оптимальним вибором для швидкого і ефективного вирішення проблем, пов'язаних з відновленням інфраструктури, забезпеченням житлом переселенців та розвитком соціальних об'єктів в Україні.

У цих умовах доцільним стає дослідження і проєктування нових конструкцій блочного типу, які підходять для застосування в модульних будівлях і одночасно відповідають завданням благоустрою та використання інноваційних рішень.

Мета роботи: дослідити напружено-деформівний стан (НДС) лінзоподібної плити покриття з дерев'яних смугових елементів, що застосовуються в швидкокомтованих блочних будівлях.

Об'єкт досліджень – лінзоподібна плита покриття з дерев'яних смугових елементів.

Предмет дослідження – напружено-деформівний стан лінзоподібної плити покриття з дерев'яних смугових елементів.

Доцільність проведення досліджень зумовлена тим, що отримані результати дадуть можливість підвищити економічність покриттів швидкокомтованих блочних будівлях.

Завдання роботи:

- узагальнити та проаналізувати літературний огляд досвіду конструкторських розробок;
- створити скінченно-елементну модель лінзоподібної плити покриття;
- визначити параметри масштабування та розробити зменшений варіант реальної конструкції лінзоподібної плити покриття з дерев'яних смугових елементів;
- провести експериментальні дослідження, використовуючи зменшений варіант конструкції лінзоподібної плити покриття з дерев'яних смугових елементів.

Методи дослідження – скінченно-елементне моделювання конструкцій

будівель та експериментальні дослідження.

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

Наукова новизна отриманих результатів

– обґрунтовано конструкції лінозподібної плити покриття з огляду на такі чинники, як товщина поясів, їхній початковий вигин, кількість стійок і різні варіанти постановки вертикальних зв'язків;

– виявлено закономірності впливу міцнісних і геометричних параметрів елементів лінозподібної плити покриття на напружено-деформований стан.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що отримала подальший розвиток методика чисельного моделювання лінозоподібних дерев'яних плит покриття.

Апробація результатів магістерської роботи виконана на VII Міжнародній студентській науково-технічній конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання» (Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 25-26 квітня 2024 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: плита покриття, дерев'яні смугові елементи.

РОЗДІЛ 1

ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ

1.1 Огляд наявних конструктивних рішень

Відомі покриття будівель, у яких використовують плоскі лінзоподібні дерев'яні ферми, розташовані вздовж будівлі з кроком, що дорівнює кроку колон (рис. 1.1, 1.2). Недолік цього рішення - відсутність просторової роботи і, отже, підвищена вартість матеріалів, а також велика вага конструкцій.

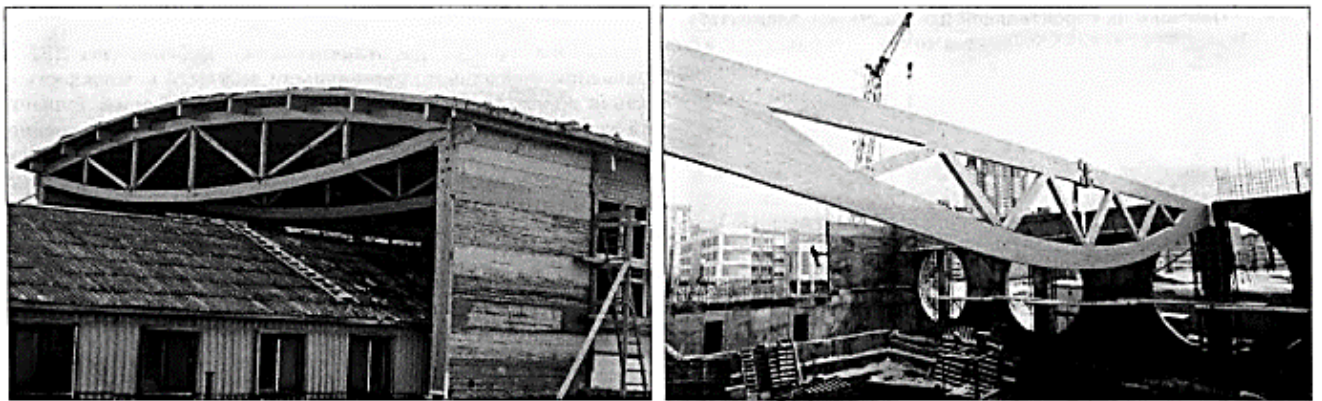
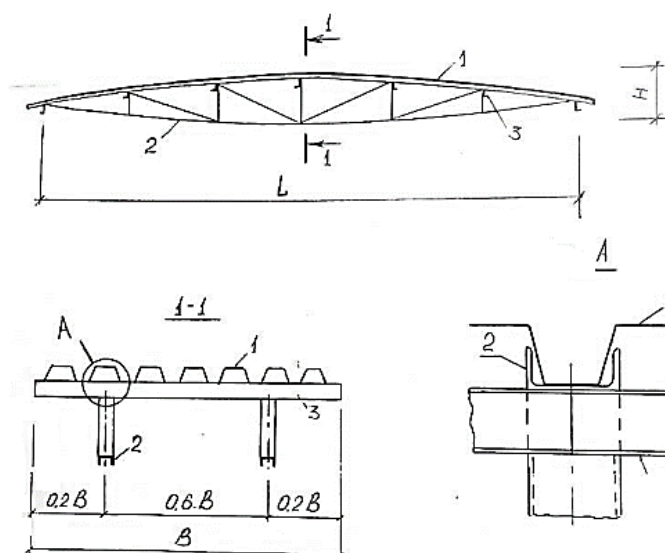


Рисунок 1.1 - Лінзоподібні ферми

Більш ефективно в сучасних економічних умовах застосування блокових конструкцій. Наприклад, розроблено просторові блоки покриття 12, 18м завдовжки та завширшки 3 м, що включають поздовжні ферми з криволінійним верхнім і нижнім поясами, поперечні прогони з гнутих швелерів і прикріпленого до них профільованого настилу. Настил прикріплений також до верхніх поясів поздовжніх ферм [2] (рис. 1.3). За результатами випробувань було зроблено висновок, що профільований настил не ефективно використовується для підкріплення верхнього поясу між прогонами. Утім, така конструкція ефективніша за металоємністю порівняно з плоскими конструкціями.



Рисунок 1.2 - Лінзоподібні ферми прольотом 45 м



1 - профільований настил; 2 - ферма; 3 - прогін (поперечина).

Рисунок 1.3 - Просторовий блок покриття

1.2 Варіантне проектування

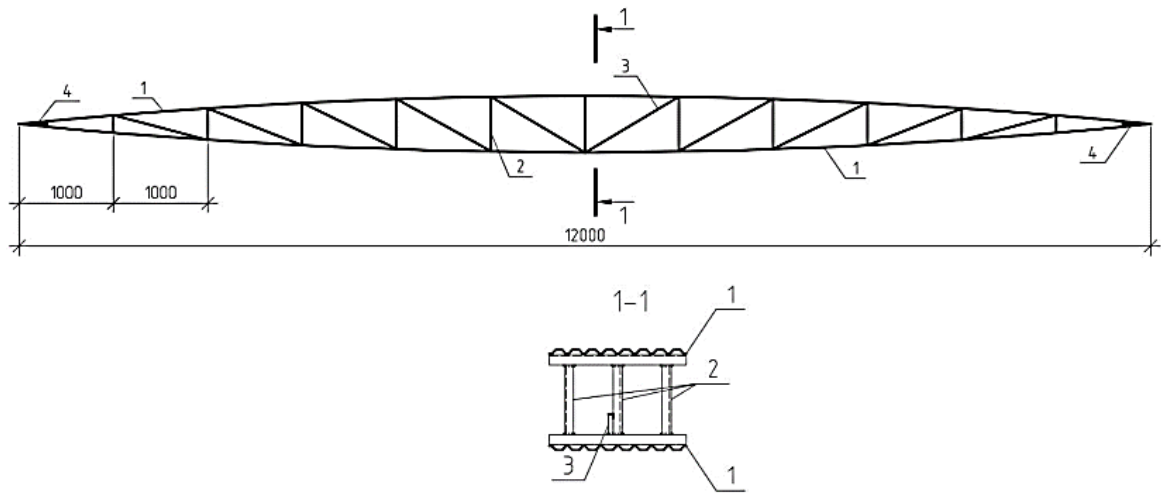
1.2.1 Лінзоподібний блок покриття з металевого профлиста

Найближчим технічним рішенням (прототипом) досліджуваної плити є просторова плита покриття, що містить пояси криволінійного обрису з

профільованих листів, які працюють спільно зі складовими стійками з гнутих куточків; у торцях плити гофри верхнього поясу розміщено в гофрах нижнього поясу, які з'єднано між собою (рис. 1.4, 1.5) [4, 5]. Крім економії матеріалів, одержуваної в результаті включення профільованого листа в спільну роботу зі стійками, істотне зниження досягається в разі застосування обшивок зі сталевого профнастилу за рахунок виключення покрівельних робіт. Спільна робота поясних листів забезпечується розташованими між ними дерев'яними проміжними елементами (стійками і розкосами). Вигин поясів виконано за квадратною параболою з максимальним прогином у центрі - формою, найраціональнішою для сприйняття прогонового моменту.

У лінзоподібному блоці покриття (рис. 1.4) прольотом 12 м і шириною 3 м верхній і нижній пояси з профільованих листів С44-1000- 0,8 вигнуті за формою квадратної параболи і притиснуті до розпірок наскрізного перерізу з гнутих куточків за допомогою наскрізних сталевих тяжів діаметром 4 мм [5]. Крок розпірок - 1 м. Таке рішення дає змогу надати профлисту раціональну криволінійну форму без використання спеціального кондуктора. Профільовані листи нижнього і верхнього поясів розташовані широкою полицею вгору, а вузькою - вниз. Це зроблено з метою зменшення площі розподілу нормальних стискаючих напружень у полицях профлиста, що є критерієм місцевої втрати його стійкості. Конструктивна висота блоку - 0,6 м.

Однак, недоліком зазначеного технічного рішення є висока вартість металевого профільованого листа, з якого виготовляються пояси конструкції. Крім того, дана конструкція порівняно більш трудомістка у виготовленні.



1 - профільований лист; 2 - стійки з гнутих куточків; 3 - розкоси з прокатних куточків;
4 - заповнення епоксидним компаундом.

Рисунок 1.4 - Лінзоподібний блок покриття прольотом 12 м

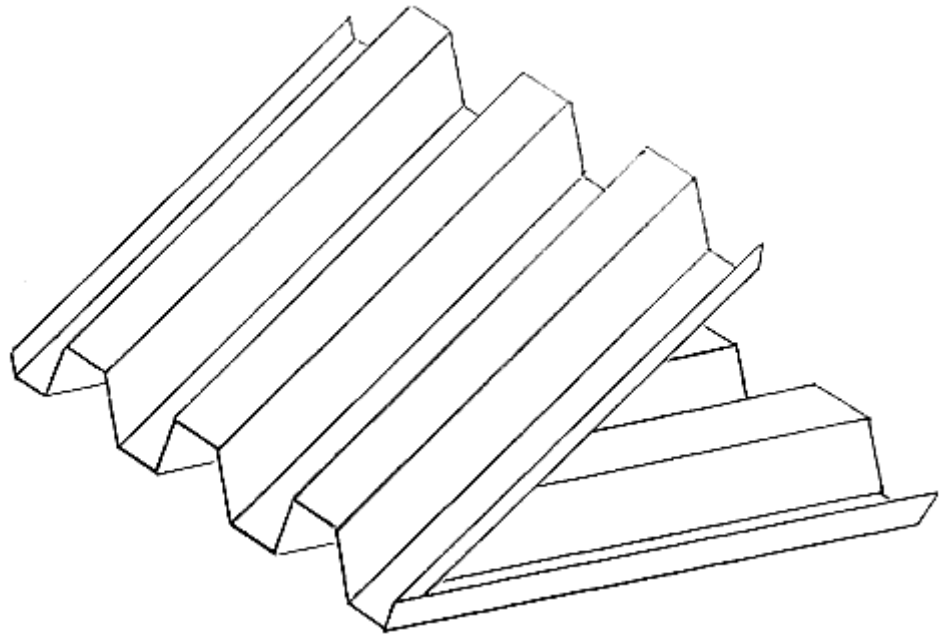


Рисунок 1.5 - Конструктивне рішення вузла лінзовидного блоку покриття

Техніко-економічні показники лінзоподібного блоку покриття з металевого профлиста наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Техніко-економічні показники лінзоподібного блоку покриття з металевого профлиста

№ п/п	Найменування показника	Од.вим.	Значення
1	Площа покриття	м ²	36
2	Матеріаломісткість (з урахуванням витрат на утеплювач і покриття)	кг/м ²	43,32
3	Металоємність	кг/м ²	22,17
4	Грудовитрати	люд-год.	2,52

1.2.2 Лінзоподібна плита покриття з дерев'яних смугових елементів

З метою вдосконалення прототипу (лінзоподібного блоку покриття з металевого профлиста), а саме, зниження його ваги, вартості та металоємності, а також підвищення технологічності виготовлення і можливості збирати конструкцію з окремих елементів на будмайданчику, розроблено модель конструкції лінзоподібної форми просторової розрідженої структури, утвореної смуговими елементами стандартних перерізів, а саме - дерев'яними дошками [6]. 3D-модель лінзоподібної плити покриття - ЛПП - представлена на рис. 1.6. Вид збоку представлено на рис. 1.7. Верхній (1) і нижній (2) пояси криволінійного обрису, вигнуті у подовжньому напрямі таким чином, що чергуються на торцях, надається просторова розріджена структура. Підтримують пояси в розсунутому стані дерев'яні стійки-розпірки суцільного перерізу (3), які прикріплюють до стійок шарнірно за допомогою саморізів. Між стійками розташовані вертикальні хрестові зв'язки з дерев'яних стрижнів (4).

Вузлове з'єднання поясів представлено на рис.1.8. У торцях ЛПП до кінців кожного зі смугових елементів поясів за допомогою гвинтів прикріплені наконечники - вигнуті металеві пластини (5) з отворами. Наконечники скріплюються між собою в поперечному напрямку за допомогою наскрізного стрижня (6) - сталеві шпильки або труби, що проходить крізь отвори наконечників.

Наконечники з отворами дають змогу смуговим елементам поясів повертатися відносно один одного навколо поперечної осі, що проходить через

опорну частину ЛПП, під час розсунення верхнього і нижнього поясів у процесі її виготовлення.

Довжина ЛПП становить 6 м, ширина - 1,32 м, конструктивна висота - 0,6 м.

Чисельний розрахунок моделі ЛПП наведено в розділі 2 цієї роботи.

Техніко-економічні показники лінзоподібної плити покриття з дерев'яних смугових елементів наведено в таблиці 1.2.

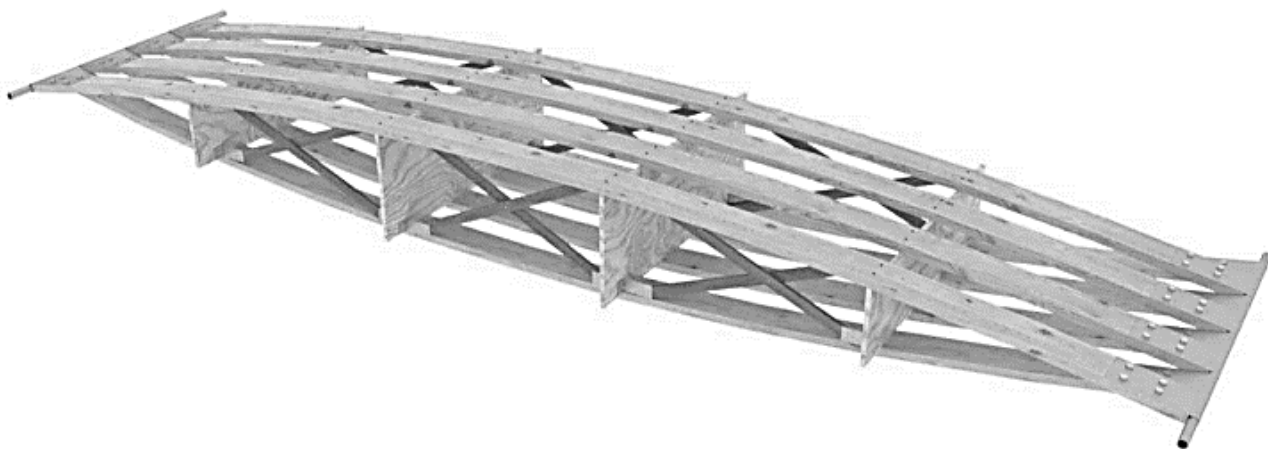


Рисунок 1.6 - 3D-модель просторової плити покриття з дерев'яних смугових елементів

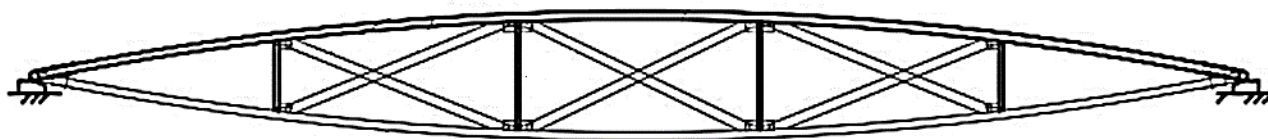


Рисунок 1.7 - ЛПП, вид збоку

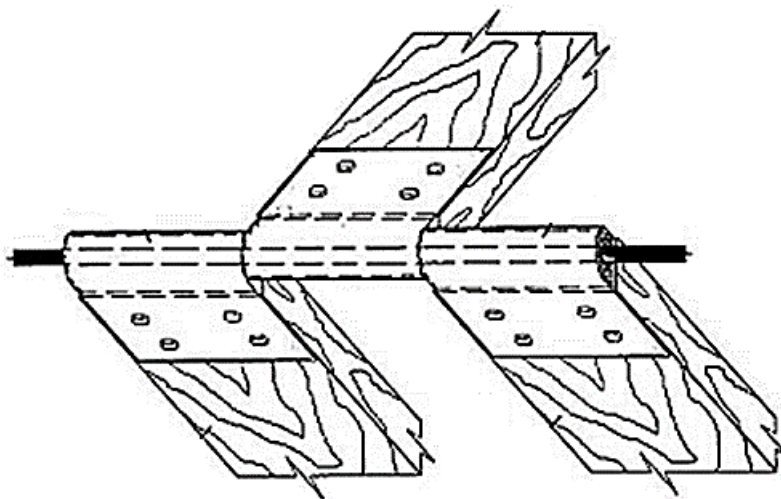


Рисунок 1.8 - Варіант вузлового з'єднання поясів ЛПП

Таблиця 1.2 - Техніко-економічні показники лінзоподібної плити покриття з дерев'яних смугових елементів

№ п/п	Найменування показника	Од.вим.	Значення
1	Площа покриття	м ²	7,92
2	Матеріаломісткість (з урахуванням витрат на утеплювач і покриття)	кг/м ²	44,73
3	Металоемність	кг/м ²	4,15
4	Трудовитрати на монтаж	люд - год	2,77

1.2.3 Лінзоподібна плита покриття з металевих стрижневих елементів

Модель ЛПП у металевому виконанні аналогічна моделі ЛПП із дерева. Плита покриття складається з поясів розрідженої структури, утворених металевими стрижневими елементами з перетином із квадратних труб. Стрижні утворюють вигнуті обриси елементів поясів, а самі елементи розташовані на деякій відстані один від одного. У розсунутому стані пояси підтримуються куточками.

Просторова модель плити, елементами якої є стрижні, показана на рис. 1.9. Довжина плити становить 6 м, ширина - 1,155 м, конструктивна висота - 0,6 мм.

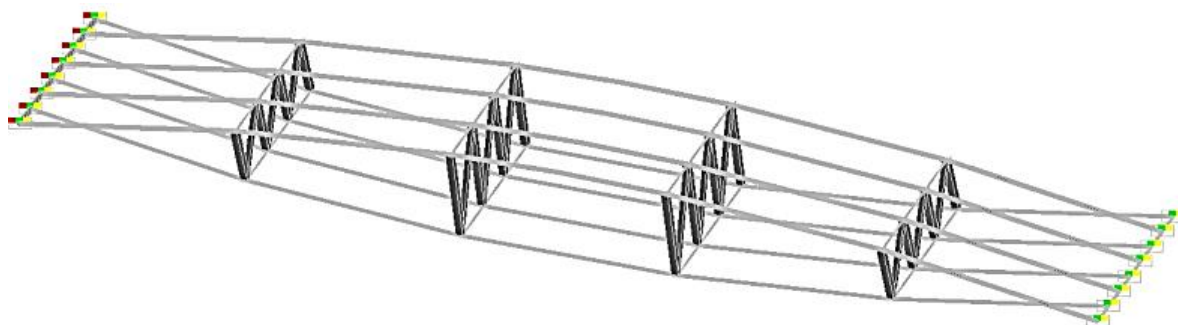


Рисунок 1.9 - Розрахункова схема плити в програмі SCAD

Техніко-економічні показники лінзоподібної плити покриття з металевих стрижневих елементів із труб квадратного перерізу наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 - Техніко-економічні показники лінзоподібної плити покриття з металевих труб квадратного перерізу

№ п/п	Найменування показника	Од.вим.	Значення
1	Площа покриття	м ²	7,2
2	Матеріаломісткість (з урахуванням витрат на утеплювач і покриття)	кг/м ²	37,29
3	Металоємність	кг/м ²	21,26
4	Трудовитрати на монтаж	люод-год.	2,83

1.3 Техніко-економічне порівняння варіантів

Під час варіантного проектування було розглянуто три варіанти лінзоподібної плити покриття, один із яких - лінзоподібний блок покриття з металевого профлиста, що є прототипом досліджуваної плити покриття, - був запроєктований для прольоту 12 м [5], відповідно всі показники були приведені до одиниці площі. Порівняння за трудо-, матеріало- і металоємністю, а також за вартістю і трудовитратами на виготовлення проводилося для трьох варіантів. Порівняння варіантів наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 - Порівняння варіантів лінзоподібних плит

№ п/п	Найменування показника	Варіант 1: Лінзоподібний блок із профлиста	Варіант 2: Лінзоподібна плита покриття з дерев'яних смугових елементів	Варіант 3: Лінзоподібна плита покриття з металевих квадратних труб
1	Площа покриття, м ²	36	7,92	7,2
2	Матеріалоємність, кг/м ²	43,32	44,73	37,29
3	у т.ч. металоємність, кг/м ²	22,17	4,15	21,26
4	Трудовитрати на монтаж	2,52	2,77	2,83

1.4 Висновки до розділу

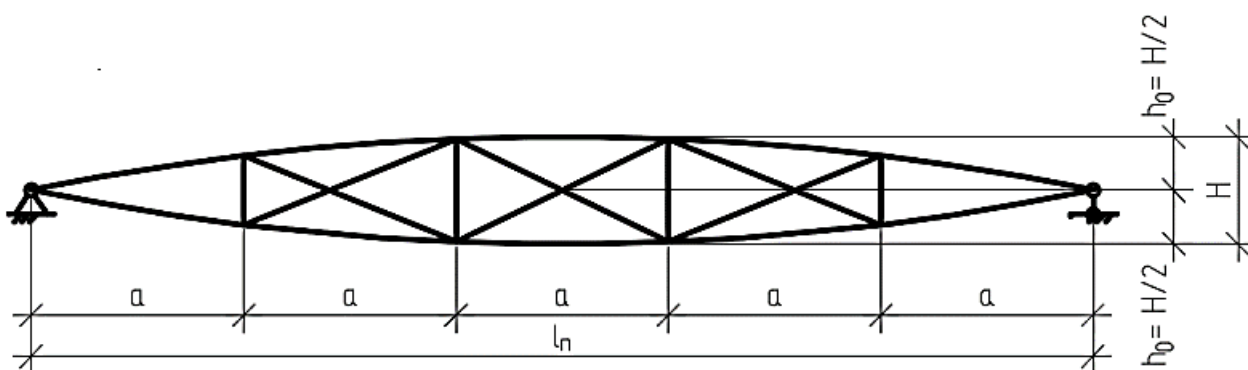
Найбільш значущими показниками при виборі є показники вартості виготовлення і транспортування, трудовитрат і металоємності. Варто мати на увазі, що застосування плити зі сталі класу С345 має більшу вартість, ніж сталь класу С235 або С245. Отже, набагато дорожчим буде виготовлення конструкцій із більшою металоємністю. Крім того, конструкції зі зварними швами доведеться виготовляти на заводі, оскільки в умовах будівельних майданчиків зварювальні роботи можуть бути ускладнені, порушена їхня безперервність. Таким чином, можна зробити висновок, що найефективнішою з урахуванням усіх умов буде лінзоподібна плита покриття з дерев'яних смугових елементів.

