

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет будівництва та транспорту
Кафедра будівельних конструкцій

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
Будівельних конструкцій

/...../

підпис

«__» _____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

На тему: «**Оптимальна висота структурної плити**»

Виконав (ла)

(підпис)

Гребенюк М.М.

(Прізвище, ініціали)

Група

(Науковий)

керівник

(підпис)

Срібняк Н.М.

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2023 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: будівельних конструкцій

Спеціальність: 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Гребенюк Микола Миколайович

Тема роботи: Оптимальна висота структурної плити

Затверджено наказом по університету № 3301-н від "27" 10 2023р.

Строк здачі студентом закінченої роботи: "04" 12 2023 р.

Вихідні дані до роботи:

*Розробити декілька конструктивних варіантів сталеві
структурної плити покриття спортивної зали загальноосвітньої
школи в м. Буринь Сумської області, вибрати оптимальний варіант за
критерієм матеріалоємності.*

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

Виконати огляд джерел щодо формоутворення структурної плити, принципів її конструювання, визначити основні типи регуляторів зусиль. Розробити декілька СЕ моделей плити 12х24 м, що відрізняються товщиною плити. Товщини моделей прийняти в межах допустимого діапазону. Виконати статичний та конструктивний розрахунок моделей, виконати перевірку та підбір профілів елементів за 1 та 2 групами граничних станів. Обчислити вагу моделей. Обрати модель з найменшою вагою.

5. Перелік графічного матеріалу (з точною вказівкою обов'язкових креслень)

Мультимедійна презентація в форматі Microsoft PowerPoint

Керівник :

(підпис)

Н.М. Срібняк

(Прізвище, ініціали)

Консультант

(підпис)

В.М. Луцьковський

(Прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання:

Здобувач

(підпис)

М.М. Гребенюк

(Прізвище, ініціали)

Анотація

Гребенюк Микола Миколайович. Оптимальна висота структурної плити – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2023.

Робота складається із змісту, загальної характеристики роботи та її кваліфікаційних ознак, опису об'ємно-планувального та конструктивного рішення будівлі, огляду досліджень за обраною темою, розділів основної частини, висновки за результатами МКР (українською та англійською мовами). Сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, методи наукового дослідження.

Результати досліджень дозволяють за результатами варіантних конструктивних розрахунків обрати варіант структурної плити розміром в плані 12,0x24,0 м, що має найменшу вагу. Варіанти конструктивного вирішення плити відрізняються лише її товщиною (висотою конструкції).

Аналіз публікацій та досліджень встановив, що структурна стержньова плита покриття, що дозволяє перекрити великі прольоти без влаштування проміжних опор, є ефективним рішенням покриття, дослідження якої є актуальним.

В основній частині наведено опис скінченоелементних моделей структурної плити покриття з розміром в плані 12,0x24,0 м. Прийнято чотири моделі плити, що відрізняються лише одним параметром- товщиною конструкції. Прийто такі значення висоти конструкції: 1,5 м (модель №1), 1,3 м (модель №2), 1,1 м (модель №3), 0,9 м (модель №4). Виконано статичні та конструктивні розрахунки всіх

моделей, що прийнято. Розрахунки виконано в 2-х ітераціях з метою, щоб підібрані профілі елементів плити відповідали умовам перевірки за першою та другою групами граничних станів. Проаналізовано максимальні прогини моделей після другої ітерації. Обчислено вагу кожної моделі плити й встановлено, що оптимальним конструктивним рішенням модель №1 з висотою 1,5 м, оскільки лише для цієї моделі деформативність знаходиться в допустимих межах. Найлегшою моделлю є модель №3, але конструктивне рішення цієї моделі не може бути прийнятим, оскільки максимальний вертикальний прогин такої конструкції є більшим за гранично допустимий.

У **висновках** встановлено, аналіз переміщень вузлів моделей плити виявив, що лише максимальний прогин плити за моделлю №1 не перевищує гранично допустимий прогин в 4,8 см. Максимальні прогини в моделях №№ 2,3,4 перевищують гранично допустиме значення. Отже в моделях №№2,3,4 умова перевірки за другою групою граничних станів не виконується й модель №3, що має найменшу вагу, не може бути прийнята оптимальною. Зважаючи на умову достатньої жорсткості оптимальним конструктивним вирішенням буде модель №1. Різниця у вазі моделі № 1 (8,9 т) та моделі №3 (8,33 т) з найменшою вагою становить 6,8%.

Ключові слова: структурна плита, регулятори зусиль, товщина плити, металеві конструкції, матеріалоемність

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

Гребенюк М.М, Срібняк Н.М., Галушка С.А. Дослідження оптимальної висоти структурної плити // Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої Міжнародному дню студента (13-17 листопада 2023 р.) – Суми, 2023.С.59

В **додатках** наведено; тези конференції, альбом слайдів мультимедійної презентації.

Структура роботи. Робота складається з основного тексту на 58 сторінках, у тому числі 20 таблиці, 39 рисунків. Текст роботи містить 7 розділів, що включають загальну характеристику роботи та висновки, список з 27 використаних джерел, 2 додатки на 37 сторінках. Графічна частина складається з 33 слайдів мультимедійної презентації.

Abstract

Hrebeniuk Mykola Mykolaiovych. Optimal height of the structural plate–
Master's qualification work with manuscript rights.

Master's qualification work in specialty 192 "Construction and civil engineering". –
Sumy National Agrarian University, Sumy, 2023.

The work consists of the content, the general characteristics of the work and its qualification features, a description of the volume-planning and constructive solution of the building, an overview of research on the chosen topic, sections of the main part, conclusions based on the results of the MKR (in Ukrainian and English).

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

The **results of the research** allow us to choose the version of the structural plate with the plan size of 12,0x24,0 m, which has the least weight, based on the results of variant structural calculations. Options for the constructive solution of the plate differ only in its thickness (height of the structure).

The **analysis of publications** and studies has established that the structural core slab of the coating, which allows covering large spans without the installation of intermediate supports, is an effective coating solution, the research of which is relevant.

The **main part** provides a description of the finite-element models of the structural slab covering with a plan size of 12.0x24.0 m. Four slab models are adopted, which differ in only one parameter - the thickness of the structure. The following values of the height of the structure were adopted: 1.5 m (model #1), 1.3 m (model #2), 1.1 m (model #3), 0.9 m (model #4). Static and structural calculations of all accepted models have been performed. The calculations were performed in 2 iterations with the aim that the selected profiles of the slab elements met the conditions of the first and second groups of limit states. The maximum deflections of the models after the second iteration were analyzed. The weight of each slab model was calculated and it was established that the optimal structural solution is model #1 with a height of 1.5 m, since only for this model the deformability is within acceptable limits. The lightest model is model No. 3, but the design decision of this model cannot be accepted, since the maximum vertical deflection of this design is greater than the maximum permissible.

In the **conclusions**, it was established that the analysis of the