РОЗДІЛ 2

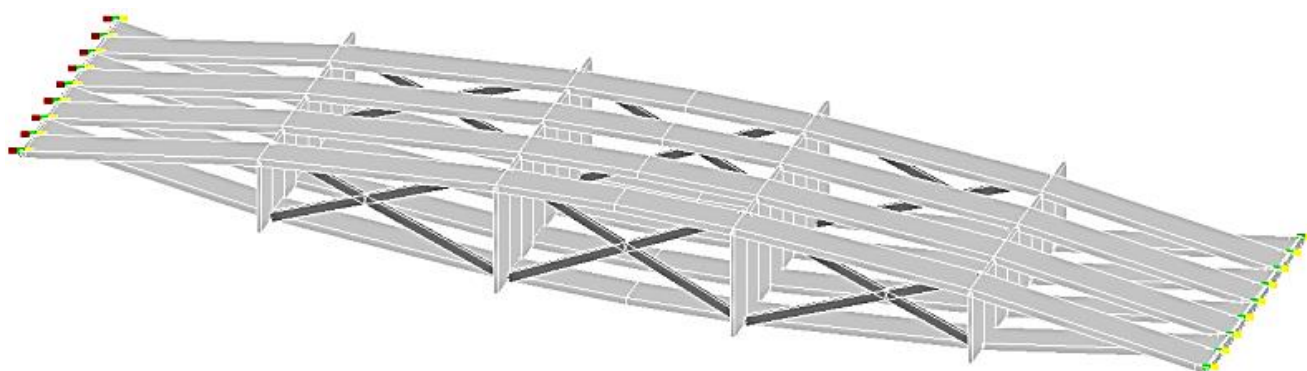
ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЛІНЗОПОДІБНОЇ ПЛИТИ ПОКРИТТЯ З ДЕРЕВ'ЯНИХ СМУГОВИХ ЕЛЕМЕНТІВ

2.1 Завдання розрахункової схеми та збір навантажень

Розрахункова схема просторової плити покриття являє собою схему статично визначеної шарнірної ферми (рис. 2.1). Ця схема дає змогу виконати розрахунок у програмі SCAD. Для забезпечення точності розрахунків задамо просторову модель плити, елементами якої є пластини (рис. 2.1).



а)



б)

а) Розрахункова схема; б) Просторова модель у програмі SCAD.

Рисунок 2.1 - Лінзоподібна плита покриття

Вихідні дані:

Довжина плити $l_n = 6$ м Ширина плити - 1,32 м

Конструктивна висота плити $H = 0,6$ м Крок розпірок $a = 1,2$ м (кількість 4 шт.) З'єднання з опорою - шарнірне. Крок елементів поясів - 330 мм Кількість дощок у поясі - 4 шт Початковий прогин дощок $h_0 = 0,3$ м.

Прийmemo товщину поясної дошки рівною 40 мм. Ширину дошки прийmemo 165 мм.

Елементи верхнього і нижнього поясу задамо пластинами завтовшки $t_d = 40$ мм типу елемента "просторовий СЕ оболонки", завширшки $v_d = 165$ мм з такими жорсткісними характеристиками:

- матеріал - ортотропний;
- об'ємна вага $\gamma = 4,9$ кН/м³;
- модуль пружності в напрямку X_1 $E_{X1} = 10000000$ кН/м²;
- модуль пружності в напрямку Y_1 $E_{Y1} = 400000$ кН/м²;
- коефіцієнт лінійного розширення $\alpha_X = 4,2 \cdot 10^{-6}$ 1/°С;
- коефіцієнт лінійного розширення $\alpha_Y = 2,9 \cdot 10^{-5}$ 1/°С;
- коефіцієнти Пуассона:
- $\nu_{XY} = 0,02$;
- $\nu_{YX} = 0,5$;
- модуль зсуву $G_{XY} = 500000$ кН/м².

Розрахунковий опір при вигині дорівнює 19,5 МПа. Характеристики відповідають сосновій дощці 2 сорту. Загальна кількість елементів поясів - 8 шт (загальна ширина $165 \cdot 8 = 1320$ мм = 1,32 м).

Розпірки (стійки) задано пластинами типу елемента "прямокутний СЕ оболонки" з об'єднанням лінійних переміщень у вузлах сполучення, які збігаються, з елементами поясів (для збереження шарнірності з'єднання з поясами) завтовшки $t_{ст} = 21$ мм, завширшки 1,32 м і змінною висотою залежно від розташування в плиті. Розділимо плиту на 5 секторів (Рисунок 2.2). Розпірки, що розділяють 1, 2 і 4, 5 сектори, мають висоту 340,8 мм; що розділяють 2, 3 і 3, 4 сектори - 566,4 мм. Відповідно, крок розпірок - 1,2 м.

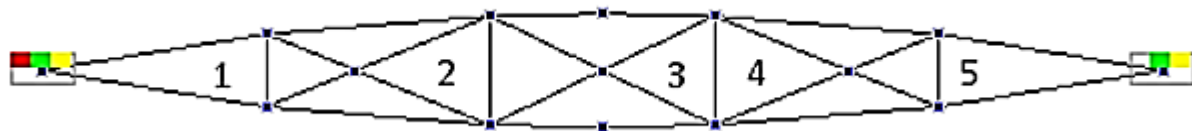


Рисунок 2.2 - Умовний поділ плити за секторами

Жорсткісні характеристики розпірок відповідають хвойній фанері:

- матеріал - ортотропний;
- об'ємна вага $\gamma=5,4$ кН/м³;
- модуль пружності в напрямку X_1 $E_{X1} = 9000000$ кН/м²;
- модуль пружності в напрямку Y_1 $E_{Y1} = 6000000$ кН/м²;
- коефіцієнт лінійного розширення $\alpha_x = 4,2 \cdot 10^{-6}$ 1/°C;
- коефіцієнт лінійного розширення $\alpha_y = 2,9 \cdot 10^{-5}$ 1/°C;
- коефіцієнти Пуассона:
- $\nu_{xy} = 0,06$;
- $\nu_{yx} = 0,09$;
- модуль зсуву $G_{xy} = 750000$ кН/м².

Розкоси задано просторовими стрижнями прямокутним перерізом 20x50 мм. Характеристики жорсткості розкосів відповідають сосновим брускам (рейкам):

- об'ємна вага $\gamma=4,9$ кН/м³;
- модуль пружності $E=10000000$ кН/м²;
- коефіцієнт лінійного розширення $\alpha=4,2 \cdot 10^{-6}$ 1/°C;
- коефіцієнт Пуассона $\nu=0,5$.

Стрижень для кріплення елементів поясів на торцях плити візьмемо зі сталі класу С345, перетин - труба електрозварна прямошовна 40x1,5 мм.

З'єднання розкосів із поясами - шарнірне.

Зв'язки плити у вузлах - з одного (правого) боку шарнірно-рухома, що обмежує переміщення вздовж осей y і z , і шарнірно-нерухома з іншого (лівого) боку, що обмежує переміщення по всіх трьох осях x , y і z .

Постійні навантаження. У власну вагу плити, крім ваги її елементів, включено вагу від утеплювача і покриття плити. Складові навантаження від власної ваги плити представлені в таблиці 5. Вага стійок і поясів врахована програмою SCAD.

Через розріджену структуру навантаження від утеплювача і покриття $q_{ум}+q_{покр}$, кН/м^2 , прикладену до верхнього поясу, в результаті перерозподілу збільшується в 2 рази (Рисунок 2.3):

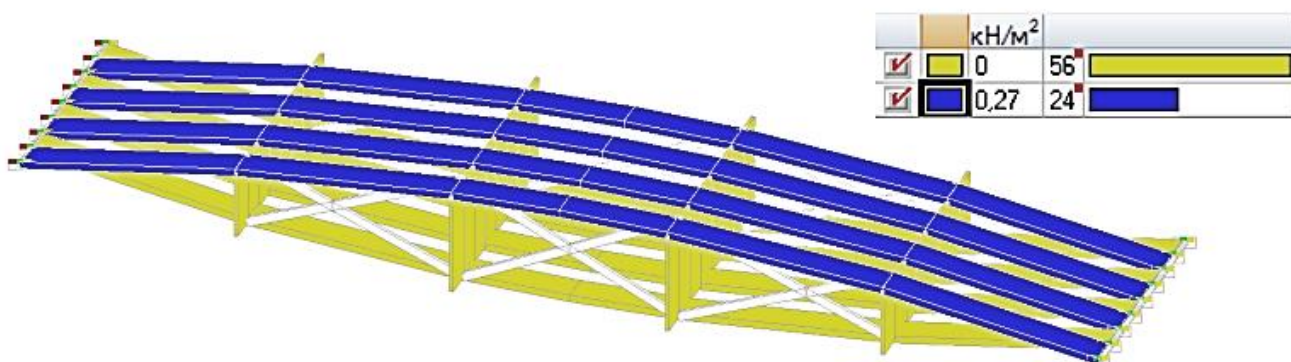


Рисунок 2.3 - Прикладання навантаження від утеплювача та покриття

Крім навантаження від власної ваги плити, необхідно також врахувати початкові напруги, що виникають у дошках через їхній початковий вигин

Таблиця 2.1 - Навантаження від власної ваги

Найм. елемента	Матеріал	Щільність ρ , кг/м^3	Кількість і розміри, м	Значення нормативного навантаження q_{di} , кН/м^2	Коеф-т надійності за навантаженням γ_f	Значення розрахункового навантаження P_{di} , кН/м^2
Покриття	Профлист	7850	0,0008x1,32x6	0,062	1,05	0,065
Утеплювач	Мінеральна вата	30	0,17x1,32x6	0,073	1,3	0,096
Разом				0,135	1,175 (середній)	0,161

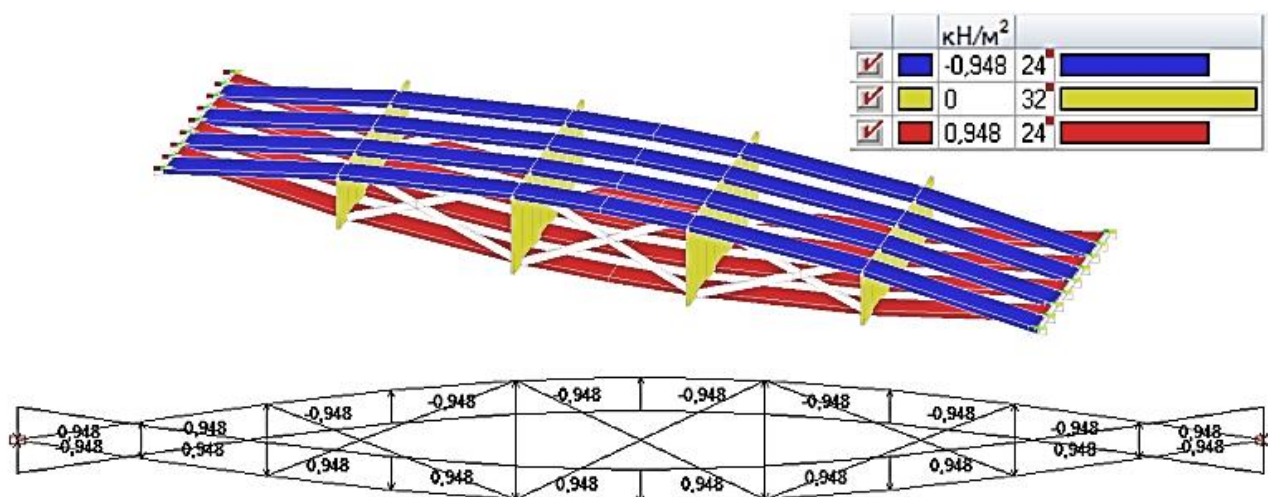


Рисунок 2.4 - Навантаження від початкових напружень під час згинання поясів

Снігове навантаження

Виконаємо розрахунок на два варіанти дії снігового навантаження - рівномірно-розподіленого в усіх точках плити.

У таблиці 2.2 подано значення розрахункового снігового навантаження.

Таблиця 2.2 - Розрахункове снігове навантаження (у поздовжньому напрямку)

Сє	Ст	S _q , кПа	Варіант 1			Варіант 2		
			μ	S ₀ , кПа	q _{сніг} , кН/м ²	μ	S ₀ , кПа	q _{сніг} , кН/м ²
1	1	3	1	6	6	0,75	6	4,5
						1,25		7,5

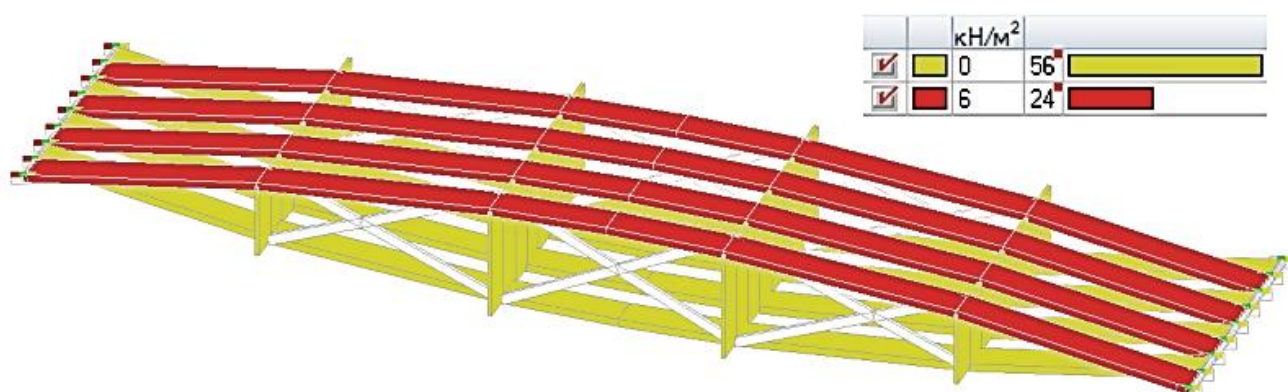


Рисунок 2.5 - Карта снігового навантаження на елементи (варіант 1), кН/м²

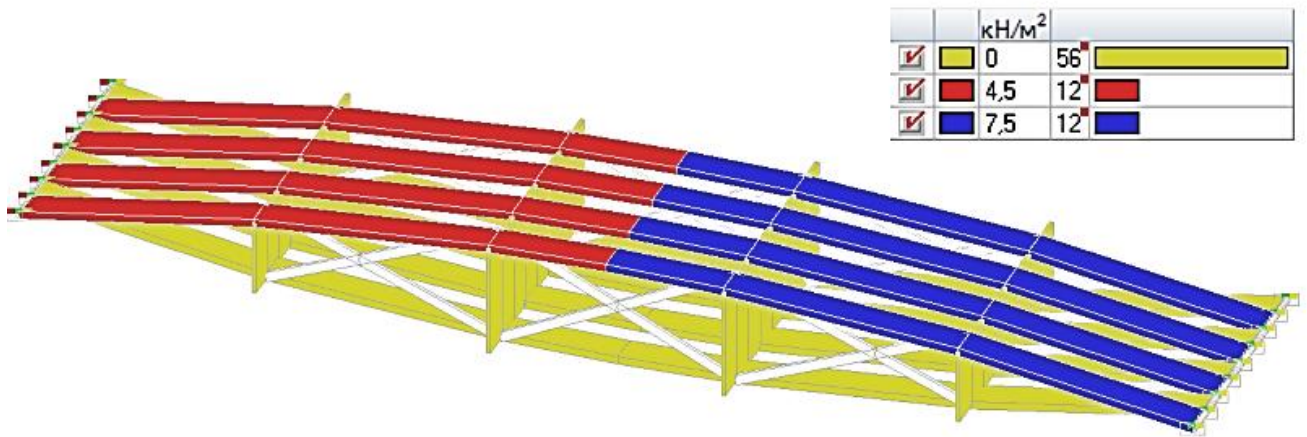


Рисунок 2.6 - Карта снігового навантаження на елементи (варіант 2), кН/м²

2.2 Результати розрахунку

Результати розрахунку представлені на рис. 2.7-2.16 Зусилля і напруження обчислені від розрахункових навантажень (за 1-им граничним станом), а переміщення - від нормативних навантажень (за 2-им граничним станом).

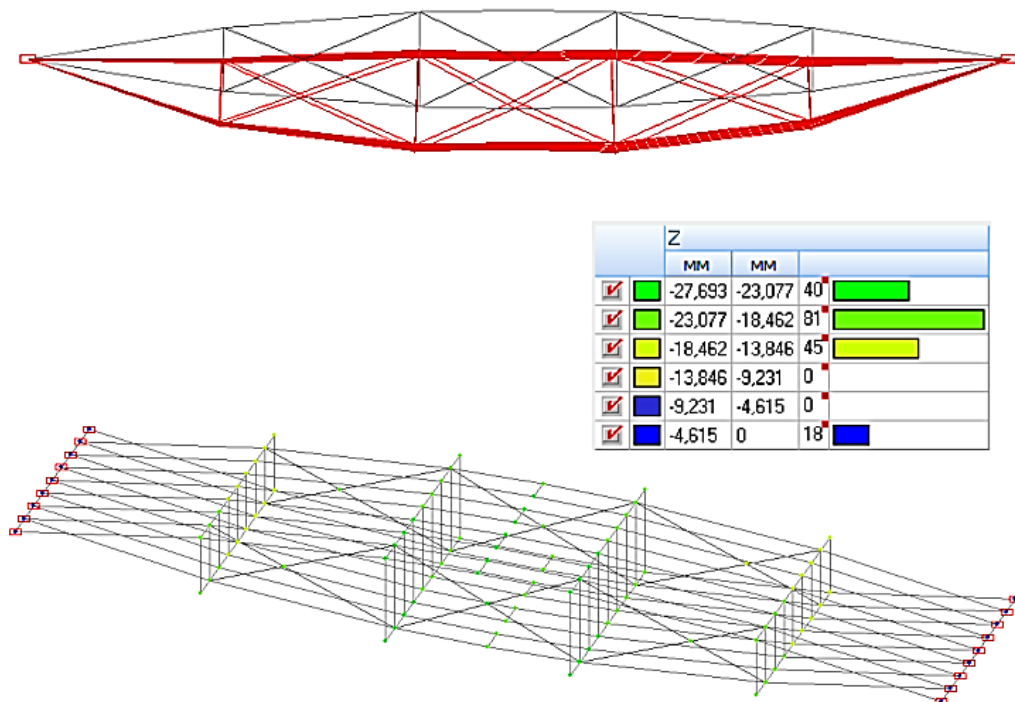


Рисунок 2.7 - Деформована схема і переміщення за комбінації С1

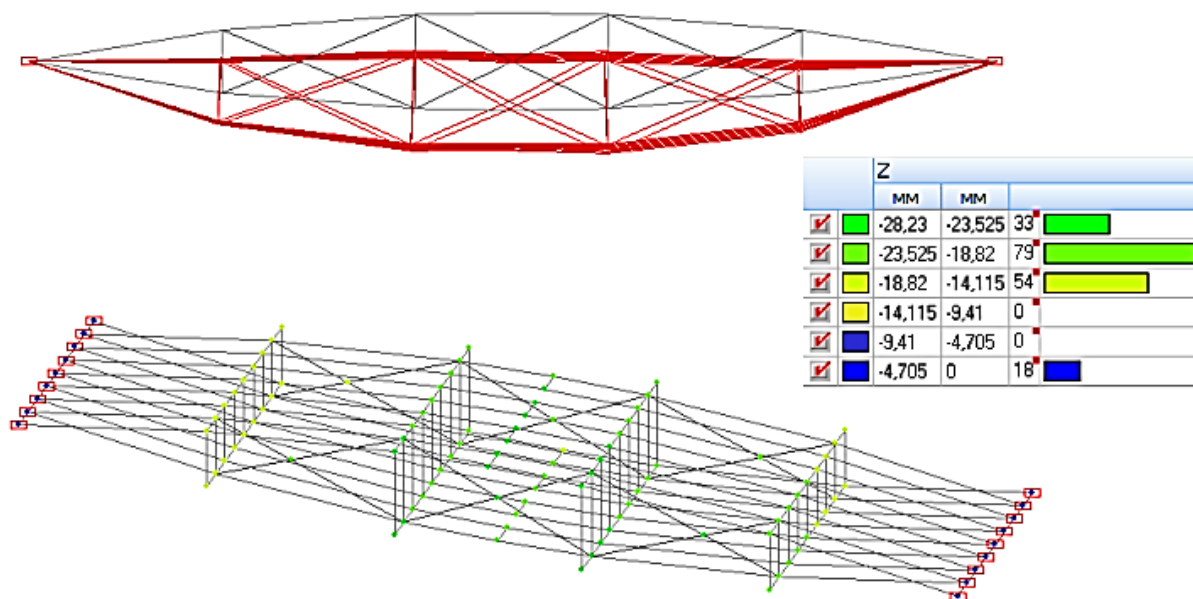


Рисунок 2.8 - Деформована схема і переміщення за комбінації С2

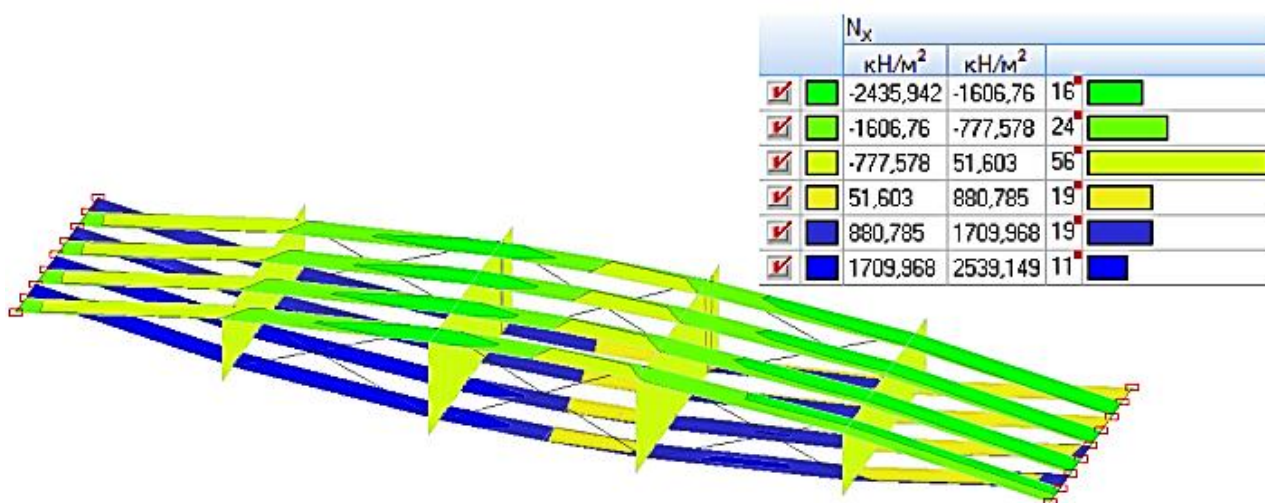


Рисунок 2.9 - Поля напруг при комбінації С1

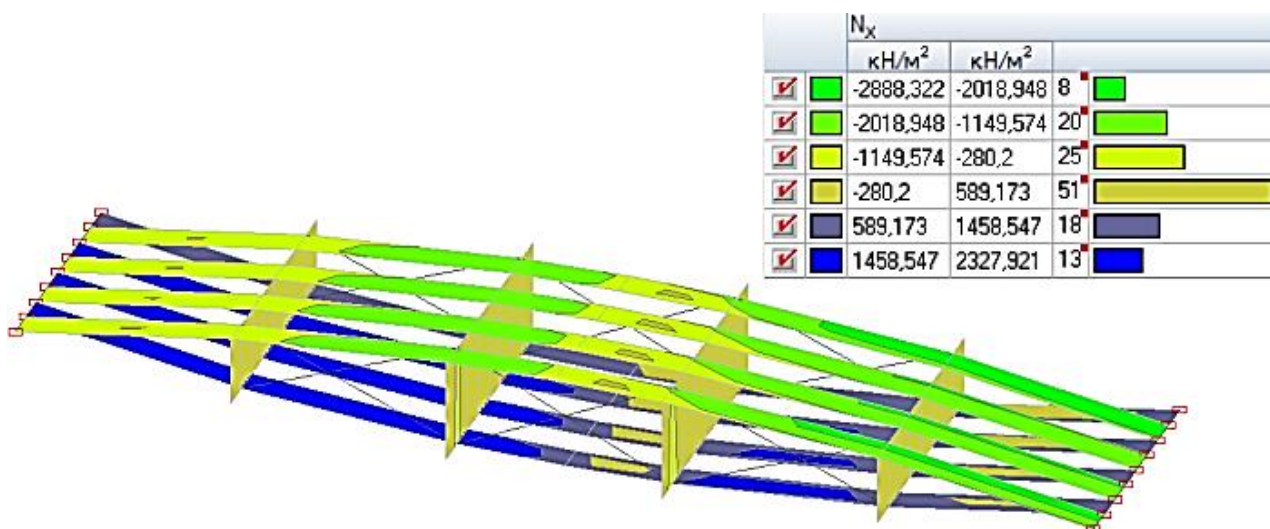


Рисунок 2.10 - Поля напруг при комбінації С2

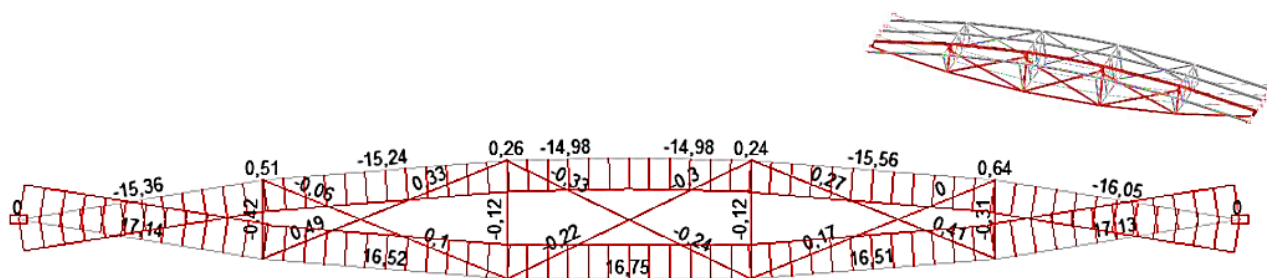
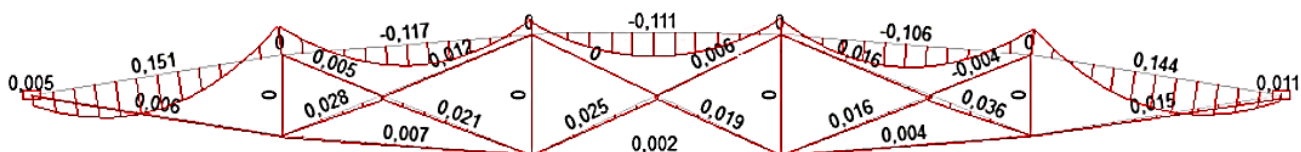
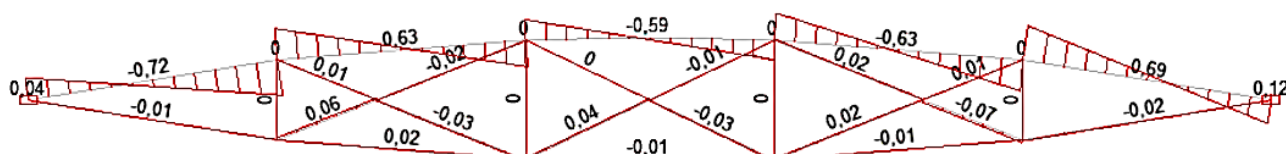


Рисунок 2.11 Епюра зусиль N, кН, за комбінації С1

Рисунок 2.12 Епюра зусиль M_u , кНм, за комбінації С1Рисунок 2.13 Епюра зусиль Q_z , кН, за комбінації С1

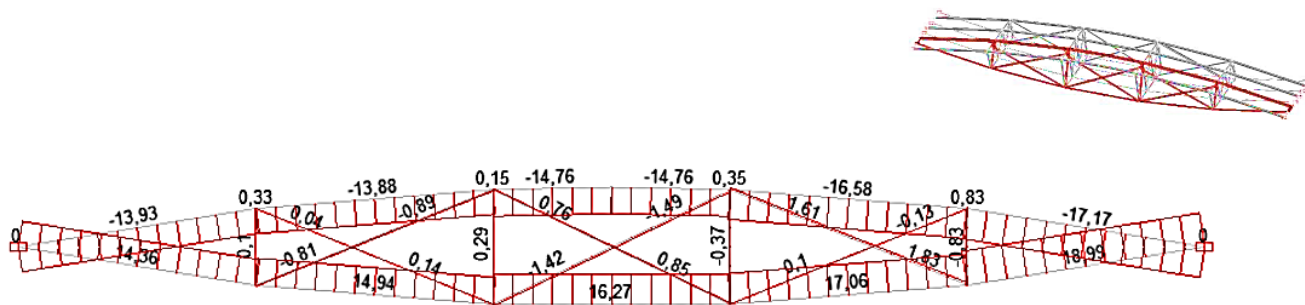


Рисунок 2.14 Епюра зусиль N, кН, за комбінації С2

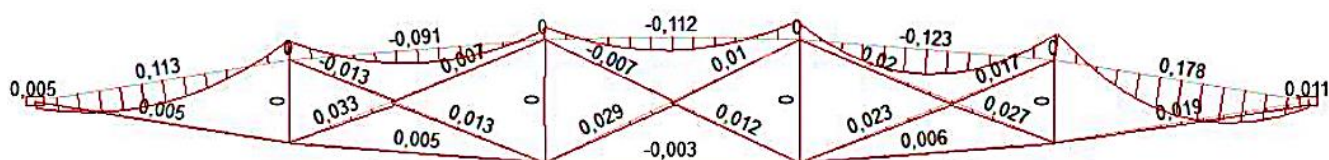


Рисунок 2.15 Епюра зусиль Mu, кНм, за комбінації С2

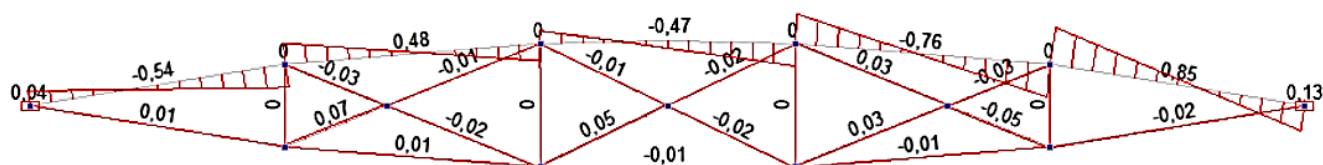


Рисунок 2.16 Епюра зусиль Qz, кН, за комбінації С2

Маса елементів плити, задіяних у розрахунковій схемі, у сукупності з вагою утеплювача і покриття виведена за допомогою ПК SCAD підсумовуванням реакцій R_{zi} , k_s , в опорних вузлах розрахункової схеми від комбінації С3 = "вв" + "утепл + покриття". Реакції R_{zi} наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 - Реакції в опорних вузлах плити

№	X	Y	Z	Зв'язки	PЗ
	м	м	м		кг
24	0	0,165	0	Z	30,32
30	6	0,165	0	Z	29,77
150	6	1,155	0	Z	27,60
144	0	1,155	0	Z	26,45
84	0	0,66	0	Z	23,36
85	6	0,66	0	Z	22,19
45	6	0,33	0	Z	20,53
44	0	0,33	0	Z	20,49
124	0	0,99	0	Z	19,39
125	6	0,99	0	Z	18,87
70	6	0,495	0	Z	18,47
64	0	0,495	0	Z	17,30
110	6	0,825	0	Z	17,08
104	0	0,825	0	Z	16,49
9	0	0	0	X,Y,Z	4,07
15	6	0	0	Z	3,70
					Σ316,1

Плита спирається з обох боків на дерев'яні опорні бруски перерізом 65x140 мм і довжиною 1400 мм, маса обох брусків дорівнює 11,83 кг.

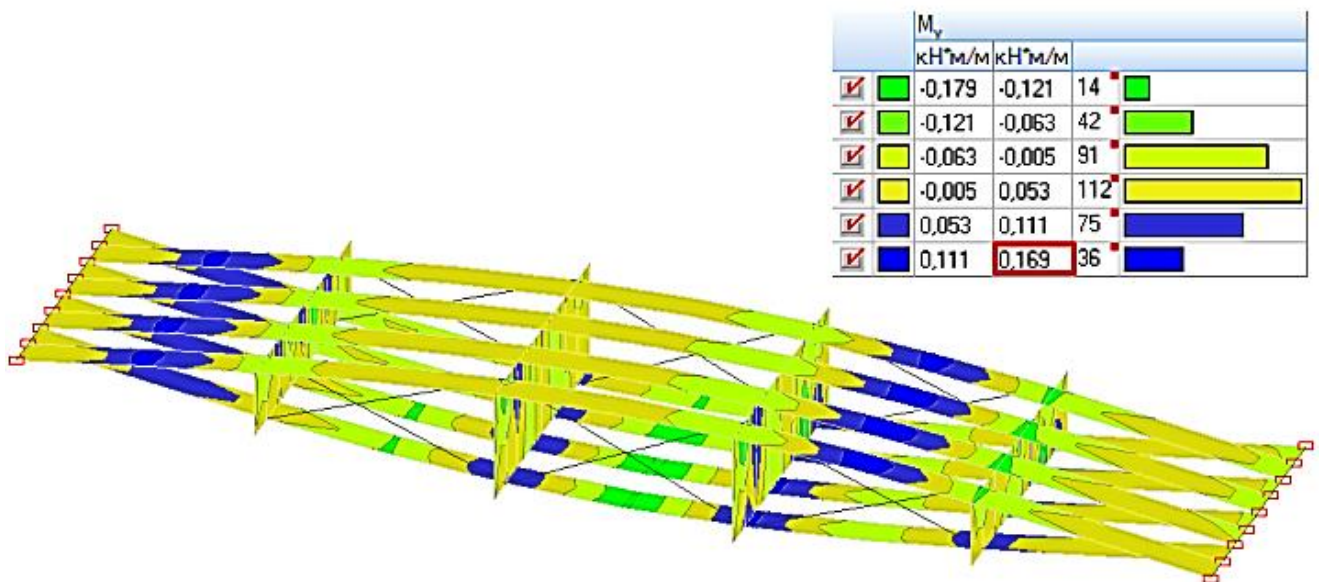


Рисунок 2.17 - Поля My від комбінації С2, кНм/м

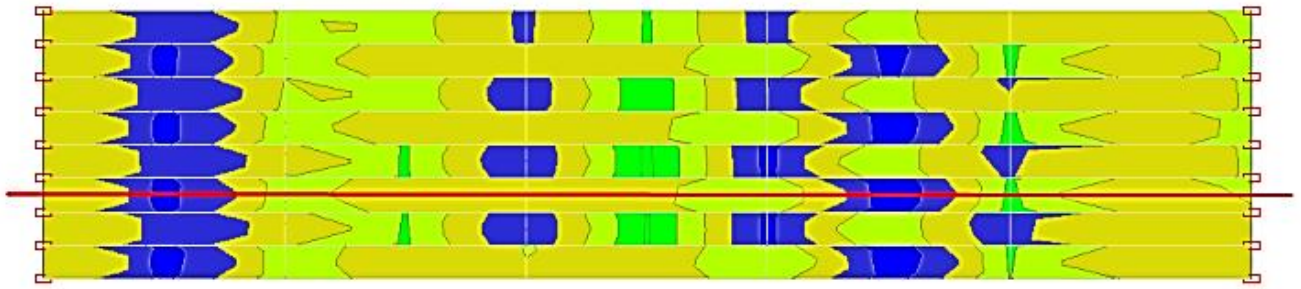


Рисунок 2.18 - Поля M_u від комбінації С2, кНм/м, вид згори, і січна для побудови епюр напружень уздовж неї

2.3 Аналіз частоти дроблення поясів на пластинчасті скінченні елементи

Відомо, що за частішого розбиття пластин результати розрахунку більш точні та наближені до реальної роботи конструкцій. Проведемо аналіз результатів розрахунку схеми за різної частоти розбиття елементів поясів на пластинчасті скінченні елементи. Задамо дві розрахункові схеми з розбиттям поясів так, щоб між стійками виявлялося 4 і 5 скінченних елементів у кожному елементі поясу.

Перерізи елементів подано на рис. 2.19. Розрахунок виконано на дві комбінації навантажень:

- С1 - з впливом власної ваги, ваги від утеплювача та покриття, початкових напружень і рівнобічного снігового навантаження;
- С2 - те саме, з впливом однобічного снігового навантаження. Збір і завдання навантажень ідентичні п. 2.1.

Розрахункову схему лінзоподібної плити покриття з розбиттям елемента поясу на 20 елементів (4 елементи на сектор) подано на рис.2.20, результати розрахунку - на рис. 2.21-2.24.

Розрахункову схему лінзоподібної плити покриття з розбивкою елемента поясу на 26 елементів (5 елементів на сектор, 6 елементів у середньому секторі) подано на рис. 2.25, результати розрахунку - на рис. 2.26-2.33.



	35 * 50
	40x3
	h=0.021
	h=0.04

Рисунок 2.19 - Перетини елементів розрахункових схем

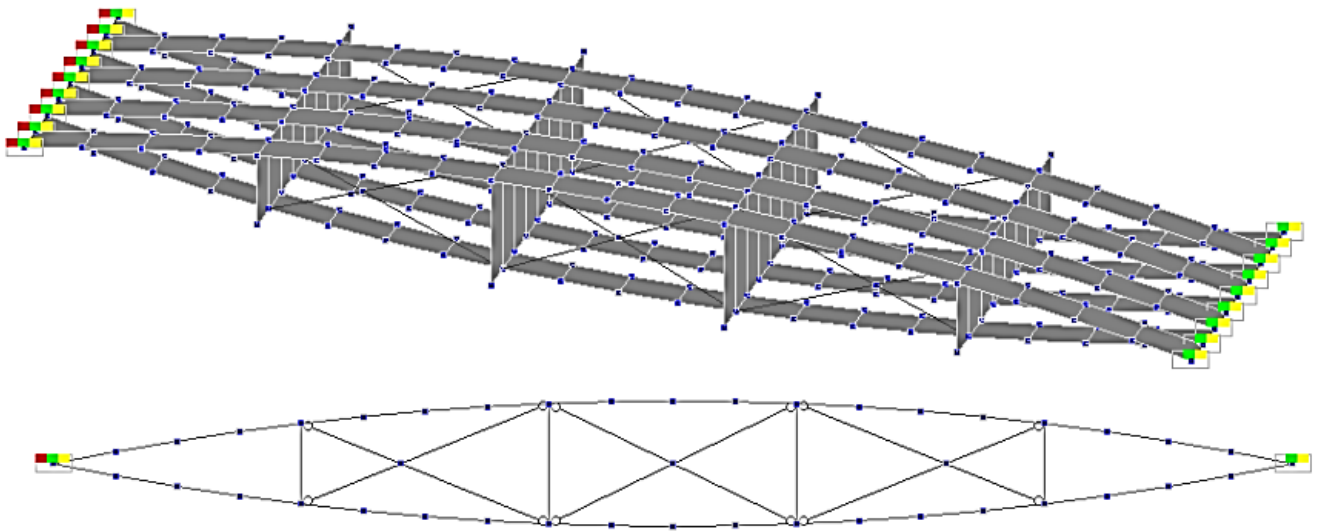


Рисунок 2.20 - Розрахункова схема (4 елементи на сектор) (3D-погляд і вид збоку)

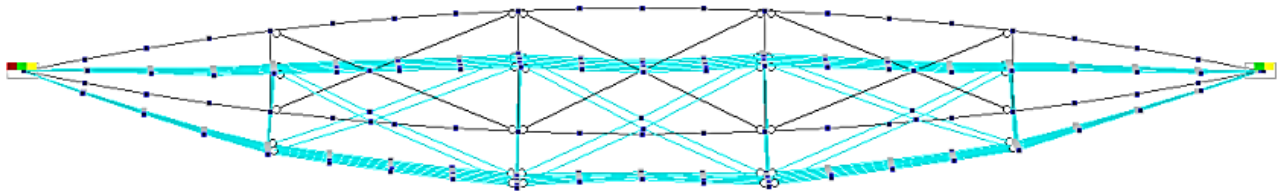


Рисунок 2.21 - Деформована схема (4 елементи на сектор) від С1

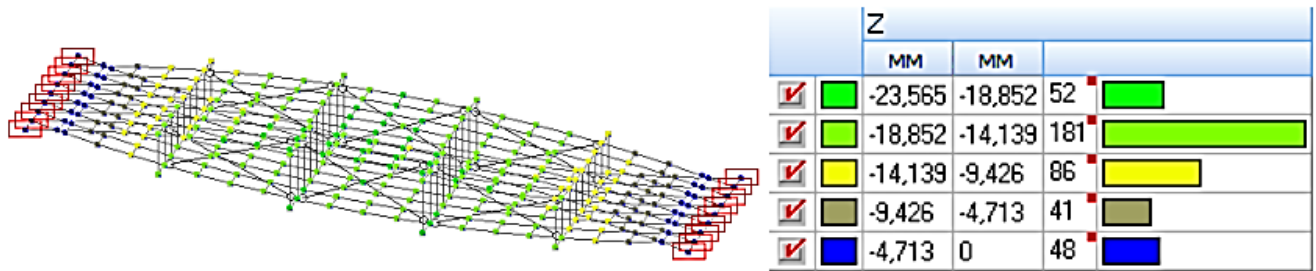


Рисунок 2.22 - Прогини моделі (4 елементи на сектор) від С1, мм

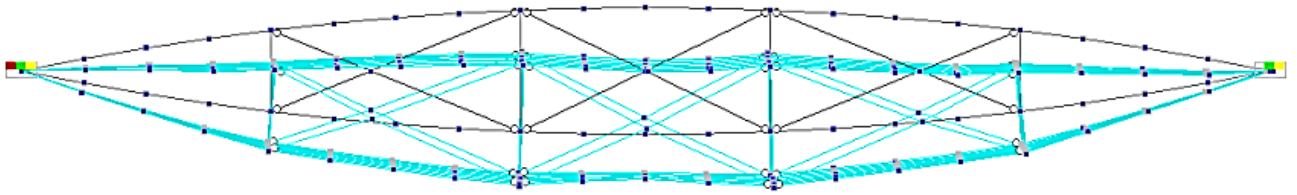


Рисунок 2.23 - Деформована схема (4 елементи на сектор) від С2

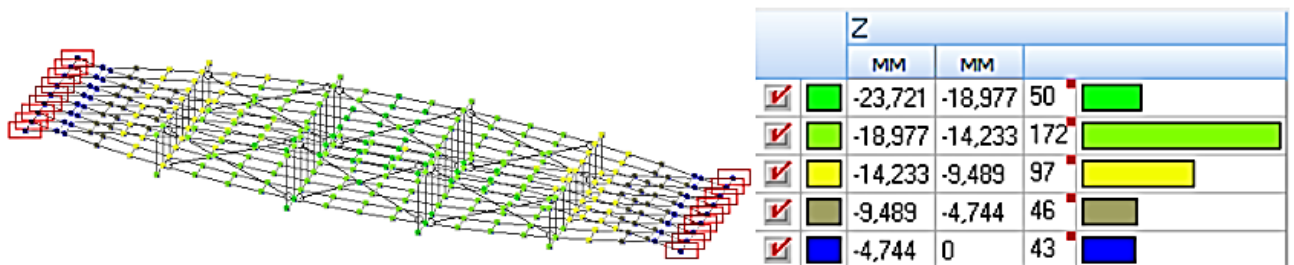


Рисунок 2.24 - Прогини моделі (4 елементи на сектор) від С2, мм

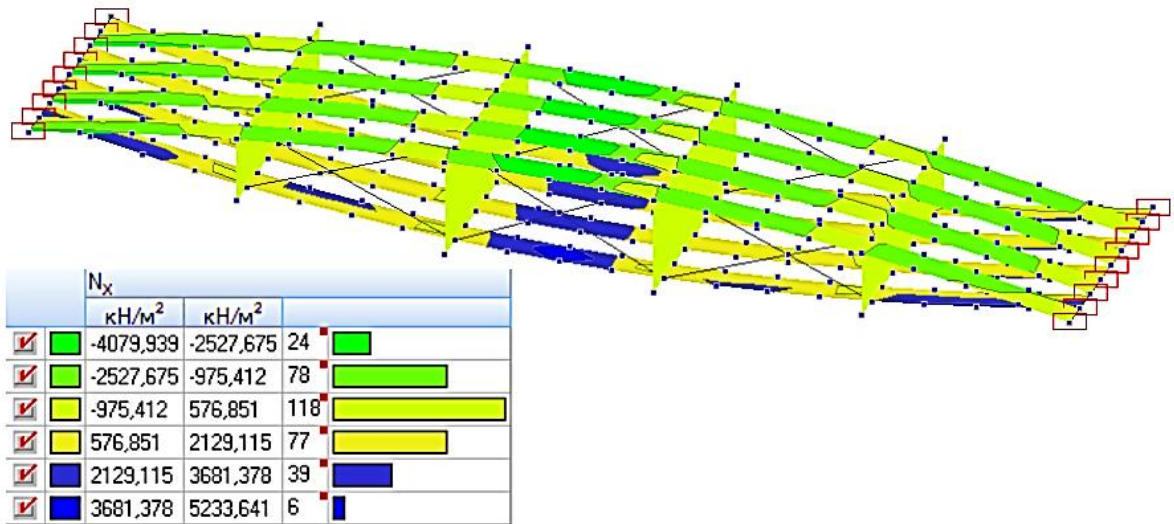


Рисунок 2.25 - Напруги в моделі (4 елементи на сектор) σ_x , кН/м^2 , від С1

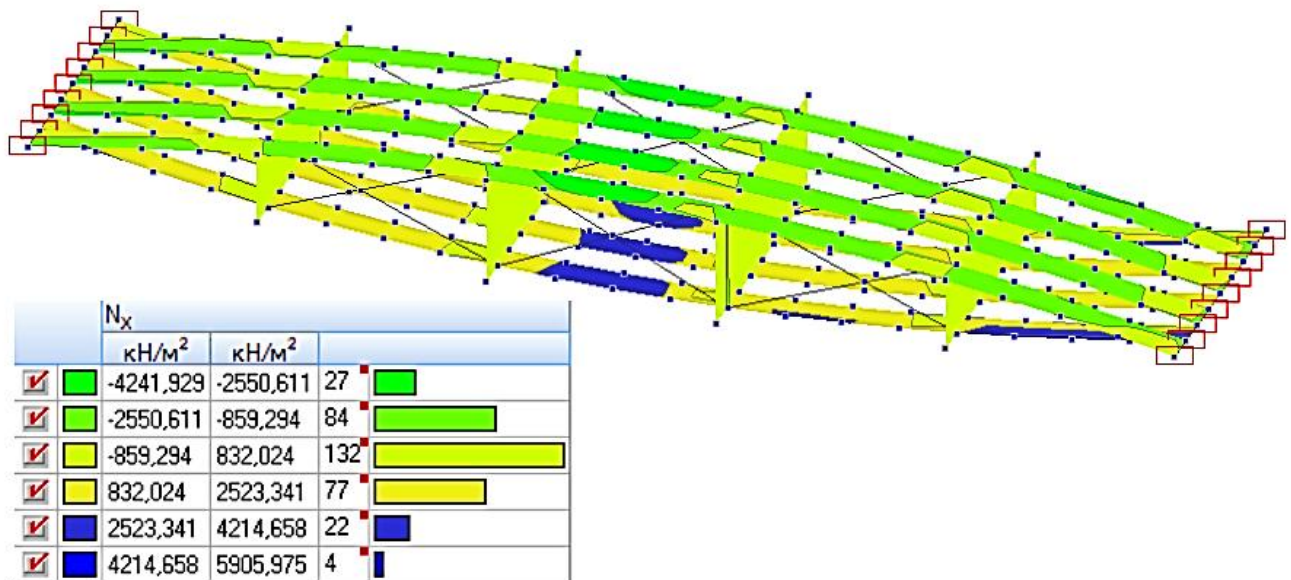


Рисунок 2.26 - Напруги в моделі (4 елементи на сектор) σ_x , кН/м^2 , від С2

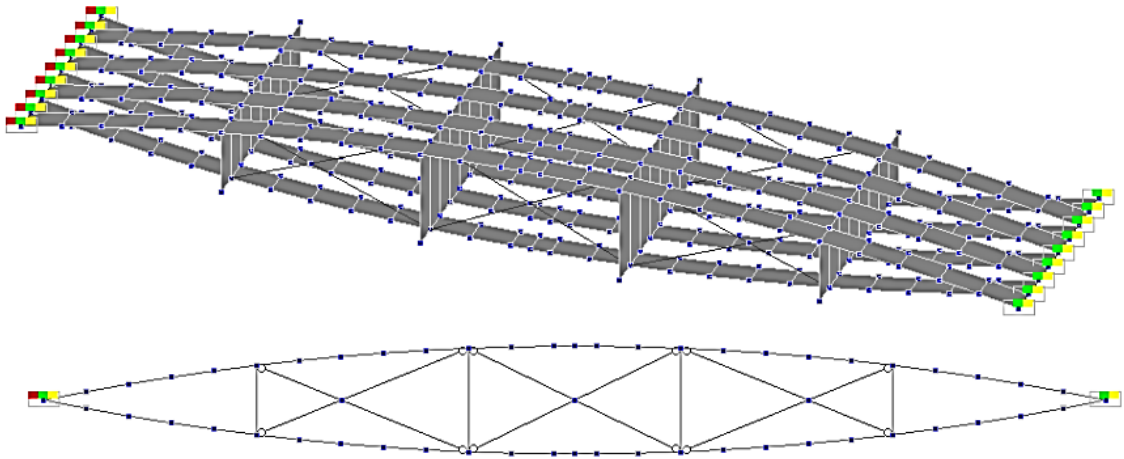


Рисунок 2.27 - Розрахункова схема (5 елементів на сектор) (3D-погляд і вид збоку)

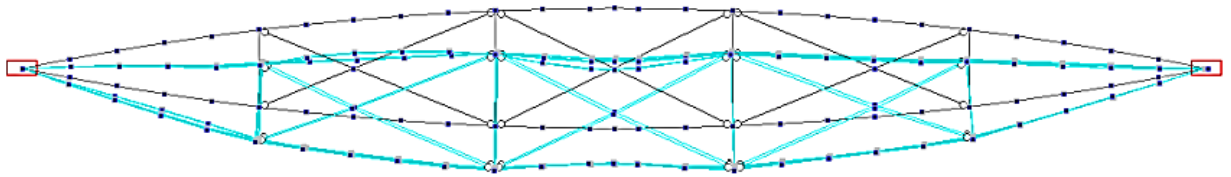


Рисунок 2.28 - Деформована схема (5 елементів на сектор) від С1

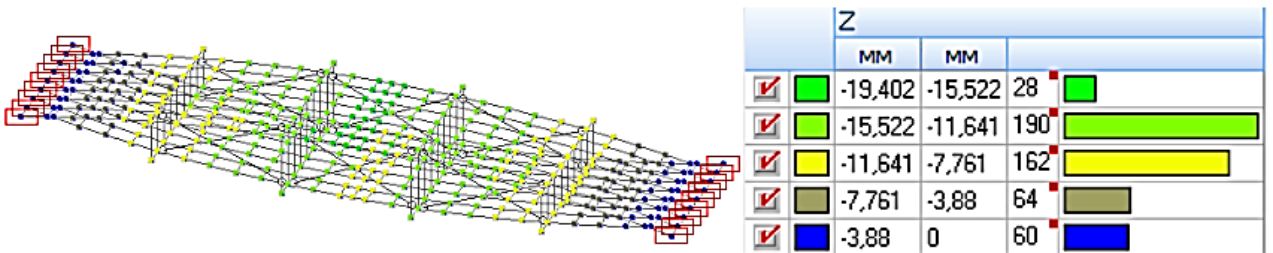


Рисунок 2.29 - Прогини моделі (5 елементів на сектор) від С1, мм

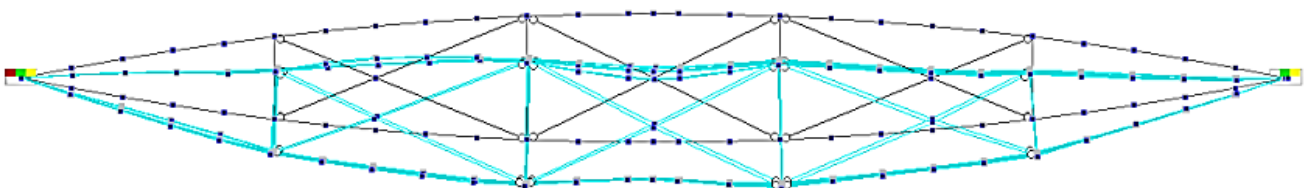


Рисунок 2.30 - Деформована схема (5 елементів на сектор) від С2

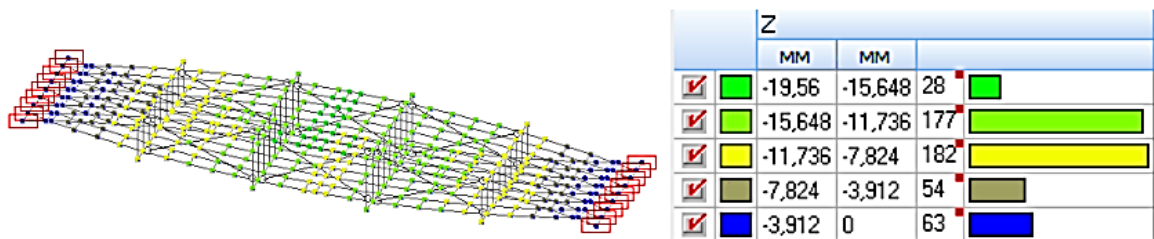


Рисунок 2.31 - Прогини моделі (5 елементів на сектор) від С2, мм

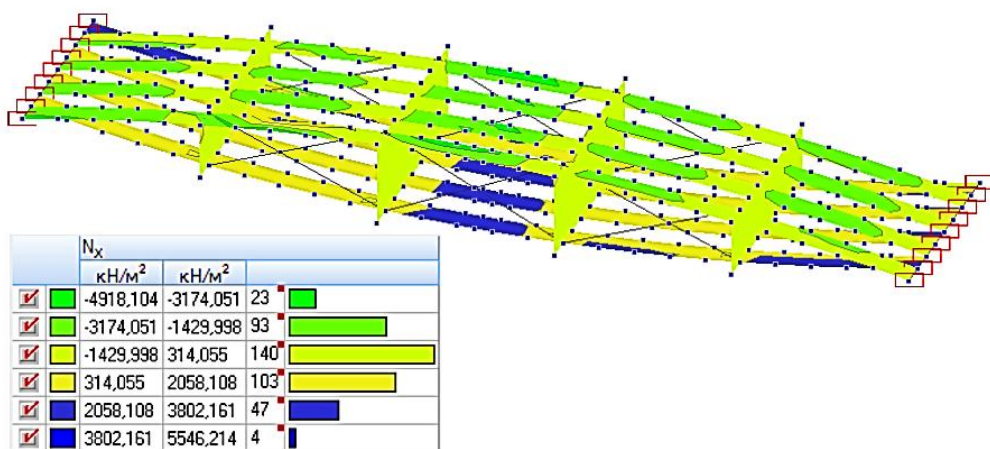


Рисунок 2.32 - Напруги в моделі (5 елементів на сектор) σ_x , кН/м², від С1

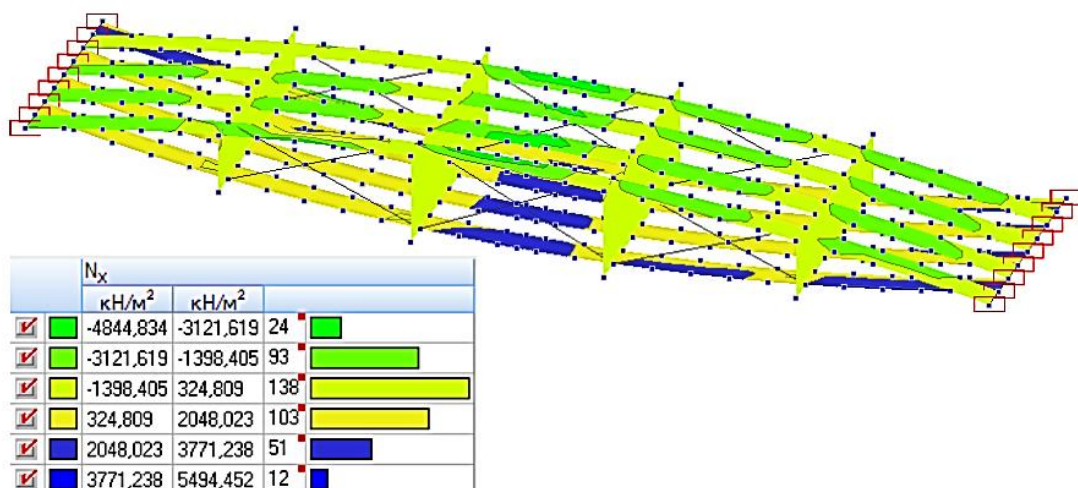


Рисунок 2.33 - Напруги в моделі (5 елементів на сектор) σ_x , кН/м², від С2

2.4 Підбір оптимальної товщини перерізу елементів поясів

Як правило, переріз елементів конструкції визначають виходячи з умови міцності. Однак, як видно з п. 2.2, для лінзоподібної плити покриття з дерев'яних смугових елементів визначальною стає перевірка на жорсткість: у разі прийнятої товщини $t_d = 40$ мм та дії найменш вигідної комбінації з одностороннім сніговим навантаженням (С2) найменшим запасом володіє жорсткість плити. Отже, підбір перерізу слід проводити виходячи з умови жорсткості. На жорсткість плити впливають такі чинники:

- товщина елементів поясів;
- початковий вигин поясів;
- кількість стійок-розпірок;
- встановлення вертикальних зв'язків.

У кваліфікаційній роботі проаналізовано різні випадки дії зазначених чинників і виявлено найоптимальніший варіант їх поєднання.

Задамося вихідною шириною елемента поясу $b_d = 165$ мм і початковим вигином $f_0 = 300$ мм. Під час визначення оптимальної товщини елементів поясів необхідно оцінювати можливість елемента плити прогнутися на початковий вигин, не зламавшись. Крім того, спочатку вигнутий елемент також прогинається під постійним навантаженням і навантаженням від снігу; необхідно передбачити максимальну величину прогину $[f] = 30$ мм за врахуванням необхідного запасу міцності, що дорівнює 5-10 %. Звідси сумарний прогин елемента, виходячи з якого слід визначати його максимальну товщину, дорівнює 328,5 мм. Визначимо максимальну товщину елемента, за якої елемент прогнеться на знайдену величину f' , не зламавшись, тобто не втративши міцність під час вигину. Розрахункова схема вигнутого елемента поясу являє собою шарнірно-оперту балку з модулем пружності $E = 10000$ МПа, завдовжки $l = 6000$ мм, завширшки $b_d = 165$ мм і завтовшки t_d , на яку діє рівномірно-розподілене навантаження q . Щоб знайти максимальну товщину елемента, здатного прогнутися на f' , необхідно використати умову міцності під час вигину, виразити з цієї умови навантаження q

і підставити у формулу максимального прогину, а потім виразити й знайти максимальну товщину t_d . Проведемо дослідження впливу товщини елементів поясів плити на загальну жорсткість. Скористаємося методом добору: змінюючи товщину елемента з певним кроком, виконаємо перерахунок схеми в ПК SCAD і знайдемо товщину, за якої максимальні переміщення від найменш вигідної комбінації навантажень S_2 у результатах розрахунку задовольнятимуть умову жорсткості. Необхідно врахувати, що при зміні товщини також змінюватимуться початкові напруги від початкового вигину. Призначимо крок зміни товщини $\Delta t = -1,5$ мм (зменшення товщини починаючи від максимального значення $t_{d\max}$). Порівняння отриманих значень максимальних переміщень і граничного прогину представлено в таблиці 2.4. Графік залежності представлено на рис. 2.34.

Таблиця 2.4 - Залежність максимальних переміщень Z_{\max} , мм, і запасу жорсткості від товщини t_d , мм

Товщина елемента поясу t_d , мм	Початкові напруження q_0 , кН/м ²	Максимальні переміщення Z_{\max} , мм	Граничний прогин [f], мм	Запас жорсткості, %
44,5	1,305	-24,608	-30	18
43	1,178	-25,727	-30	14
41,5	1,059	-26,931	-30	10
40	0,948	-28,23	-30	6
38,5	0,845	-29,639	-30	1
37	0,75	-31,172	-30	-4

Як видно з таблиці та графіка, оптимальною є товщина $t_d = 40$ мм. За цієї товщини запас жорсткості позитивний і лежить у необхідних межах (5-10 %).

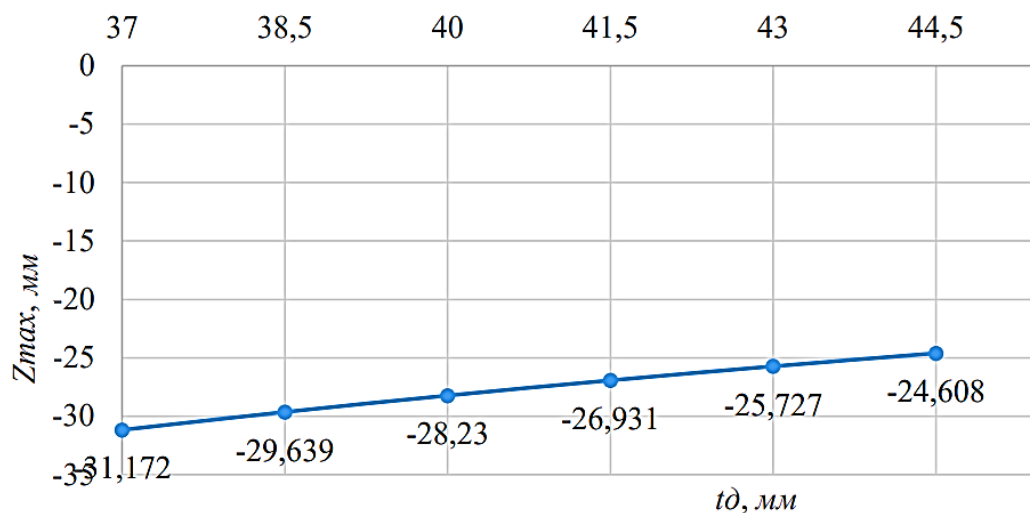


Рисунок 2.34 - Залежність максимальних переміщень Z_{\max} , мм, від товщини t_0 , мм

2.5 Підбір оптимального початкового вигину елементів поясів

Знайдемо максимальний прогин, на який здатна прогнутися дошка завтовшки $t_d = 40$ мм, 365,63 мм максимальний прогин дошки товщиною $t_d = 40$ мм, після досягнення якого дошка зламається. Результати розрахунку (п. 2.2) показали, що за прийнятого початкового вигину $f_0 = 300$ мм елементи поясу прогнулися на $|Z_{\max}| = 28,23$ мм, тобто сумарний прогин $f_{\text{сум}} = f_0 + Z_{\max} = 300 + 28,23 = 328,23$ мм $< f_{\max} = 365,63$ мм \Rightarrow елементи поясів плити не зламаються як при початковому вигині, так і при прогині від найменш вигідної комбінації навантажень С2.

Проведемо дослідження плити, змінюючи початковий вигин елементів поясів плити f_0 , мм. Зі зміною початкового вигину змінюватимуться й початкові напруження в елементах поясів плити за аналогією з п. 2.4. Призначимо крок зміни початкового вигину $\Delta f_0 = 50$ мм і виконаємо перерахунок кожного варіанта в ПК SCAD.

Порівняння отриманих значень максимальних переміщень і граничного прогину представлено в таблиці 2.5. Графік залежності представлений на рис. 2.35.

Таблиця 2.5 - Залежність максимальних переміщень Z_{max} , мм, і запасу жорсткості від початкового вигину f_0 , мм

Початковий вигин елементів поясів f_0 , мм	Початкові напруження q_0 , кН/м ²	Максимальне переміщення Z_{max} , мм, максимальне переміщення Z_{max} , мм	Граничний прогин $[f]$, мм	Запас жорсткості, %	Сумарний прогин $f_{сум}$, мм	Максимальний прогин f_{max} , мм
250	0,79	-39,476	30	-32	-289,48	-365,625
275	0,869	-33,128		-10	-308,13	
300	0,948	-28,23		6	-328,23	
325	1,027	-24,373		19	-349,37	
350	1,106	-21,28		29	-371,28	

Як видно з таблиці та графіка, оптимальним є значення початкового вигину, що дорівнює 300 мм. Конструкція з таким початковим вигином має однаковий запас жорсткості. Менші значення початкових вигинів не забезпечують жорсткість під час дії навантаження (максимальні переміщення Z_{max} більші за граничний прогин $[f]$ за абсолютним значенням). Конструкція з початковим вигином поясів, що дорівнює 325 мм, має великий запас міцності, отже, проектування конструкції з таким вигином спричинить перевитрату матеріалу. Елементи поясів з великими значеннями початкового вигину зламаються від навантаження, тому що сумарний прогин $f_{сум}$ у цьому разі буде більшим від максимального прогину f_{max} , на який здатен прогнутися елемент поясу. Для подальшого дослідження приймемо початковий вигин дощок рівним $f_0 = 300$ мм.

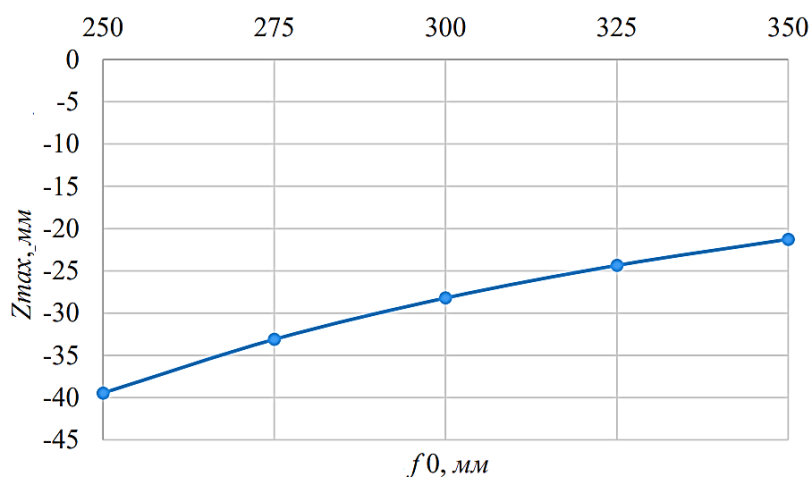


Рисунок 2.35 - Залежність максимальних переміщень Z_{max} , мм, від початкового вигину f_0 , мм

2.6 Підбір оптимальної кількості стійок

Очевидно, що встановлення додаткових стійок між верхнім і нижнім поясами плити збільшує жорсткість усїєї конструкції, і що більше стійок, то менші максимальні вертикальні переміщення. Щоб уникнути перевитрати матеріалів, слід проаналізувати вплив кількості стійок на загальну жорсткість конструкції за постійної товщини поясів та їхнього початкового вигину.

Виконаємо розрахунок у ПК SCAD, задавши кілька розрахункових схем із кількістю стійок від 2 до 5 (рис. 2.36).

Результати розрахунку з деформованою схемою і зазначенням вертикальних переміщень за Z , мм, за дії найменш сприятливої комбінації навантажень S_2 подано на рис. 2.37-2.40. Графік залежності максимальних вертикальних переміщень від кількості стійок представлено на рис. 2.41.

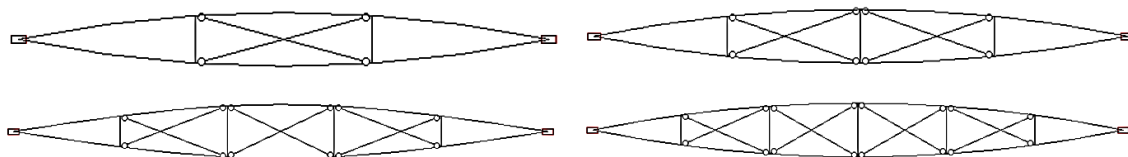


Рисунок 2.36 - Розрахункові схеми з кількістю стійок від 2 до 5 (вид збоку)

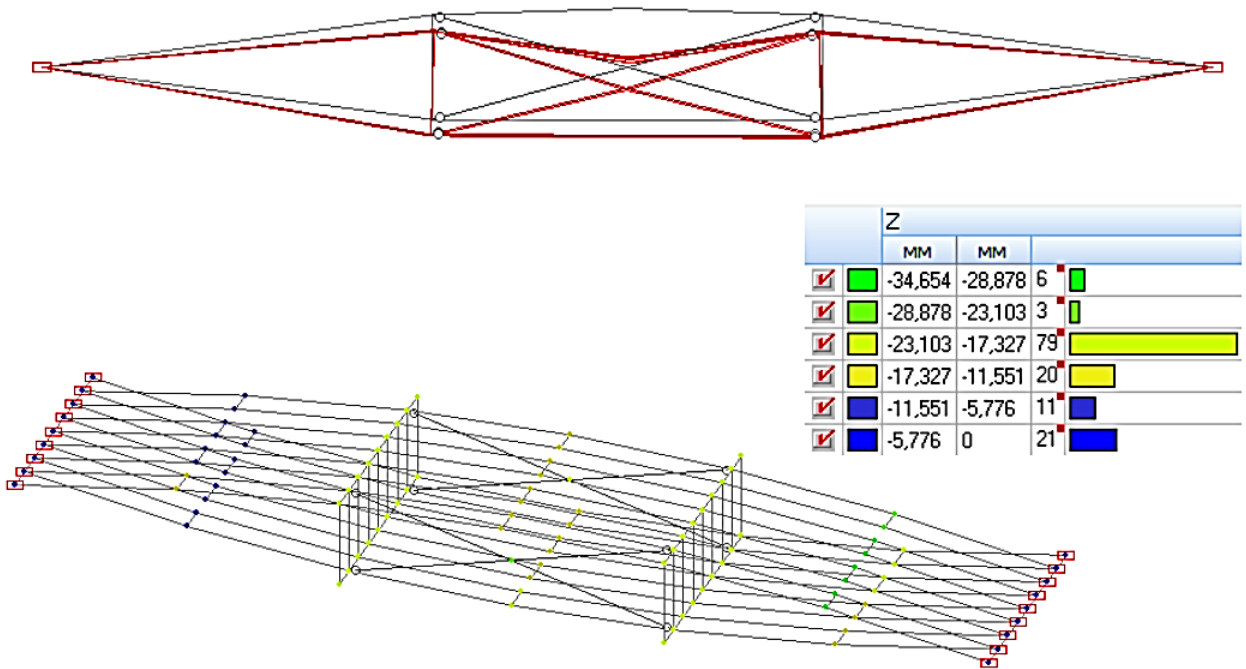


Рисунок 2.37 - Максимальні переміщення за Z, мм, від комбінації С2 упліті з кількістю стійок, що дорівнює 2

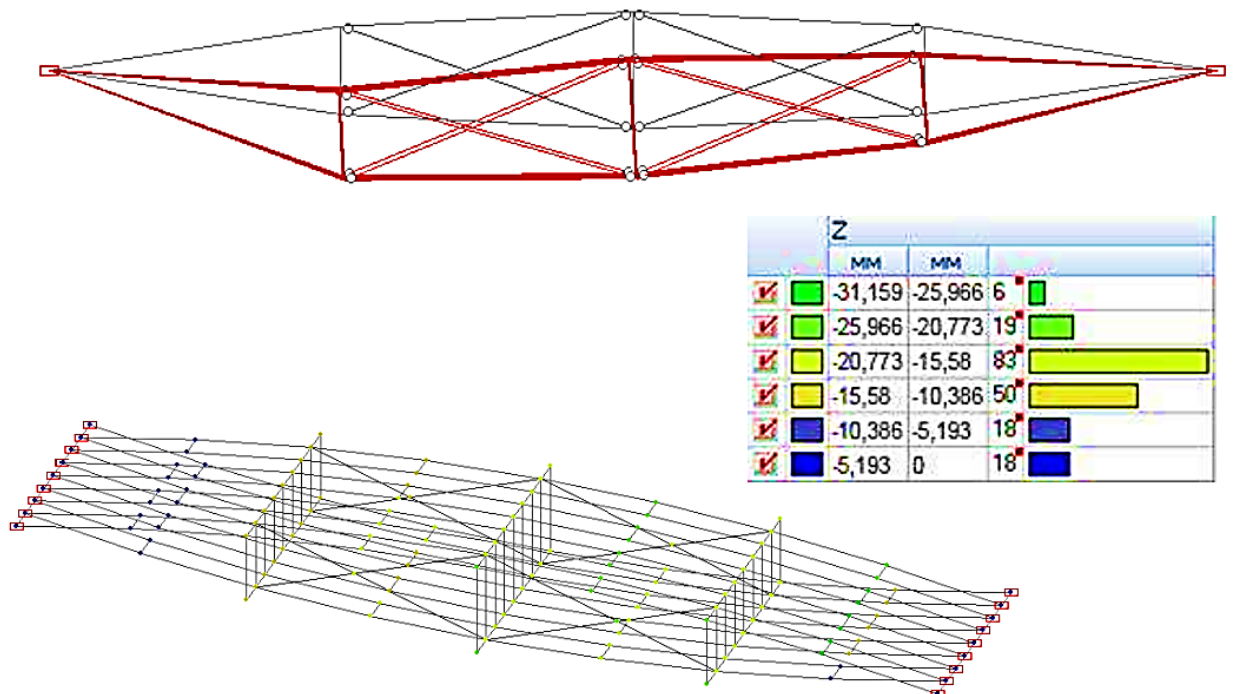


Рисунок 2.38 - Максимальні переміщення по Z, мм, від комбінації С2 упліті з кількістю стійок, що дорівнює 3

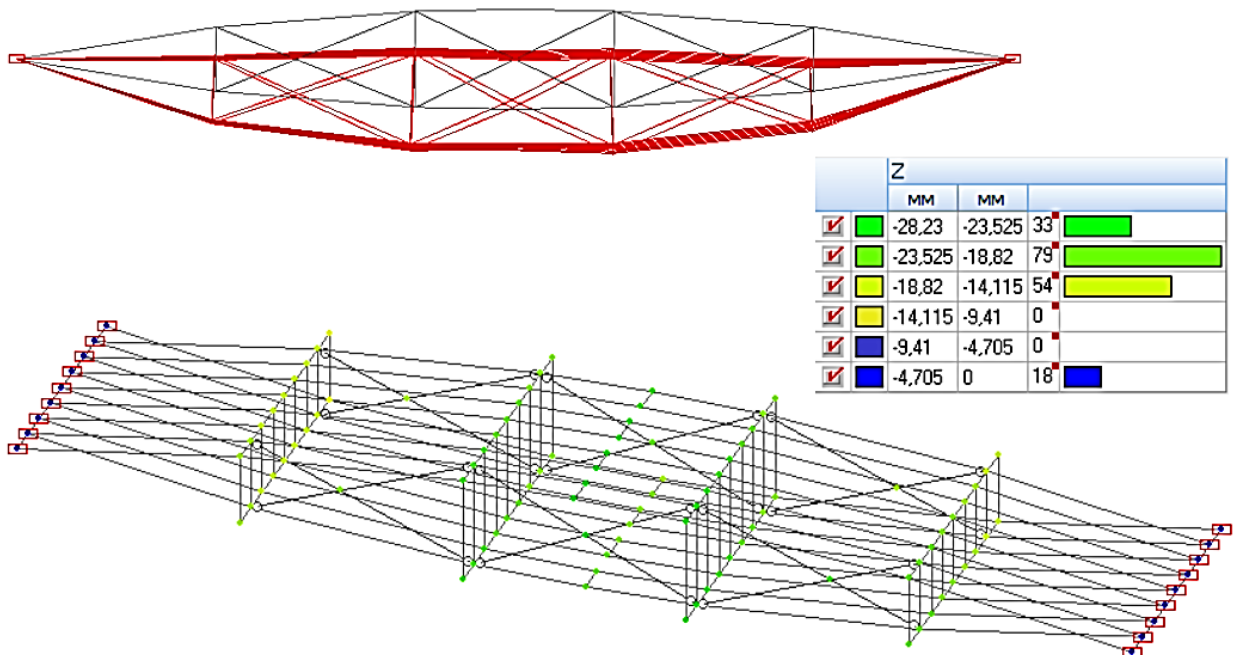


Рисунок 2.39 - Максимальні переміщення за Z, мм, від комбінації С2 упліті з кількістю стійок, що дорівнює 4

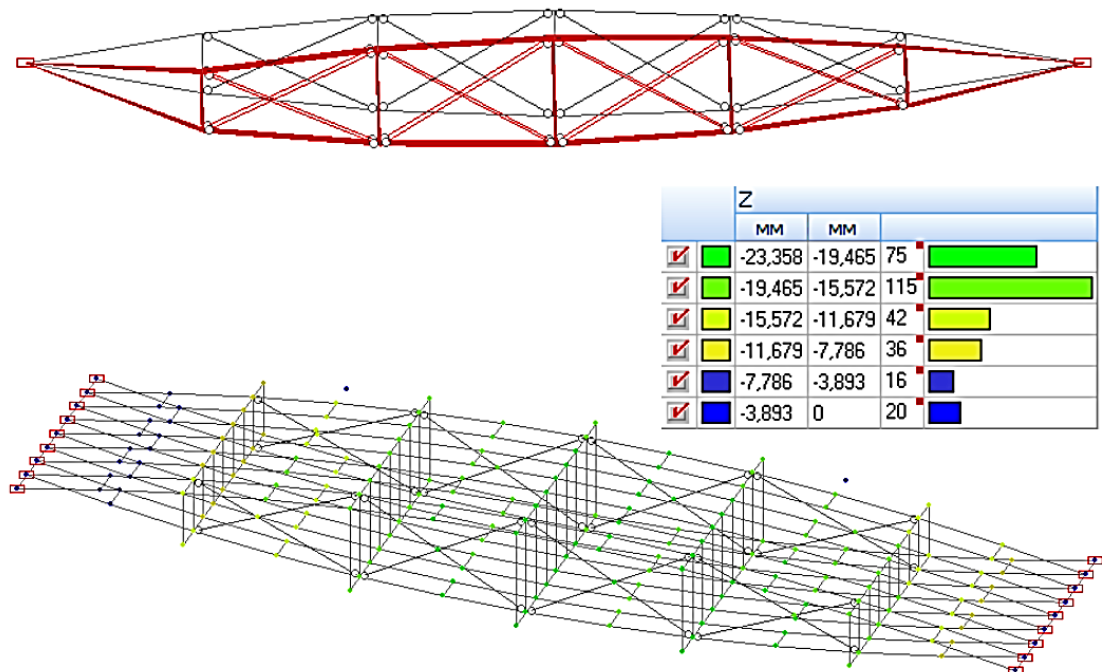


Рисунок 2.40 - Максимальні переміщення по Z, мм, від комбінації С2 у плиті з кількістю стійок, що дорівнює 5

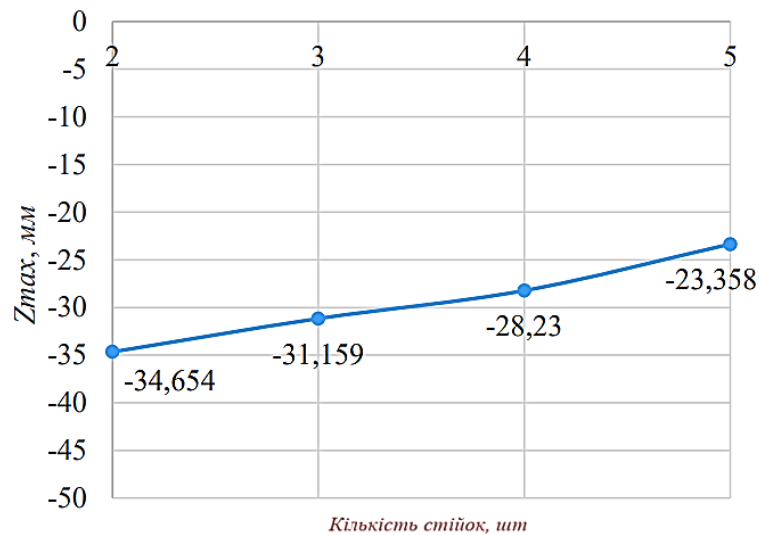


Рисунок 2.41 - Залежність максимальних переміщень Z_{max} , мм, від кількості стійок, шт

За графіком видно, що найоптимальнішим за товщини поясів $t_d = 40$ мм та їхнього початкового вигину $f_0 = 300$ мм є кількість стійок, що дорівнює 4, оскільки за двох і трьох стійок максимальний прогин більший від граничного, а за п'яти стійок - надто великий запас жорсткості (22 %), а також йде перевитрата матеріалів.

2.7 Вибір раціонального варіанта постановки зв'язків

Проаналізуємо вплив різних варіантів постановки зв'язків на загальну жорсткість плити. Прийнемо такі варіанти (див. рис. 2.42):

- варіант 1: розташування хрестових зв'язків у 3-му секторі (див. рис. 2.1.) у середині плити;
- варіант 2: розташування хрестових зв'язків у 2-му і 4-му секторах у середині плити;
- варіант 3: розташування хрестових зв'язків у 2-му, 3-му і 4-му секторах у середині плити;
- варіант 4: розташування хрестових зв'язків у 2-му, 3-му і 4-му секторах на бічних поверхнях плити;

- варіант 5: розташування просторових хрестових (у плані та на вигляді спереду) зв'язків у 2-му, 3-му і 4-му секторах.

На рис. 2.7.1 представлено схеми розташування різних варіантів зв'язків на вигляді спереду і зверху.

Результати розрахунків за всіма варіантами подано на рис. 2.43-2.47 і в табл. 2.6. Критерій - максимальні вертикальні переміщення за найнесприятливішою комбінацією С2 (з одностороннім сніговим навантаженням).

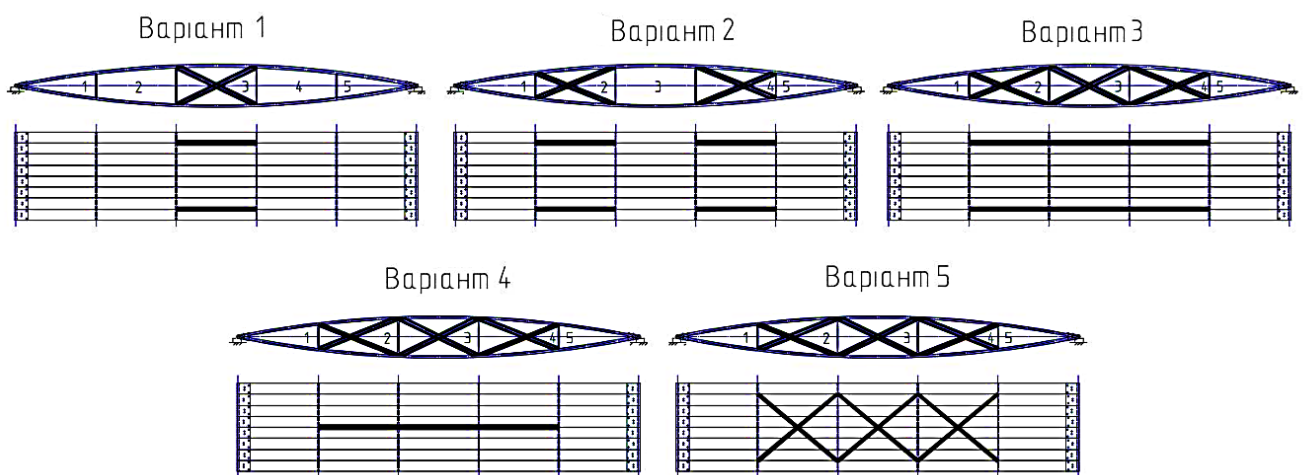


Рисунок 2.42 - Схеми розташування зв'язків

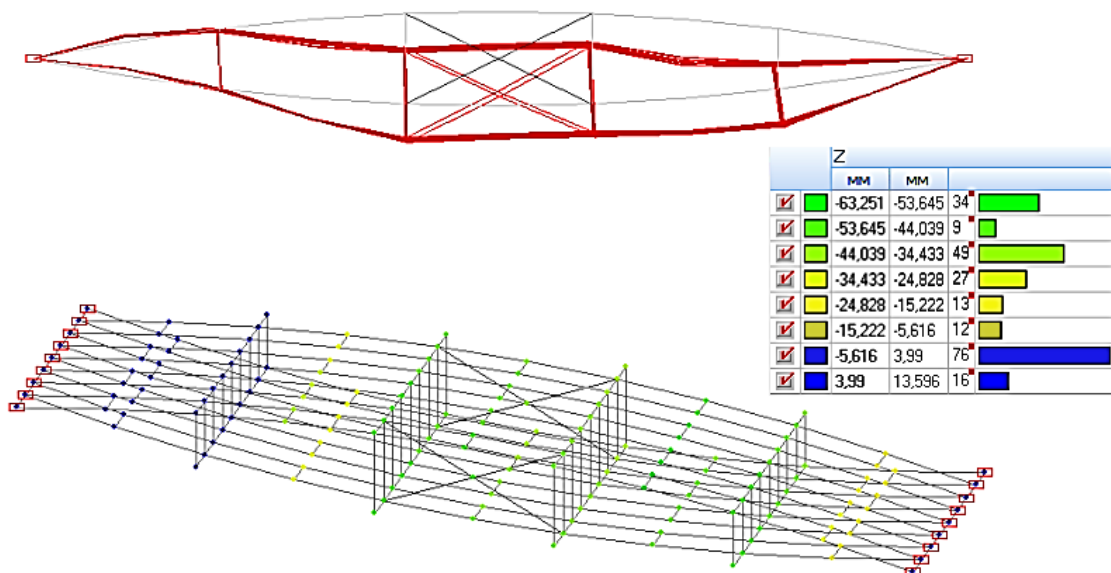


Рисунок 2.43 - Деформована схема і вертикальні переміщення по Z, мм, при комбінації С2 для Варіанта 1 розташування зв'язків

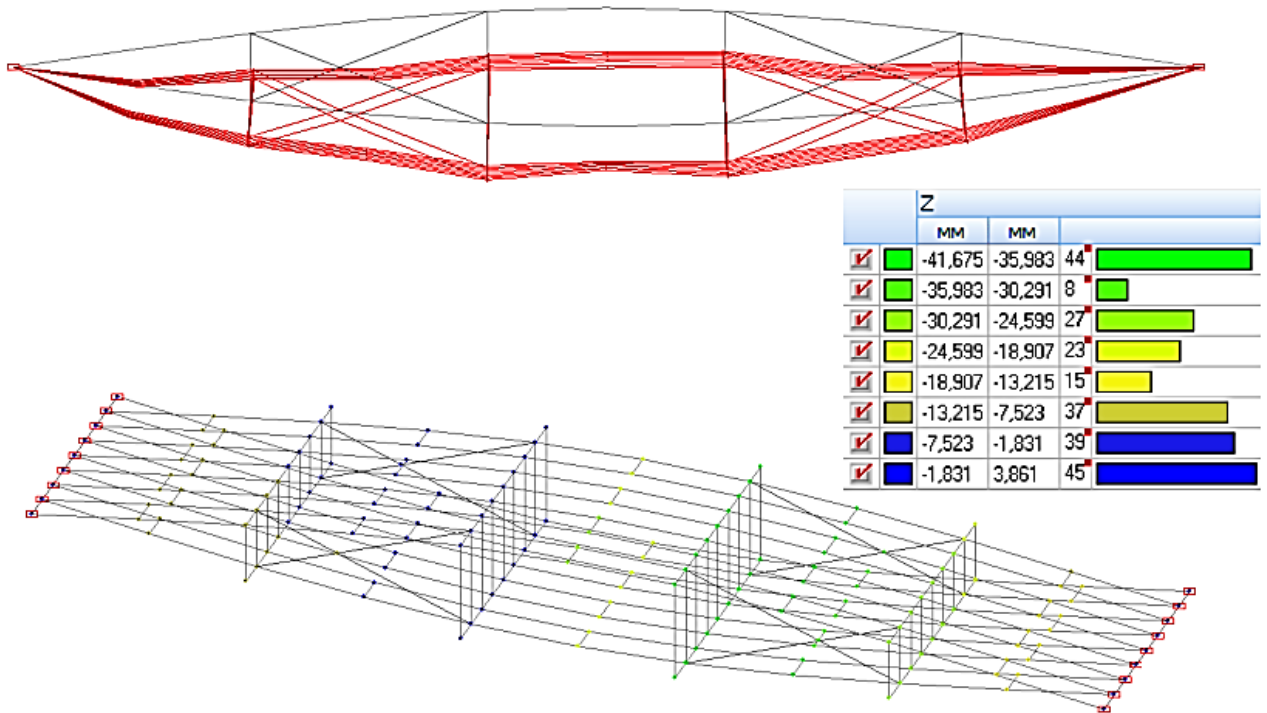


Рисунок 2.44 - Деформована схема і вертикальні переміщення по Z, мм, при комбінації С2 для Варіанта 2 розташування зв'язків

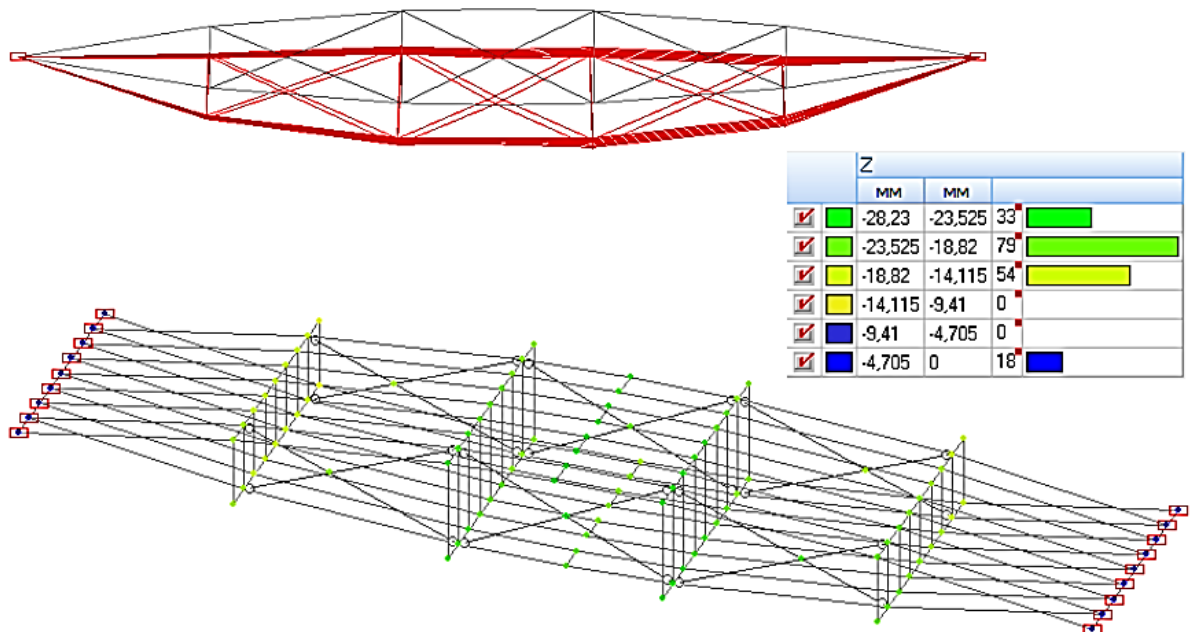


Рисунок 2.45 - Деформована схема і вертикальні переміщення по Z, мм, за комбінації С2 для Варіанта 3 розташування зв'язків

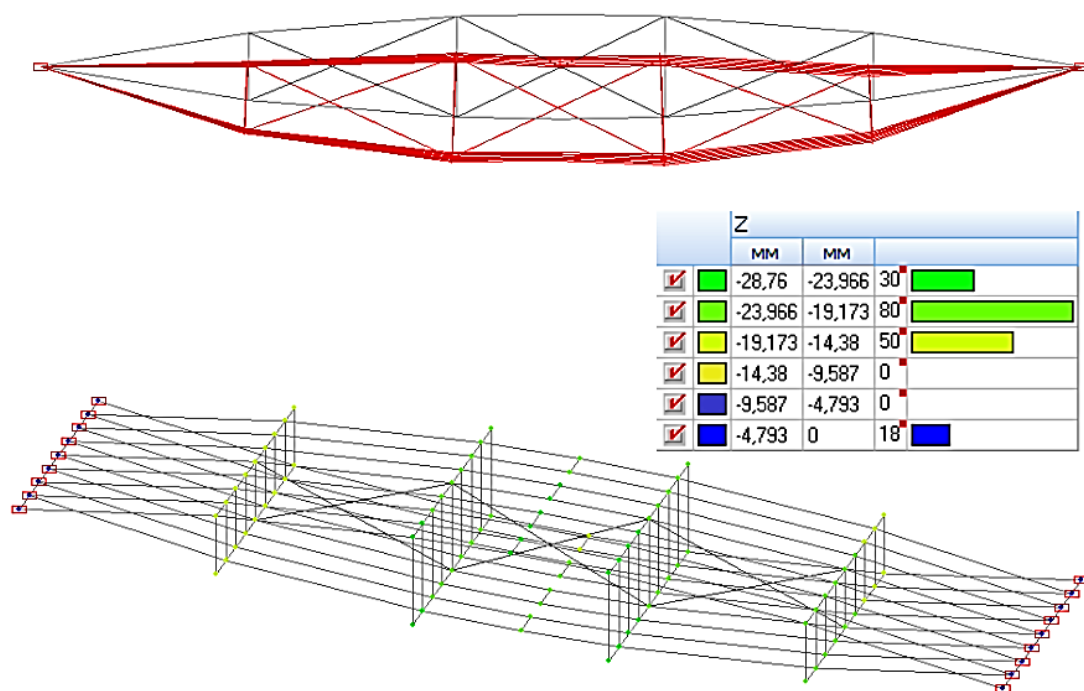


Рисунок 2.46 - Деформована схема і вертикальні переміщення по Z, мм, за комбінації С2 для Варіанта 4 розташування зв'язків

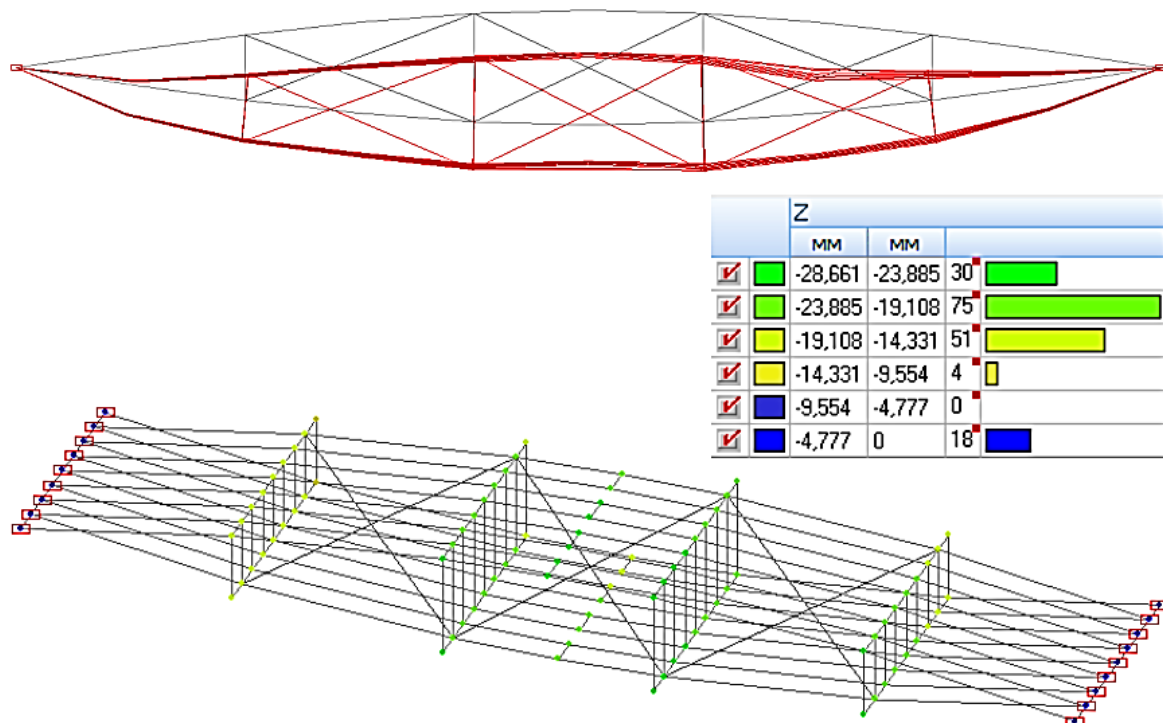


Рисунок 2.47 - Деформована схема і вертикальні переміщення по Z, мм, за комбінації С2 для Варіанта 5 розташування зв'язків

Таблиця 2.6 - Порівняння впливу варіантів постановки зв'язків на загальну жорсткість

	Варіант 1	Варіант 2	Варіант 3	Варіант 4	Варіант 5
Переміщення по Z при комбінації С2, мм	-63,251	-41,675	-28,23	-28,76	-28,661

Аналізуючи результати розрахунку, можна зробити висновок, що найоптимальнішим є 3-й варіант розташування вертикальних зв'язків, він забезпечує найменші переміщення і, отже, найбільшу жорсткість.

Таблиця 2.7 - Порівняння переміщень і зусиль після зміни перерізів

Найменування параметра	ЛПП до перерахунку	ЛПП після перерахунку	Δ , %
1	2	3	4
Максимальні переміщення за Z, мм, від комбінації навантажень С1	-27,693	-27,43	0,950
Максимальні переміщення за Z, мм, від комбінації навантажень С2	-28,23	-27,969	0,925
Максимальні стискаючі зусилля у верхньому поясі, розподілені на площу перерізу елемента поясу, від комбінації навантажень С2, кН/м ²	-2888,322	-2850,141	1,322
Максимальні розтягувальні зусилля в нижньому поясі, розподілені на площу перерізу елемента поясу, від комбінації навантажень С2, кН/м ²	2327,921	2315,413	0,537
Максимальні розподілені стискальні зусилля в шарнірно- рухомій опорі, розподілені на площу перерізу елемента поясу, від комбінації навантажень С2, кН/м ²	-2888,322	-2700,044	6,519
Максимальні розподілені розтягувальні зусилля в шарнірно-нерухомій опорі, розподілені на площу перерізу елемента поясу, від комбінації навантажень С2, кН/м ²	2109,096	2135,949	1,257
Максимальні значення перерізуючої сили Q_u , кН, у трубі за шарнірно-нерухомої опорі від комбінації навантажень С2	7,42	7,5	1,067
Максимальні зусилля, що стискають, у розкосах від комбінації навантажень С2, Н	-2388,033	-2753,058	-15,286
Максимальні розтягувальні зусилля в розкосах від комбінації навантажень С2, Н	2929,63	3215,678	-9,764
Максимальні нормальні напруження в центрах стійок від комбінації навантажень С2, кН/м ²	-528,639	-453,961	14,126

2.8 Визначення коефіцієнта подібності для зменшеної випробувальної моделі

Моделюванням називається заміщення одного об'єкта іншим з метою отримання інформації про найважливіші властивості об'єкта-оригіналу за допомогою об'єкта-моделі. Моделювання застосовують зазвичай у тих випадках, коли дослідження безпосередньо на натурному об'єкті ускладнене або небезпечне.

Фізичною моделлю можна вважати установку, в якій здійснено повне або неповне моделювання і відповідно фізичну подобу, завдяки чому за характеристиками моделі можна отримувати всі суттєві для даного завдання характеристики натурального об'єкта множенням на масштабні коефіцієнти. Фізична модель відрізняється від натурального об'єкта своїми розмірами, але процеси, що відбуваються в ній, за своєю природою не відрізняються від процесів, що відбуваються в природі (тобто це копія фізично реальної системи).

Критерії подібності процесу можна знайти, якщо відомий його математичний опис або хоча б та сукупність параметрів, якою в цьому завданні та за цих умов можна характеризувати явище, яке вивчають [10]. З погляду використання методів теорії подібності явище напружено-деформованого стану лінзоподібної плити покриття можна віднести до явища другої групи [11] - явища, вивченого настільки, що є можливість лише перелічити фізичні величини, істотні для цього явища. Такими величинами є:

- лінійні розміри, подібність яких виражає коефіцієнт подібності геометричних параметрів:
- максимальні прогини;
- максимальні зусилля.

Призначимо коефіцієнт подібності геометричних параметрів для виготовлення зменшеної моделі плити, призначеної для натурних випробувань. Відповідно до наявності необхідних матеріалів коефіцієнт подібності дорівнює $k_{\text{под.з}} = 3,33$. Відповідно, розміри зменшеної моделі становитимуть: довжина $L_n = 1,8$ м, ширина $B_n = 0,4$ м, конструктивна висота $H_n = 0,18$ м. Перетин елементів

поясів 12x50 мм (рейки). Перетин розкосів 25x25 мм. Товщина стійок $t_{ст.н} = 21$ мм обрана без прив'язки до коефіцієнта подібності виходячи з конструктивних міркувань (зручності кріплення до поясів).

Знаючи, що максимальний прогин конструкції натуральної величини дорівнює $f = Z_{max} = -28,021$ мм (див. п. 2.2), знайдемо максимальний прогин зменшеної конструкції 8, 4063 мм.

Перевіримо здатність елемента поясу прогнутися на величину, що дорівнює сумі половини величини конструктивного вигину (початкового вигину $f_{0.м} = H_M / 2 = 180 / 2 = 90$ мм) і величини знайденого максимального вигину за аналогією з п. 2.5 знайдемо максимальний прогин, на який здатна прогнутися рейка завтовшки $t_{д.м} = 12$ мм із того самого матеріалу, що й дошка конструкції в натуральну величину-109,7 мм - максимальний прогин рейки товщиною $t_{д.м} = 12$ мм, після досягнення якого вона зламається. Відповідно до критерію подібності за прийнятого початкового вигину $f_{0.м} = 90$ мм елементи поясу повинні прогнутися на $|f_M| = 8,41$ мм, тобто сумарний прогин дорівнює $f_{сум.м} = f_{0.м} + Z_{max.м} = 90 + 8,41 = 98,41$ мм $< f_{max.м} 109,7$ мм \Rightarrow

\Rightarrow елементи поясів зменшеної моделі плити не зламаються як за початкового вигину, так і за подальшого прогину від найменш вигідної комбінації навантажень С2, заданої за критерієм подібності.

Задамо розрахункову схему зменшеної моделі конструкції в ПК SCAD, відмасштабувавши розрахункову схему моделі натуральної величини з масштабним коефіцієнтом $k=0,3$ і прийнявши нові перерізи елементів.

Значення навантаження, розподіленого на площу, не змінилося порівняно з навантаженням, що моделює початкові напруги для повнорозмірної моделі. Це пов'язано з тим, що зі зміною геометричних розмірів конструкції змінилася площа дії розподіленого навантаження, але її значення залишилося тим самим.

Виконаємо розрахунок за 2-м граничним станом, підбираючи коефіцієнт подібності за навантаженням від власної ваги і домагаючись максимального прогину розрахункової схеми на $Z_{max.м} = f_M = 8,406$ мм. У першому наближенні призначимо елементам перерізи, пропорційні коефіцієнту подібності лінійних

параметрів:

- для елементів поясів перетин 12x50 мм;
- для стійок $t_{ст.м} = 6$ мм;
- для розкосів перетин 6x15 мм;
- для поперечного стрижня перетин круглої труби 12x1 мм. Результати

розрахунку подано на рис. 2.48.

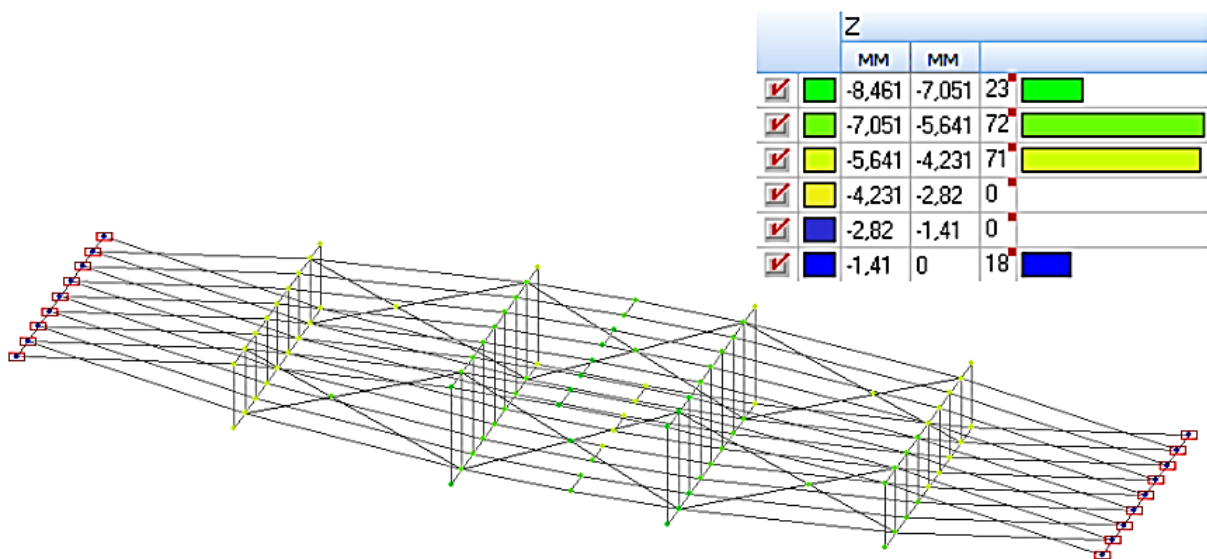


Рисунок 2.48 - Вертикальні переміщення зменшеної моделі плити від дії комбінації навантажень С2 зі зменшеними перерізами за $k_{под}$ та коефіцієнтом подібності за навантаженням, що дорівнює 1

Отриманий максимальний прогин дорівнює $-8,461$ мм, що більше максимального прогину, знайденого за формулою (2.3), на $0,055$ мм.

Похибка становить $\Delta = 0,65\%$.

У другому наближенні призначимо елементам плити перерізи, прийняті для виготовлення:

- перетин елементів поясів 12x50 мм;
- перетин стійок $t_{ст.м} = 21$ мм;
- перетин розкосів 25x25 мм;
- перетин поперечного стрижня - сталеві шпильки $d12$ мм.

Результати розрахунку подано на рис. 2.49.

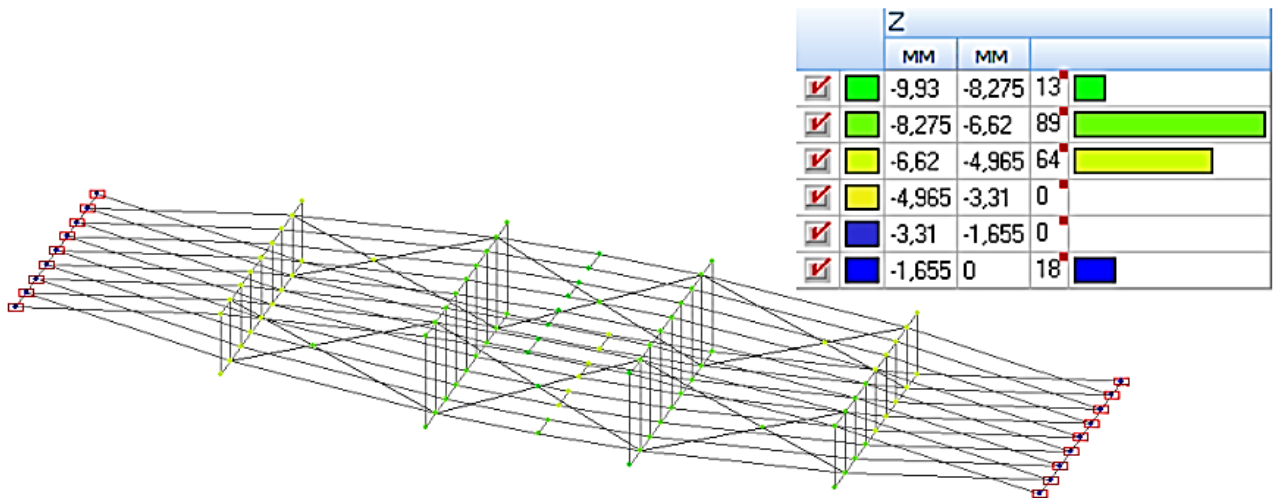


Рисунок 2.49 - Вертикальні переміщення зменшеної моделі плити віддії комбінації навантажень С2 з прийнятими перерізами та коефіцієнтом подібності за навантаженням, що дорівнює 1

Отриманий максимальний прогин дорівнює $-9,89$ мм, що більше максимального прогину, знайденого на $1,5$ мм.

Похибка становить $\Delta = 15\%$

Необхідно зменшити абсолютне значення максимального прогину на 15% , для цього призначимо сніговому навантаженню понижувальний коефіцієнт, що дорівнює $0,85$ (рис. 2.49), і виконаємо розрахунок у третьому наближенні. Результати розрахунку представлені на рис. 2.50.

Отриманий максимальний прогин дорівнює $-8,49$ мм, що більше максимального прогину, знайденого за формулою (2.9.3), на $0,12$ мм.

Похибка становить :

$\Delta = 1\%$.

Подальший розрахунок елементів зменшеної моделі плити на несучу здатність здійснюватимемо з урахуванням понижувального коефіцієнта для одностороннього снігового навантаження. Приведення навантаження до випробувального також буде проводитися з урахуванням цього коефіцієнта.

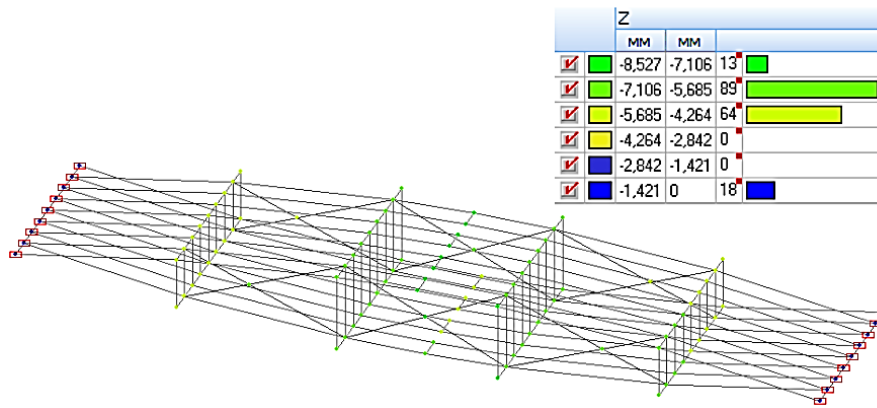


Рисунок 2.50 - Вертикальні переміщення зменшеної моделі плитивід С2 з прийнятими перерізами та $k_{\text{под}} = 1$

2.8.1 Перевірка стійкості, жорсткості та міцності зменшеної моделі

Поля напружень N_x , кН/м^2 , отримані в результаті розрахунку зменшеної моделі плити в ПК SCAD за 1-им граничним станом під час дії найменш сприятливої комбінації навантажень С2 з урахуванням понижувального коефіцієнта, подано на рис. 2.51.

Перевірка стійкості верхнього поясу.

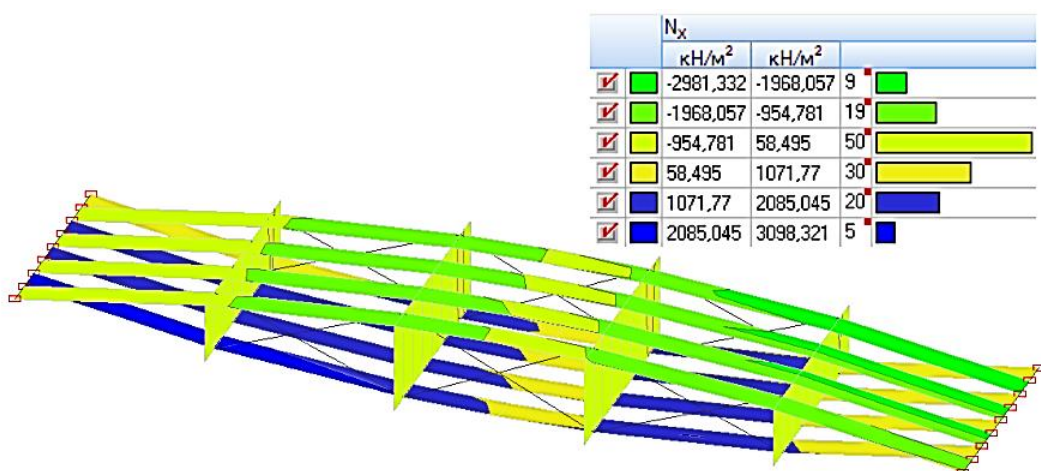


Рисунок 2.51 - Поля напружень N_x , кН/м^2 , у зменшеній моделі плити задії С2

Відповідно до рис. 2.52-2.53 визначимо розрахунковий згинальний момент M у перерізі, момент M_d , коефіцієнт k_ϕ , що залежить від епюри згинальних моментів на ділянці l_p , і коефіцієнт ϕ_m для згинальних елементів прямокутного постійного поперечного перерізу.

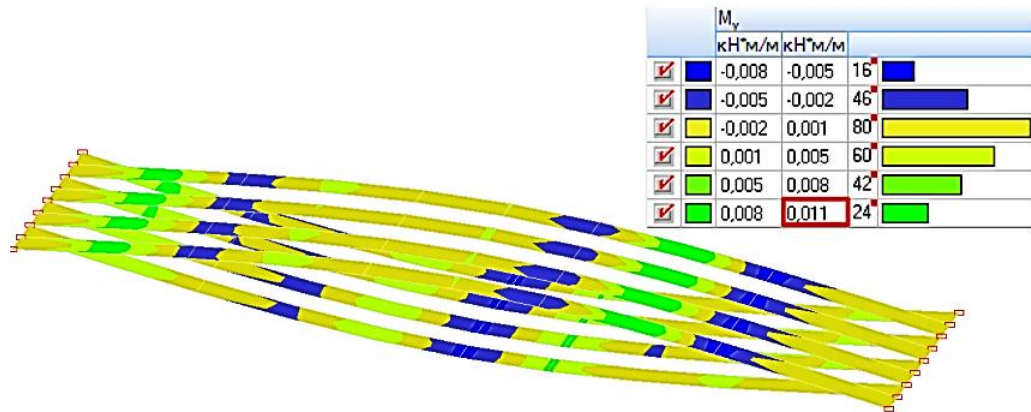


Рисунок 2.52 - Поля M_y у поясах зменшеної моделі від комбінації С2, кНм/м

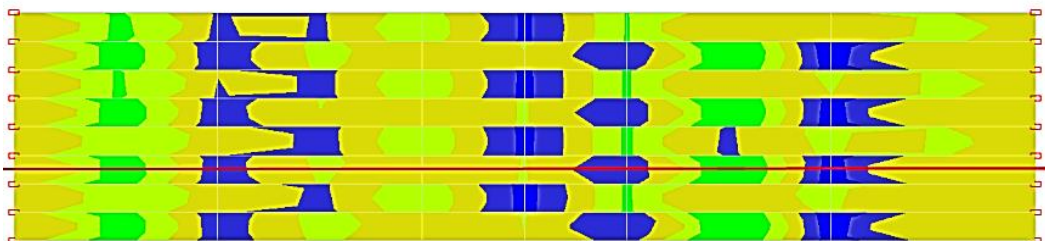


Рисунок 2.53 - Поля M_y у поясах зменшеної моделі від комбінації С2, кНм/м, вид згори, і січна для побудови епюр напружень уздовж неї

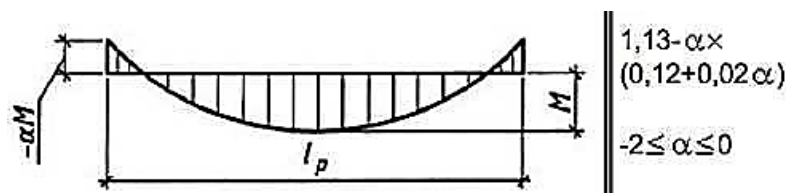


Рисунок 2.54 - Значення коефіцієнта k_ϕ у разі закріплення тільки по кінцях ділянки

l_p

РОЗДІЛ 3

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Випробування наконечника з болтовим з'єднанням на розтягнення

Було проведено випробування наконечника елемента поясу зменшеної моделі плити на розтягнення з метою виявлення критичного навантаження, за якого відбудеться сколювання деревини за перерізом, ослабленим болтами.

Завантаження відбувалося з використанням бетонних блоків розмірами 100x400x600 мм масою 60 кг, а також повнотілої глиняної цегли середньою масою 3,3 кг. Навантаження відбувалося поетапно (наведені значення обчислено без урахування стропів і стропувальних пристосувань):

1. етап - 1 плита = 58,9 кг;
2. етап - 1 плита і 3 цеглини = $60 + 3 \cdot 3,3 = 67,8$ кг;
3. етап - 1 плита і 6 цеглин = $60 + 6 \cdot 3,3 = 79,7$ кг;
4. етап - 1 плита і 9 цеглин = $60 + 9 \cdot 3,3 = 88,9$ кг;
5. етап - 1 плита і 12 цеглин = $60 + 12 \cdot 3,3 = 99,1$ кг;
6. етап - 1 плита і 15 цеглин = $60 + 15 \cdot 3,3 = 108,9$ кг.

Далі сходинки повторювалися: цеглу прибирали і замість неї укладали наступну плиту.

Після завантаження кожним ступенем з'єднання витримували протягом 2 хвилин. Навантажений наконечник піднімали за допомогою гака кран-балки на відстань близько 300-400 мм (щоб уникнути раптового руйнування наконечника під час витримання).

Руйнування сталося в момент, коли до наконечника було підвішено 6 бетонних блоків і 3 цеглини (миттєво). З урахуванням маси стропів загальне навантаження на наконечник склало $1 + 45 + 6 \cdot 60 + 3 \cdot 3,3 = 415,9$ кг.

3.2 Цілі, методика і зміст випробувань

Було поставлено такі цілі проведення випробувань зменшеної моделі просторової плити покриття:

- встановити взаємозв'язок між чисельними розрахунками та експериментальними дослідженнями на підставі критерію подібності;
- виявити можливість використання прийнятої системи для розроблення несучих конструкцій покриття;
- визначити переміщення характерних точок конструкції при статичному розподіленому рівно- і односторонньому навантаженнях;
- вивчити характер і особливості розподілу нормальних напружень у різних перерізах верхнього поясу;
- встановити граничну несучу здатність конструкції. Для оцінки НДС моделі в процесі випробування визначали:
- встановити лінію прогинів нижнього поясу;
- виявити відносні деформації, а за ними напруження в характерному перерізі елементів моделі.

Лінію прогинів будували на підставі вимірювань прогиномірів 6-ПАО з ціною поділки 0,01 мм.

Горизонтальні переміщення шарнірно-рухомої опори фіксували індикаторами годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм.

Відносні деформації в елементах моделі вимірювали фольговими поодинокими тензорезисторними датчиками з константовим дротом.

Модель випробовували на дію як розподіленого рівностороннього навантаження, що моделює варіант 1 снігового навантаження, так і одностороннього навантаження (варіант 2 снігового навантаження) у поєднанні з рівномірно-розподіленим навантаженням від утеплювача і покриття. Навантаження створювалося штучним матеріалом - цеглою глиняною повнотілою масою 4,5 кг. Для більш рівномірного розподілу навантаження використовували тонкий фанерний лист завтовшки 5 мм, який укладали на модель, а зверху на

нього укладали цеглу.

Під час проведення випробувань дотримувалися таких умов:

- навантаження прикладали однаковими ступенями в приблизно рівні проміжки часу (1-5 хв);
- випробувальну модель витримували після навантаження кожною сходинкою навантаження приблизно однаковий час, що перевищує час прикладання сходинки навантаження в 3-6 разів (15-25 хв), для стабілізації деформацій і загасання всіх локальних ефектів, після чого знімали показання всіх вимірювальних приладів [13];

Перший етап навантаження було докладено двічі (завантаження до 3-го етапу, розвантаження і повторне завантаження з подальшим дотриманням ступенів та етапності докладання навантаження і вимірами прогинів і деформацій) з метою осадження конструкції (вибору зазорів і т.д.).

Протягом випробувань проводилося спостереження за станом випробувальної моделі.

Навантаження рівностороннім навантаженням на 1-му етапі здійснювали ступінчасто зі ступенем навантаження, що дорівнює 25% від нормативного, тобто в 4 ступені, причому на 3-му ступені відбувалося розвантаження та повторне навантаження з дотриманням ступінчастості прикладання навантаження [13]. Знімалися показання приладів. Далі відбувалося навантаження зі зростанням навантаження до розрахункового (2 етап) у 2 ступені. Після досягнення розрахункового значення рівностороннього навантаження знімалися показання приладів і відбувалося розвантаження моделі.

Навантаження одностороннім навантаженням (3-ий етап) здійснювалося зі ступенем навантаження, що дорівнює 25% від нормативного, тобто в 4 ступені. Знімалися показання приладів. Далі відбувалося навантаження зі зростанням навантаження до розрахункового (4 етап) у 2 ступені. Після досягнення розрахункового значення одностороннього навантаження знімалися показання приладів і відбувалося подальше завантаження зі збільшенням розрахункового навантаження на 24,7 % на 2 етапі. Далі випробування було припинено.

Вимірювання вертикальних і горизонтальних переміщень проводилося:

- безпосередньо перед початком кожного навантаження наступного етапу;
- відразу після навантаження.

Тривалість зняття відліків за прогиномірами становила до 2 хв. Зняття показань за тензорезисторами відбувалося безперервно й автоматично. Після закінчення випробувань проводилося оброблення масиву отриманих даних змін показань тензорезисторів.

3.3 Опис установки для випробувальної моделі

Зменшена модель лінзоподібної плити покриття з дерев'яних смугових елементів була зібрана для випробувань при рівносторонньому навантаженні - при дії нормативного навантаження, що становить $1,6 \text{ кН/м}^2$. Розрахункове навантаження становить $2,35 \text{ кН/м}^2$;

У разі одностороннього навантаження - під час дії нормативного навантаження, що становить $1,19 \text{ кН/м}^2$ з менш навантаженого боку (ближче до шарнірно-нерухомої опори) та $2,05 \text{ кН/м}^2$ з більш навантаженого боку (ближче до шарнірно-рухомої опори). Розрахункове навантаження становить $1,68 \text{ кН/м}^2$ з менш навантаженого боку і $2,89 \text{ кН/м}^2$ з більш навантаженого боку.

Модель плити спиралася на бруски, бруски були закріплені на металевих триногах. Таким чином, було забезпечено піднесене положення моделі плити: модель перебувала на відстані 1,3 м від поверхні землі. Модель було прикріплено до металевої триноги за допомогою хомутів із дроту з метою запобігання переміщенню триног у горизонтальному напрямку. З боку шарнірно-рухомої опори хомути були затягнуті слабкіше для забезпечення можливих горизонтальних переміщень моделі.

Між триногами було поставлено стіл заввишки 800 мм, завдовжки 1200 мм і завширшки 600 мм, зверху на нього було покладено шар мінеральної вати для пом'якшення падіння моделі плити в разі можливого передчасного руйнування.

Прогиноміри в кількості 8 шт. були встановлені на столі між триногами. На торцях стійок були висвердлені отвори глибиною 5-6 мм і діаметром 8,1 мм, в які були вбиті шпильки діаметром 8 мм. Сталевий дріт із вантажем було зафіксовано на шпильках по обидва боки моделі так, щоб проходити через прогиноміри.

Індикатор годинникового типу в кількості 1 шт. був закріплений посередині моделі плити біля шарнірно-рухомої опори до елемента верхнього поясу з упором рухомого стрижня в нерухому опору (триногу).

Тензорезистори в кількості 4 шт. було розташовано з боку, більш навантаженого під час навантаження одностороннім навантаженням (ближче до шарнірно-нерухомої опори). Кабель із проводами, припаяними до тензорезисторів, під час випробувань перебував у підвішеному стані, щоб уникнути заземлення і появи перешкод під час вимірювання показань тензорезисторів.

Під час обчислення навантаження, необхідного для завантаження, враховано понижувальний коефіцієнт подібності навантаження, що дорівнює 0,85 (див. п. 2.9), і розподіл навантаження між елементами верхнього поясу.

3.4 Результати випробувань

Показання прогиномірів та індикатора годинникового типу не приводили в положення нуля, відносні прогини і горизонтальне переміщення обчислювали різницею початкового і кінцевого показань приладу.

За показаннями тензорезисторів обчислювали відносні зміни напружень за допомогою різниці початкового і кінцевого значень.

Схема моделі з позначенням сторін для побудови лінії прогинів показана на рис. 3.1 Лінії прогинів побудовані по ближній, дальній і середній сторонах моделі плити під час дії нормативного навантаження для обох завантажень і представлені на рис. 3.2-3.7.

Результати вимірювань тензорезисторів показано на рис. 3.8-3.9.

Перехід напружень від розмірності [кгс/мм²], прийнятої програмою, до

розмірності [МПа] відбувався за допомогою множення на прискорення вільного падіння, що дорівнює $9,81 \text{ м/с}^2$.

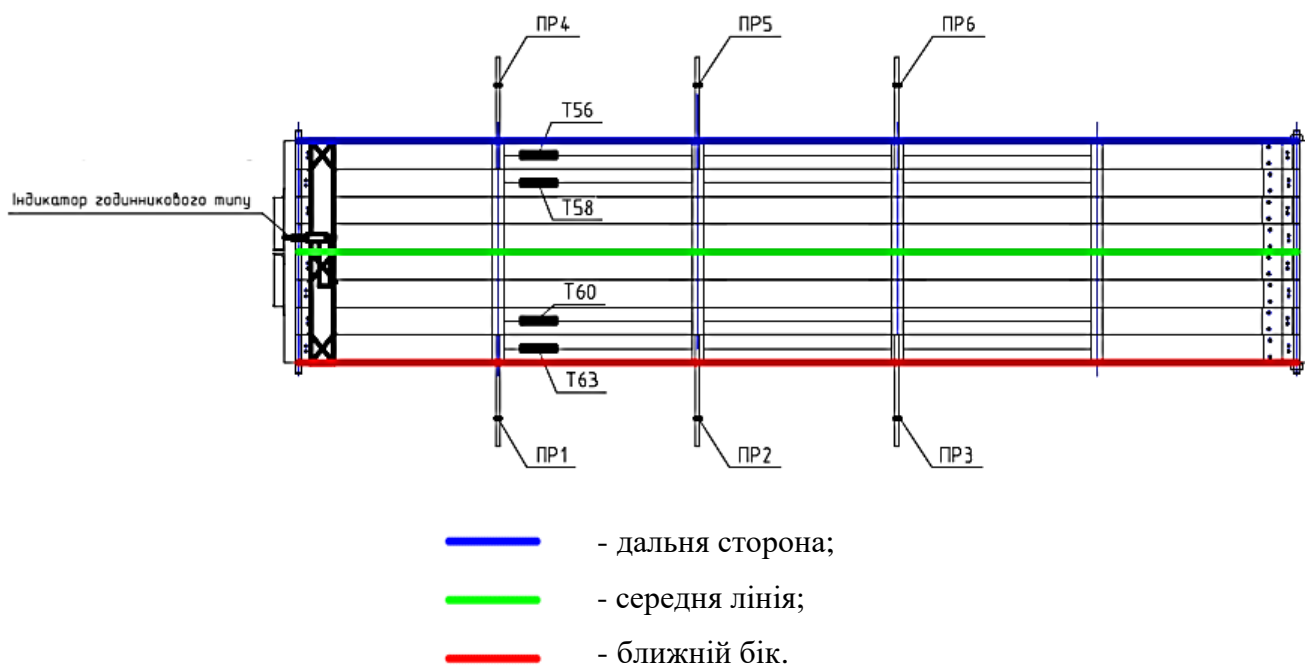
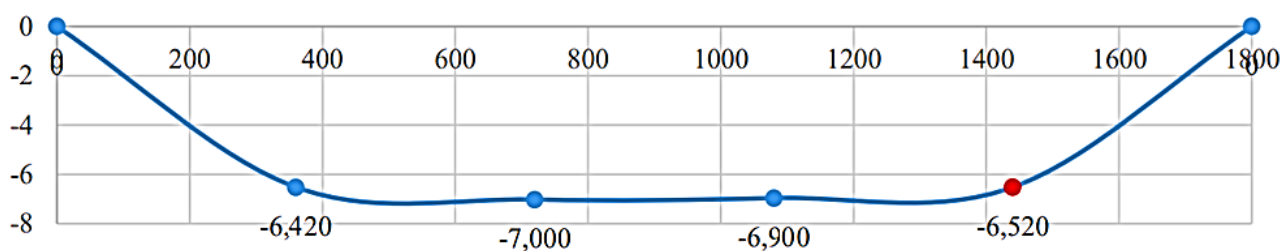
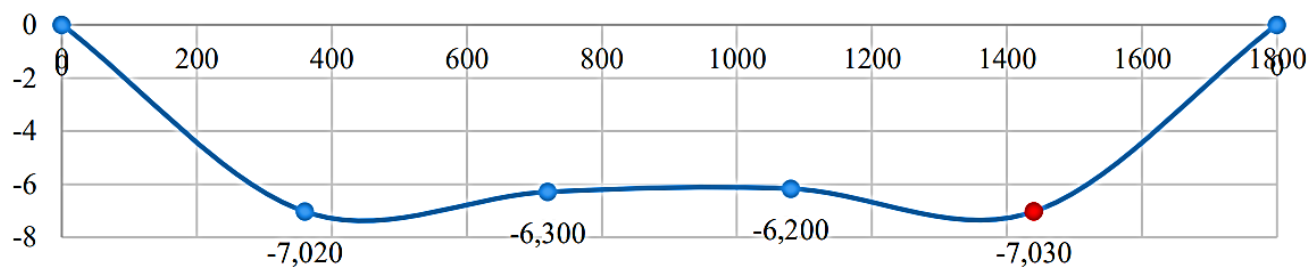


Рисунок 3.1 - Схема моделі плити з розташуванням приладів і позначенням ліній побудови прогинів



- точка, побудована дзеркально.

Рисунок 3.2 - Лінія прогинів у разі рівностороннього завантаження $q_{\text{норм}}$, мм, ближня грань



- точка, побудована дзеркально.

Рисунок 3.3 - Лінія прогинів у разі рівностороннього завантаження $q_{\text{норм}}$, мм,
далека грань

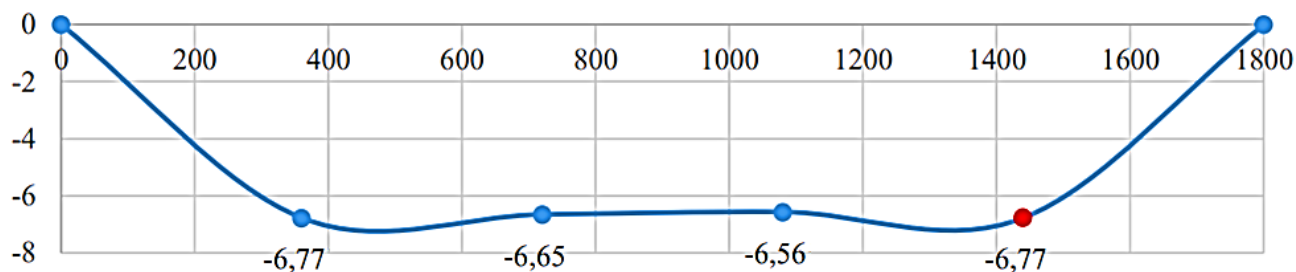


Рисунок 3.4 - Лінія прогинів у разі рівностороннього завантаження $q_{\text{норм}}$, мм

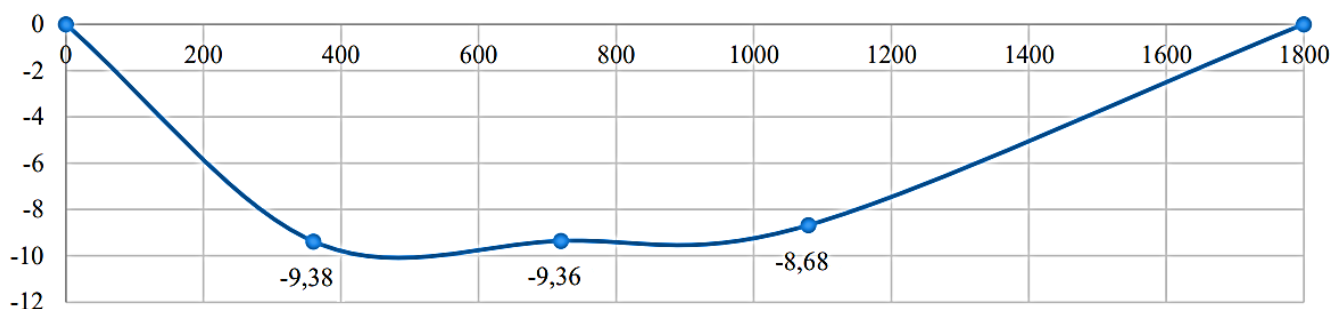


Рисунок 3.5 - Лінія прогинів у разі одностороннього завантаження $q_{\text{норм}}$, мм,
ближня грань

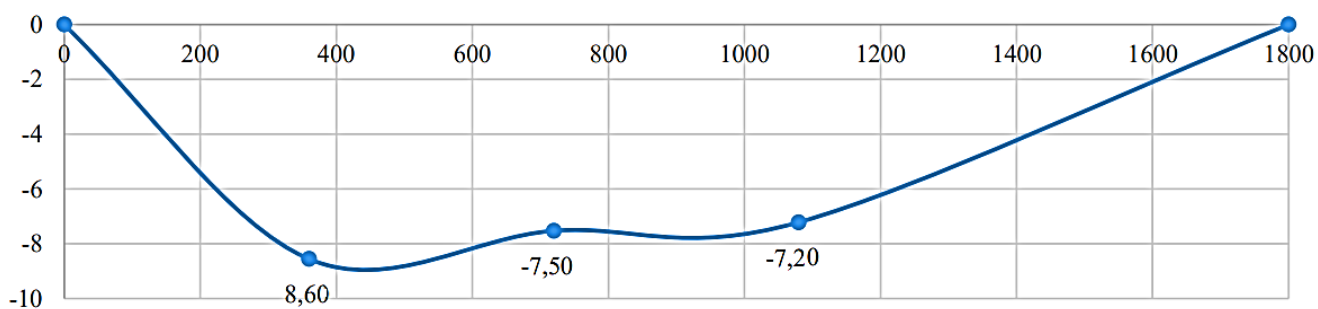


Рисунок 3.6 - Лінія прогинів у разі одностороннього завантаження $Q_{\text{норм}}$, мм, дальня грань

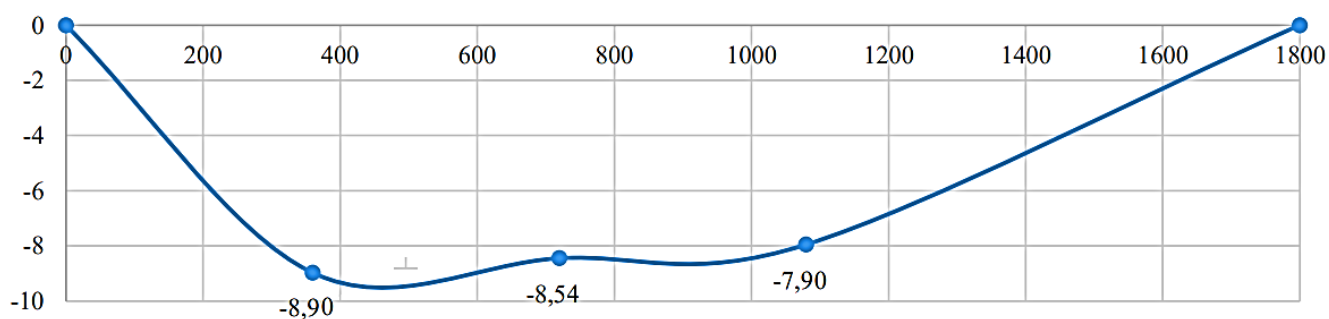


Рисунок 3.7 - Лінія прогинів у разі одностороннього завантаження $Q_{\text{норм}}$

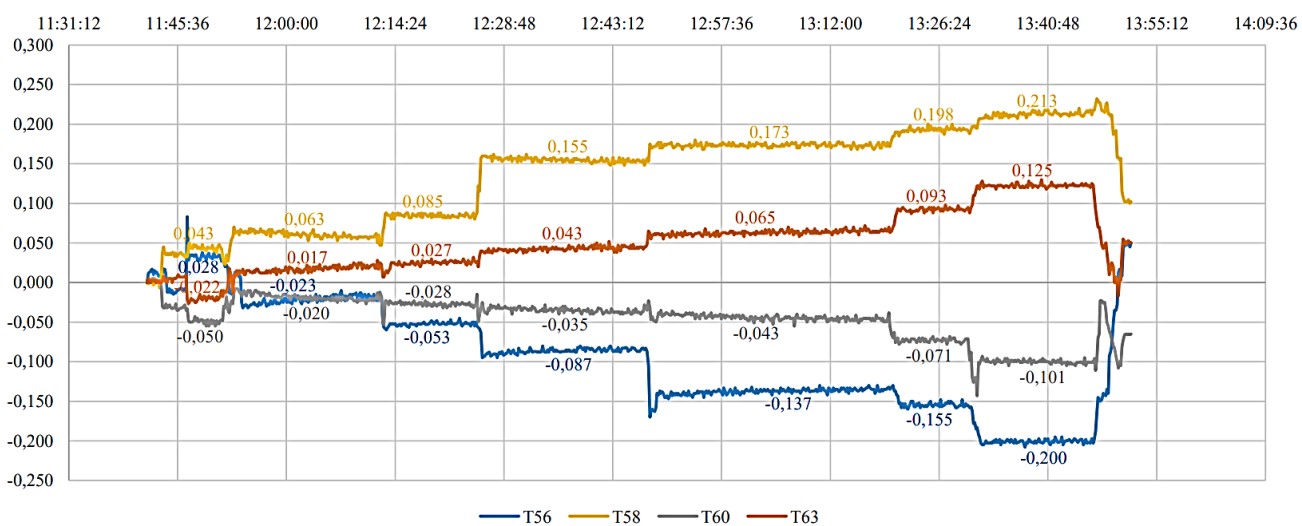


Рисунок 3.8 - Напруги в тензорезисторах при рівносторонньому навантаженні (C_1), кгс/мм²

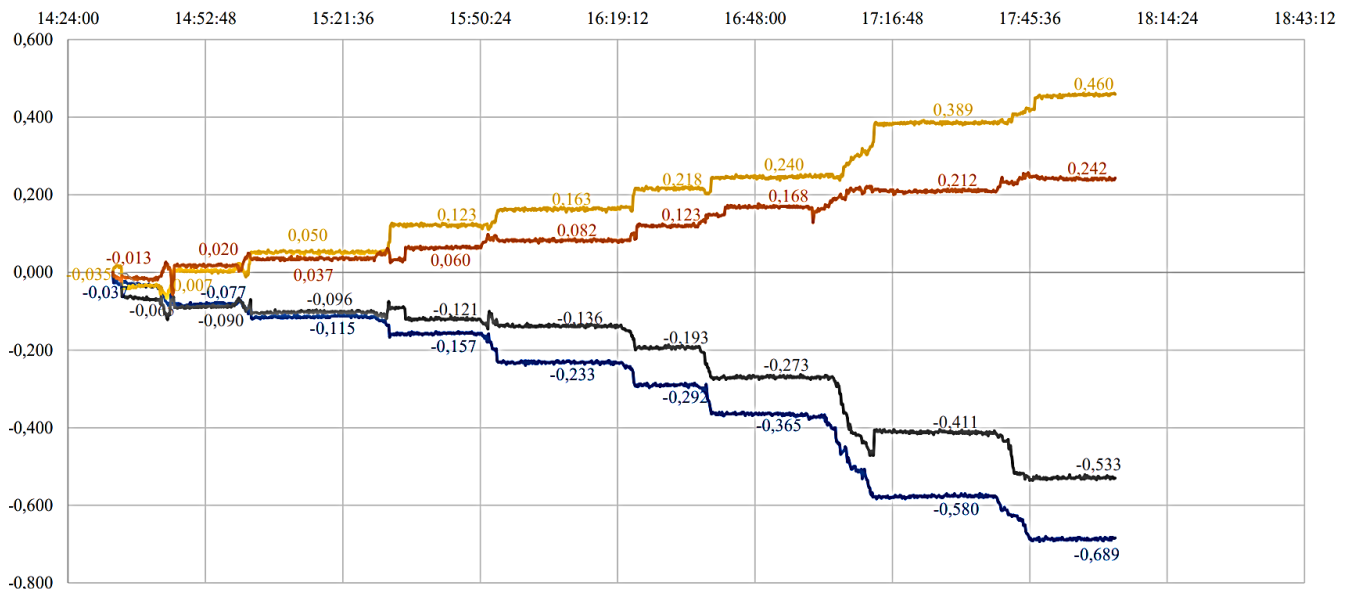


Рисунок 3.9 - Напруги в тензорезисторах за одностороннього навантаження (C2),
кгс/мм²

3.5 Аналіз отриманих результатів

Аналізуючи отримані графіки зміни прогинів, можна зробити висновок, що модель перекошує. Такий самий ефект спостерігається і в результатах чисельних експериментів. Це можна пояснити несиметричністю розташування поясів: за шириною модель починається елементом верхнього поясу, а закінчується елементом нижнього поясу. Вибір схеми з несиметричним розташуванням елементів поясів як у зменшеній моделі, так і в натурній конструкції зумовлений тим, що в такий спосіб простіше розташовувати плити за порядком уздовж прольоту будівлі. Завдяки покриттю навантаження буде частково перерозподілятися на сусідні плити, і перекіс буде мінімізовано. Очевидно також, що симетричне розташування елементів поясів, коли плита починається і закінчується елементом верхнього поясу або елементом нижнього поясу, виключає перекіс.

Також спостерігається невеликий вигин посередині моделі конструкції (менше 1 мм). Такий самий ефект спостерігається і в результатах чисельних експериментів і зумовлений арочною формою поясів: під час впливу

навантаження верхній пояс прогинається донизу в крайніх секторах, але вигинається догори в середньому секторі та "тягне" нижній пояс у середньому секторі догори через стійки.

Таблиця 3.1 - Аналіз результатів розрахунку та випробування

Найменування показника	Результати чисельного експерименту	Результати випробування	Відсоток розбіжності
$f_{\text{норм}}$ від С1, мм	-8,454	-7,03	17
$f_{\text{норм}}$ від С2, мм	-8,527	-7,42	13
$f_{\text{розр}}$ від С1, мм	-11,392	-9,83	14
$f_{\text{розр}}$ від С2, мм	-11,814	-11,50	3
$X_{\text{норм}}$ від С1, мм	0,381	0,45	15
$X_{\text{норм}}$ від С2, мм	0,35	0,420	17
$X_{\text{розр}}$ від С1, мм	0,545	0,66	17
$X_{\text{розр}}$ від С2, мм	0,501	0,550	9
$\sigma_x(T56)_{\text{норм}}$ від С1, МПа	-1,326	-1,465	9
$\sigma_x(T58)_{\text{норм}}$ від С1, МПа	1,482	1,724	14
$\sigma_x(T60)_{\text{норм}}$ від С1, МПа	-0,428	-0,468	8
$\sigma_x(T63)_{\text{норм}}$ від С1, МПа	0,520	0,573	9
$\sigma_x(T56)_{\text{норм}}$ від С2, МПа	-1,74	-1,95	11
$\sigma_x(T58)_{\text{норм}}$ від С2, МПа	1,733	1,894	9
$\sigma_x(T60)_{\text{норм}}$ від С2, МПа	-0,583	-0,695	16
$\sigma_x(T63)_{\text{норм}}$ від С2, МПа	0,885	0,924	4
$\sigma_x(T56)$ розрахунок від С1, МПа	-1,844	-2,090	12
$\sigma_x(T58)$ розрахунок від С1, МПа	1,843	2,105	12
$\sigma_x(T60)$ розрахунок від С1, МПа	-0,859	-1,010	15
$\sigma_x(T63)$ розрахунок від С1, МПа	1,064	1,152	8
$\sigma_x(T56)$ розрахунок від С2, МПа	-3,003	-3,27	8
$\sigma_x(T58)$ розрахунок від С2, МПа	2,574	2,708	5
$\sigma_x(T60)$ розрахунок від С2, МПа	-1,704	-1,99	14
$\sigma_x(T63)$ розр від С2, МПа	1,528	1,76	13

Примітки до табл. 3.1:

1 - у результатах чисельного експерименту наведені стискальні напруження на нижньому волокні та розтягувальні напруження на верхньому волокні відповідно до специфіки розташування тензорезисторів.

2 - у таблиці наведено максимальні прогини як за чисельним експериментом, так і у випробуванні.

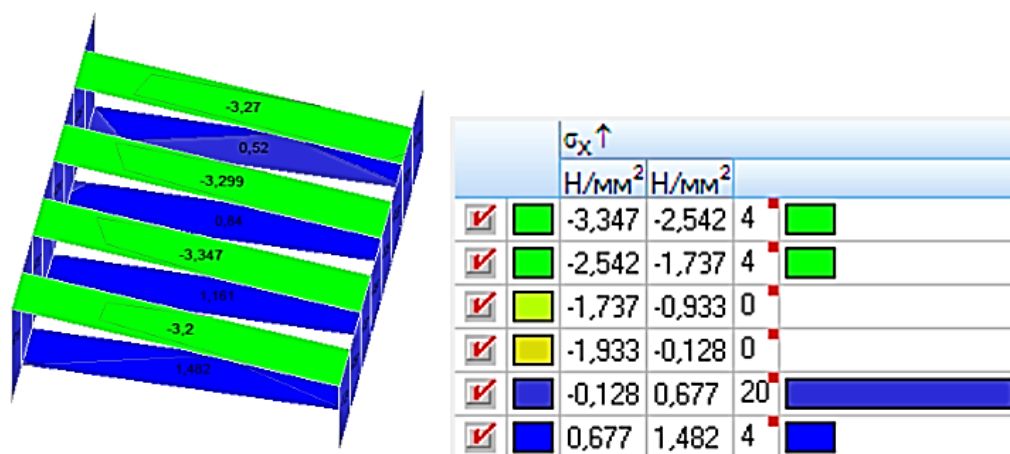


Рисунок 3.10 - Поля напружень σ_x , МПа, на верхніх волокнах у місці розташування тензорезисторів за комбінації С1 і $q_{\text{норм}}$

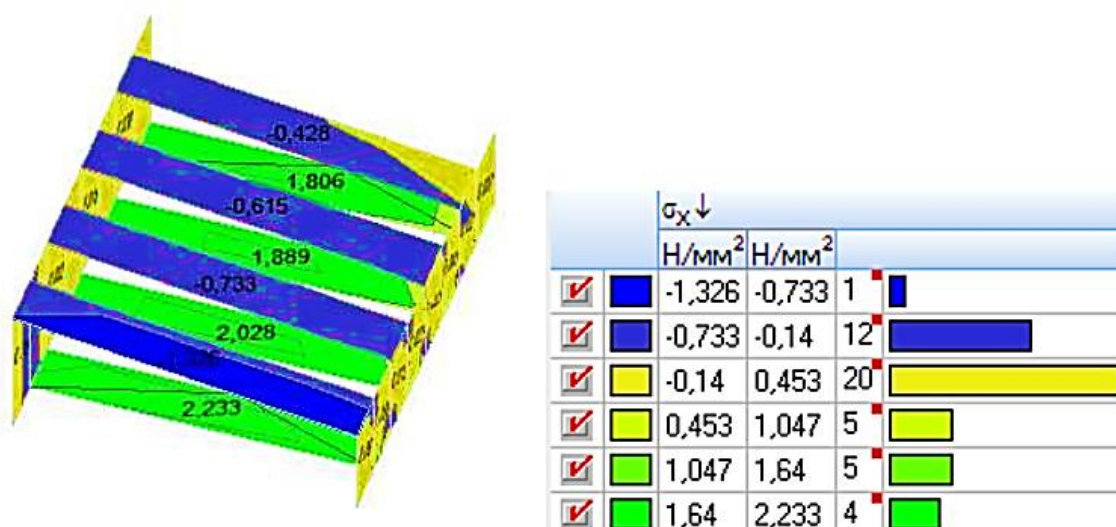


Рисунок 3.11 - Поля напружень σ_x , МПа, на нижніх волокнах у місці розташування тензорезисторів за комбінації С1 і $q_{\text{норм}}$

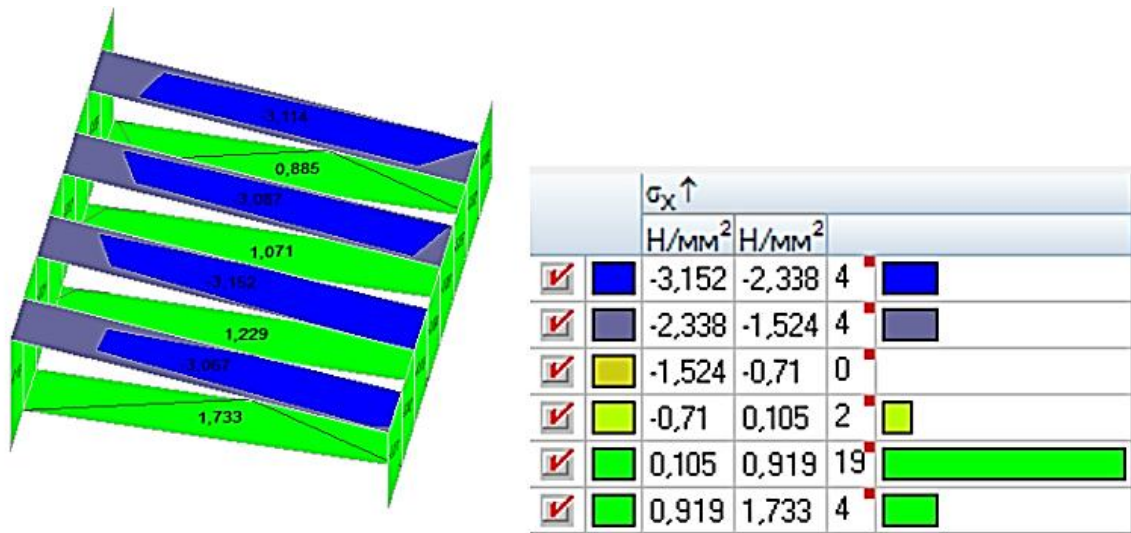


Рисунок 3.12 - Поля напружень σ_x , МПа, на верхніх волокнах у місці розташування тензорезисторів за комбінації С2 і $q_{\text{норм}}$

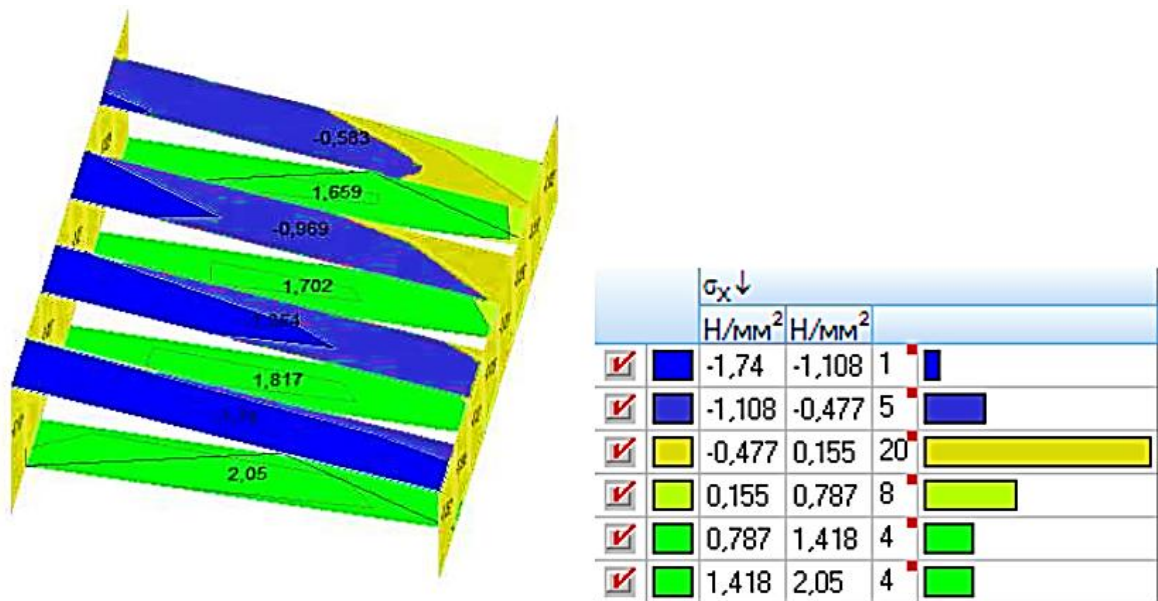


Рисунок 3.13 - Поля напружень σ_x , МПа, на нижніх волокнах у місці розташування тензорезисторів за комбінації С2 і $q_{\text{норм}}$

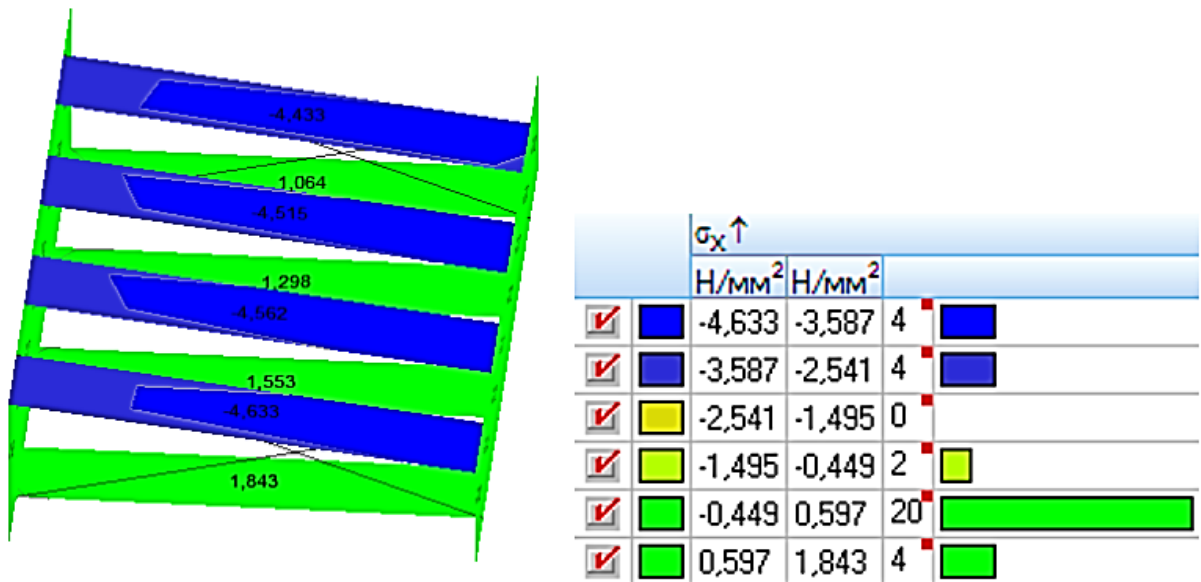


Рисунок 3.14 - Поля напружень σ_x , МПа, на верхніх волокнах у місці розташування тензорезисторів за комбінації С1 і $q_{розр}$

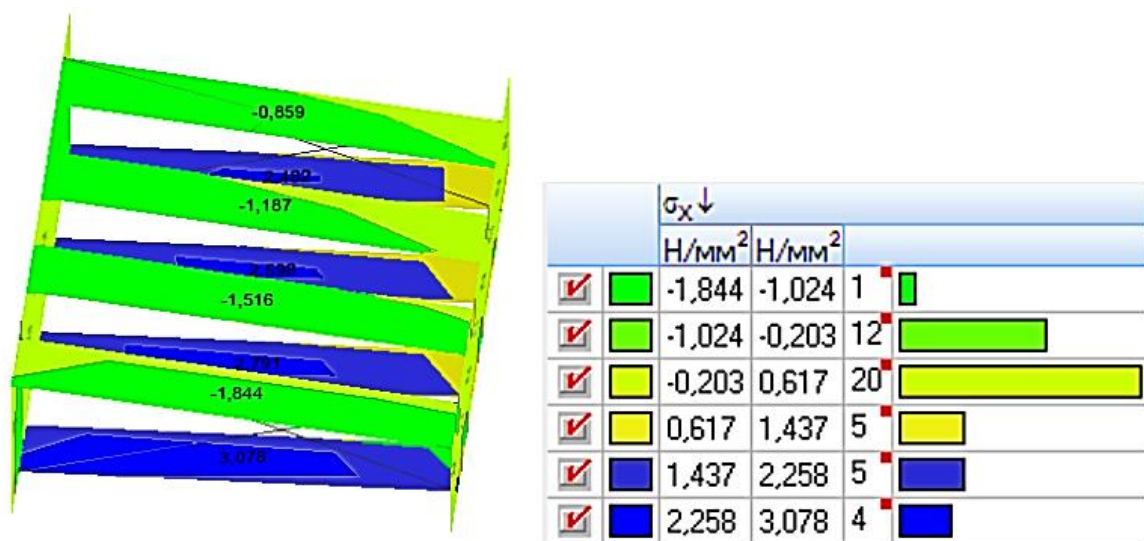
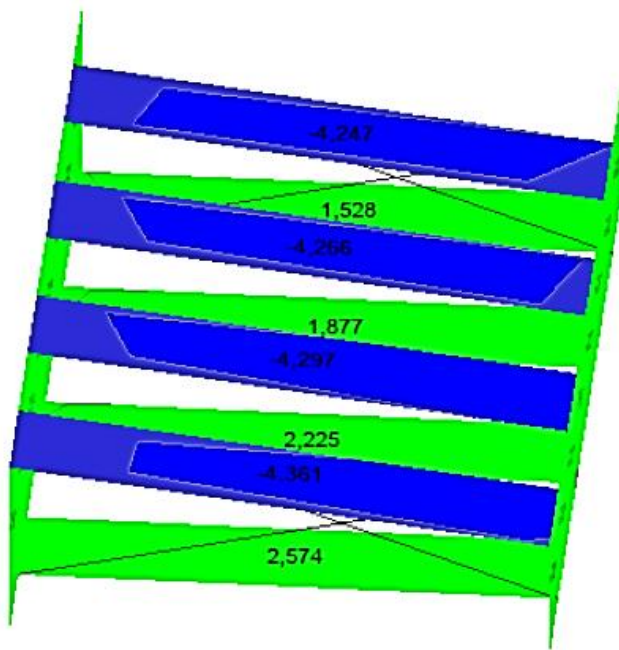
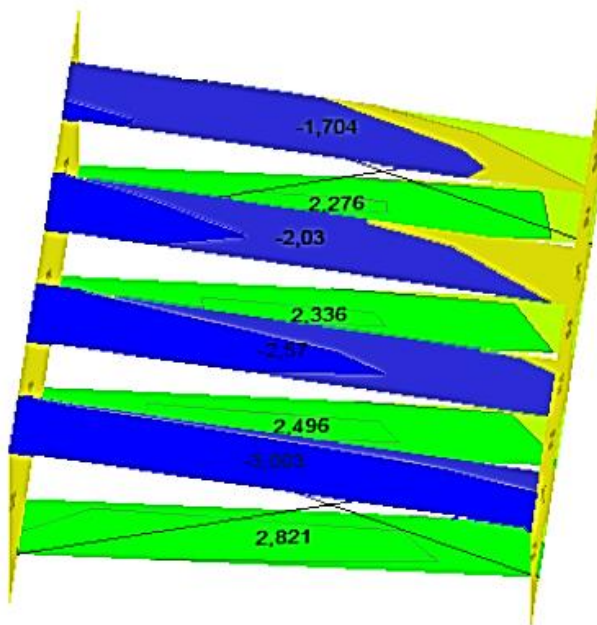


Рисунок 3.15 - Поля напружень σ_x , МПа, на нижніх волокнах у місці розташування тензорезисторів за комбінації С1 і $q_{розр}$



		$\sigma_x \uparrow$			
		H/мм ²	H/мм ²		
<input checked="" type="checkbox"/>		-4,361	-3,205	4	
<input checked="" type="checkbox"/>		-3,205	-2,049	4	
<input checked="" type="checkbox"/>		-2,049	-0,894	0	
<input checked="" type="checkbox"/>		-0,894	0,262	2	
<input checked="" type="checkbox"/>		0,262	1,418	20	
<input checked="" type="checkbox"/>		1,418	2,574	4	

Рисунок 3.16 - Поля напружень σ_x , МПа, на верхніх волокнах у місці розташування тензорезисторів за комбінації С2 і $q_{розр}$



		$\sigma_x \downarrow$			
		H/мм ²	H/мм ²		
<input checked="" type="checkbox"/>		-3,003	-2,032	1	
<input checked="" type="checkbox"/>		-2,032	-1,062	5	
<input checked="" type="checkbox"/>		-1,062	-0,091	20	
<input checked="" type="checkbox"/>		-0,091	0,088	8	
<input checked="" type="checkbox"/>		0,088	1,85	4	
<input checked="" type="checkbox"/>		1,85	2,821	4	

Рисунок 3.17 - Поля напружень σ_x , МПа, на нижніх волокнах у місці розташування тензорезисторів за комбінації С2 і $q_{розр}$

Аналізуючи таблицю 3.1, можна зробити висновок, що жорсткість випробувальної моделі порівняно з розрахунковою схемою в ПК SCAD виявилася вищою (імовірно, реальний модуль пружності моделі виявився вищим за нормативний, прийнятий за розрахунком). Напруги під час випробувань, навпаки, виявилися вищими за розрахункові, це можна пояснити тим, що розподіл напруг відбувається нерівномірно через сучки - вони є концентраторами напружень.

Є також невелика похибка у вимірюванні прогинів на ближній і дальній сторонах моделі через фіксування ниток прогиномірів на шпильках (на відстані 10 см від моделі). Однак порівняно з отриманими значеннями прогинів похибка незначна.

Загалом, збіжність чисельних і експериментальних даних задовільна, максимальний відсоток розбіжності становить 16,83 %.

РОЗДІЛ 4

ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці

Перед початком робіт в умовах виробничого ризику необхідно виділити небезпечні для людей зони, в яких постійно діють або можуть діяти небезпечні фактори, пов'язані або не пов'язані з характером робіт, що виконуються.

На межі зон постійно діючих небезпечних виробничих факторів встановлені захисні огорожі та знаки безпеки.

Виробничі території, ділянки робіт та робочі місця забезпечені необхідними засобами колективного або індивідуального захисту працюючих, первинними засобами пожежогасіння, а також засобами зв'язку, сигналізації та іншими технічними засобами забезпечення безпечних умов праці відповідно до вимог чинних нормативних документів та умов угод.

Роботи слід виконувати відповідно до ПОС та ППР, що містять вирішення наступних питань для забезпечення безпеки людей:

- Застосування засобів для штучного обмеження зони роботи баштових кранів;
- застосування захисних споруд-укриттів та захисних екранів.

Проїзди, проходи на виробничих територіях, а також проходи до робочих місць та на робочих місцях повинні утримуватися в чистоті та порядку, очищатися від сміття та снігу, не захащуватися складованими матеріалами та конструкціями.

Перебуваючи біля будівельної чи виробничої площадки, у виробничих і побутових приміщеннях, на ділянках робіт і робочих місцях, працівники, і навіть представники інших організацій зобов'язані виконувати правила внутрішнього трудового розпорядку, прийняті у цій організації.

Не допускається перебування людей на елементах конструкцій та обладнання під час їхнього підйому або переміщення.

Під час перерв у роботі не допускається залишати підняті елементи

конструкцій та обладнання на вазі.

У разі виникнення загрози безпеці та здоров'ю працівник зобов'язаний припинити роботу вжити заходів щодо усунення небезпеки, а за необхідності забезпечити евакуацію у безпечне місце.

Персонал організації (особи), що здійснює обслуговування машин, обладнання, установок та роботи, підконтрольної органам державного нагляду Росії, допускається до роботи відповідно до вимог цих органів.

Відповідно до законодавства на роботах зі шкідливими та (або) небезпечними умовами праці, а також на роботах, пов'язаних із забрудненням, роботодавець зобов'язаний безкоштовно забезпечити видачу сертифікованих засобів індивідуального захисту згідно з чинними Типовими галузевими нормами безоплатної видачі працівникам спецодягу, спецвзуття та інших засобів індивідуального захисту у передбаченому порядку.

Усі особи, що знаходяться на будівельному майданчику, повинні носити захисні каски. Працівники без захисних касок та інших необхідних засобів індивідуального захисту для виконання робіт не допускаються.

Забороняється: робота автобетононасосу без виносних опор; розпочинати роботу автобетононасоса без попередньої заливки в промивний резервуар бетонно-транспортних циліндрів води, а в бетонопровід - "пускове мастило".

Особи, відповідальні за утримання будівельних машин у робочому стані, зобов'язані забезпечити проведення їх технічного обстеження та ремонту відповідно до вимог експлуатаційних документів заводу-виробника.

Будівельний майданчик, ділянки робіт, робочі місця, проїзди та підходи до них у темну пору доби освітлені. Освітленість без сліпучої дії освітлювальних пристроїв на працюючих. Виробництво робіт у неосвітлених місцях не ведеться. Для освітлення будівельного майданчика згідно з розрахунком прийнято чотири прожектори, розташовані на дерев'яних стовпах по кутах майданчика. Живлення прожекторів здійснюється від тимчасової трансформаторної підстанції СКТП-100-6/10/0,4. Напруга у висвітленні 220 В.

Гранично допустимі концентрації шкідливих речовин у повітрі робочої

зони, а також рівні шуму та вібрації на робочих місцях не повинні перевищувати встановлених відповідними державними стандартами.

Обладнання, під час роботи якого можливі виділення шкідливих газів, пари та пилу, має поставлятися комплектно з усіма необхідними укриттями та пристроями, що забезпечують надійну герметизацію джерел виділення шкідливостей. Укриття повинні мати пристрої для підключення до аспіраційних систем (фланці, патрубки тощо) для механізованого видалення відходів виробництва.

Тимчасові будівлі та споруди для комфортного перебування робітників обладнані витяжною вентиляцією. Вентиляція здійснюється за допомогою окремих витяжних вентиляторів, що видаляють забруднене або нагріте повітря з приміщення. При виконанні робіт із шкідливими матеріалами у приміщеннях з відсутністю природної вентиляції, встановлюється місцева вентиляція, яка видаляє забруднене повітря безпосередньо від джерела забруднення.

4.1.1 Вимоги безпеки під час виконання кам'яних робіт

При виконанні кам'яних робіт необхідно передбачати заходи щодо попередження впливу на наступних небезпечних і шкідливих виробничих факторів, що працюють:

- розташування робочих місць поблизу перепаду висотою 1,3 м і більше;
- падіння вищерозташованих матеріалів, конструкцій та інструменту;
- мимовільне обвалення елементів конструкцій;
- рухомі частини машин та пересувні ними конструкції та матеріали.

За наявності небезпечних та шкідливих виробничих факторів, зазначених безпека кам'яних робіт повинна бути забезпечена на основі виконання таких рішень, що містяться в організаційно - технологічній документації (ПОС, ППР та ін.), з охорони праці:

- організація робочих місць із зазначенням конструкції та місця встановлення необхідних засобів підмащування, вантажозахоплювальних

пристроїв, засобів контеризації та тари;

- послідовність виконання робіт з урахуванням забезпечення стійкості конструкцій, що зводяться;

- визначення конструкції та місць встановлення засобів захисту від падіння людини з висоти та падіння предметів поблизу будівлі;

- додаткові заходи безпеки щодо забезпечення стійкості кам'яної кладки в холодну пору року.

Кладка стін кожного вище розташованого поверху багатоповерхової будівлі повинна проводитися після встановлення несучих конструкцій міжповерхового перекриття, а також майданчиків та маршів у сходових клітках.

За необхідності зведення кам'яних стін вищерозташованого поверху без укладання перекриттів або покриттів необхідно застосовувати тимчасові кріплення цих стін.

При монтажі перекриттів та інших конструкцій необхідно виконувати вимоги розділу 8 цих норм та правил.

При кладці зовнішніх стін будівель висотою понад 7 м з внутрішніх риштування необхідно по всьому периметру будівлі влаштовувати зовнішні захисні козирки, що задовольняють наступним вимогам:

- ширина захисних козирків повинна бути не менше 1,5 м, і вони повинні бути встановлені з ухилом до стіни так, щоб кут, що утворюється між нижньою частиною стіни будівлі та поверхнею козирка, був 110 град., а зазор між стіною будівлі та настилом козирка не перевищував 50 мм;

- захисні козирки повинні витримувати рівномірно розподілене снігове навантаження, встановлене для даного кліматичного району, та зосереджене навантаження не менше 1600 Н (160 кгс), прикладене в середині прольоту;

- перший ряд захисних козирків повинен мати захисний настил на висоті не більше 6 м від землі та зберігатись до повного закінчення кладки стін, а другий ряд, виготовлений суцільним або із сітчастих матеріалів з осередком не більше 50+50 мм, встановлюватися на висоті 6 - 7 м над першим рядом, а потім по ходу кладки переставлятися через 6 – 7 м.

4.2 Аналіз надзвичайних ситуацій та засоби захисту

Велике значення при будівництві мають безпечні методи виконання робіт, заміна ручної праці механізованим. Попередній інструктаж робітників з техніки безпеки проводиться після приходу робітника на роботу. Обов'язково повинен проводитися інструктаж на робочому місці, навчання робітників з техніки безпеки. В даний час при будівництві будівель та споруди отримали широке застосування легкозаймисті матеріали. Цілком не приділяється час для забезпечення пожежної безпеки. Недбалість керівних кадрів для забезпечення безпечного виконання робіт. Це та багато іншого є причинами виникнення надзвичайних ситуацій на будівельному майданчику.

Протипожежна безпека включає комплекс заходів щодо запобігання пожежам, а саме:

На будмайданчику необхідно забезпечити правильність складування матеріалів, захистити місце зварювальних робіт, своєчасно прибирати будівельне сміття.

Необхідно утримувати у готовності всі засоби пожежогасіння.

За організацію пожежної безпеки на ділянці будівництва є відповідальним начальник дільниці або робітник.

Виробниче обладнання, пристрої та інструмент, що застосовуються для організації робочого місця, повинні відповідати вимогам безпеки праці. Виробничі території, ділянки робіт мають бути забезпечені необхідними засобами колективного чи індивідуального захисту працюючих, первинними засобами пожежогасіння, а також засобами зв'язку. Проїзди та проходи на виробничих територіях, а також проходи до робочих місць та на робочих місцях повинні дотримуватися у чистоті та порядку, очищатися від сміття, не захаращуватися матеріалами та конструкціями. Виробничі території та ділянки робіт у запобіганні доступу сторонніх осіб повинні бути огорожені, висота огорож не менше 1,2 м. Протипожежне обладнання повинне утримуватися у справному, працездатному стані, проходи до нього мають бути вільні та позначені відповідними знаками.

Забороняється залишати без нагляду машини та засоби механізації у працюючому стані. Персонал, що експлуатує засоби механізації, оснащення, пристосування та ручні машини, до початку робіт повинен бути навчений безпечним методам та прийомам робіт, з їх застосуванням, відповідно до вимог інструкцій заводу – виробника та інструкцій з охорони праці.

У разі виникнення пожежі на будівельному майданчику передбачено два пожежні гідранти, приєднані до водопровідної лінії. У разі виникнення локальних спалахів передбачені пожежні щити та контейнери з піском. Кошти індивідуального захисту розташовані на відстань не більше 20 метрів від робочого місця, а також у тимчасових будівлях та спорудах.

На будмайданчику необхідно дотримуватись правил пожежної безпеки. Не допускається користуватися відкритим вогнем у радіусі до 50 м від місця застосування та складування вибухонебезпечних або легкозаймистих матеріалів. Між будинками слід дотримуватися розривів не менше 10 м//.

Щоб уникнути вибухів і розбризкування гарячої суміші забороняється застосовувати воду для гасіння металів, що горять: натрію, калію, магнію, електронної стружки. Забороняється також застосовувати воду для гасіння електроустановок, що горять, що знаходяться під струмом, а також резервуарів з бензином, гасом, нафтою та іншими горючими рідинами. Для їх гасіння використовують піну та вугільну кислоту. Пожежі в замкнутих підвальних та заглиблених приміщеннях, притулках та укриттях гасять розпороченими або компактними струменями води, вогнегасниками, а також шляхом ізоляції приміщень від повітряного середовища. Для створення ізоляції прорізи щільно закривають мішками з піском тощо. матеріалами, металевими листами та після цього засипають піском.

При гасіння пожеж у замкнених приміщеннях із підвищеною концентрацією вуглекислоти особливу увагу необхідно звернути на техніку безпеки. Ствольник веде роботу у спеціальному киснево-ізолюваному протигазі або звичайному протигазі з гопкалітовим патроном.

При виконанні всіх робіт з приготування та нанесення фарбувальних

складів, включаючи імпорتنі, слід дотримуватися вимог інструкцій підприємств-виробників щодо безпеки праці.

Усі вихідні компоненти та фарбувальні склади повинні мати гігієнічний сертифікат із зазначенням наявності шкідливих речовин, параметрів, що характеризують пожежонебезпечність, термінів та умов зберігання, рекомендованого методу нанесення, необхідності застосування засобів колективного та індивідуального захисту.

Не допускається застосування розчинників на основі бензолу, хлорованих вуглеводнів, метанолу.

При виконанні фарбувальних робіт із застосуванням фарбувальних пневматичних агрегатів необхідно:

до початку роботи здійснювати перевірку справності обладнання, захисного заземлення, сигналізації;

у процесі виконання робіт не допускати перегинання шлангів та їх дотику до рухомих сталевих канатів;

відключати подачу повітря та перекривати повітряний вентиль під час перерви у роботі або виявленні несправностей механізму агрегату.

Тару з вибухонебезпечними матеріалами (лаками, нітрофарбами тощо) під час перерв у роботі слід закривати пробками або кришками та відкривати інструментом, що не викликає іскроутворення.

Виконання фарбувальних робіт здійснюється після завершення будівельно-монтажних робіт. Працівникам видається спецодяг та засоби індивідуального захисту. У разі пошкодження герметичності або несправності засоби індивідуального захисту підлягають негайній заміні.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Під час виконання цієї кваліфікаційної роботи було проведено дослідження плити покриття у вигляді лінзи з дерев'яних смугових елементів. Досліджено вплив на плиту напружень, викликаних початковим вигином поясів. Проведено чисельне моделювання досліджуваної конструкції з використанням програмного комплексу SCAD Office 21.1. Проаналізовано вплив на жорсткість плити таких чинників, як товщина поясів, їхній початковий вигин, кількість стійок і різні варіанти постановки вертикальних зв'язків із завданням відповідних варіантів розрахункових схем. Вивчено теорію подібності, необхідну для створення зменшеної копії конструкції.

Після чисельного розрахунку і перевірки несучої здатності з'єднань було створено і випробувано зменшену модель плити. На підставі проведених випробувань можна зробити висновок, що досліджувана форма працездатна і за своїх переваг може бути застосована. За невеликої ваги плита має мінімальну металоємність і, відповідно, дешевша. Трудовитрати на виготовлення і монтаж плити також мінімальні.

Необхідне проведення подальших теоретичних та експериментальних досліджень з метою вивчення можливості та умов застосування лінзоподібних плит 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. Zbiećs, M.; Borysiuk, P.; Mazurek, A. Thermoplastic bonded composite chipboard Part 2—Machining tests. In Proceedings of the 8th International Science Conference: “Chip and Chipless Woodworking Processes”, Zvolen, Slovakia, 6–8 September 2012; pp. 399–405.50.
3. Borysiuk, P.; Wilkowski, J.; Krajewski, K.; Auriga, R.; Skomorucha, A.; Auriga, A. Selected Properties of Flat-pressed Wood-polymer Composites for High Humidity Conditions. *Bioresources* 2020,15, 5156–5178
4. Mirski, R., Dziurka, D., Banaszak, A., 2018: Properties of particleboards produced from various lignocellulosic particles. *BioResources* 13(4): 7758-7765.
5. Russ, A., Schwartz, J., Boháček, Š., Lübke, H., Ihnát, V., Pažitný, A., 2013: Reuse of old corrugated cardboard in constructional and thermal insulating boards. *Wood Research* 58(3): 505-510
6. Lengowski, Elaine & Bonfatti Júnior, Eraldo & Kumode, Marina Mieko & Carneiro, Mayara & Satyanarayana, K.G.. (2019). Nanocellulose-Reinforced Adhesives for Wood-Based Panels. 10.1007/978-3-030-05399-4_35.
7. Dourado, N.; Pereira, F. A. M.; Lousada, J. L.; de Moura, M. F. S. F., 2019: Experimental and numerical analyses of wood boards joining using wood-pin connectors. *Construction and Building Materials*, 222: 556-565. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.06.179>
8. Клименко В.З. Конструкції з дерева і пластмас. – К.: Вища школа, 2000. – 304с.
9. Eurocode 5. Design of timber structures. Part 1.1. General rules and rules for buildings. – 1995. - 124р.
10. Гомон С.С., Алексієвець В.І. Робота та розрахунок сталевих нагельних з'єднань дерев'яних конструкцій за повторних навантажень: Монографія. – Рівне:

НУВГП, 2013. – 111с. 214

11. Pavluk, Andriy, et al. "STIFFNESS OF SOLID WOOD BEAMS UNDER DIRECT AND OBLIQUE BENDING CONDITIONS." *Acta Facultatis Xylogologiae Zvolen* 65.2 (2023): 109-122.

12. ДБН В.2.6-161:2010 Конструкції будинків і споруд. Дерев'яні конструкції / Міненергобуд України. К: ДП Украрбудінформ, 2011. – 102 с. 6.

13. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи / Мінбуд України. К: Сталь, 2006. – 70 с. 7.

14. Погореляк А.П., Романюк В.В., Чернолоз В.С., Погореляк О.А. Конструкції з деревини і пластмас. – Рівне: РДТУ, 2001.- 392 с

15. ДСТУ –Н Б В.2.6-184:2012 Конструкції з цільної і клеєної деревини. Настанова з проектування. / Мінрегіон України. – К. : Мінрегіон України, 2013 – 158с.

16. Hud, M., Chornomaz, N., Ihnatieva, V., & Koval, I. (2022). Analysis of the effect of horizontal ties on the deformability of the bottom of the floating pool. *Вісник Тернопільського національного технічного університету*, 106(2), 133-137.

17. ІЛЬКОВ, І. В.; ІЛІХ, Р. В.; ЧОРНОМАЗ, Н. Ю. Особливості балок із орієнтовано-стружкової плити. Збірник тез доповідей ІХ Міжнародної науково-технічної конференції молодих учених та студентів „Актуальні задачі сучасних технологій“, 2020, 1: 68-68.

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

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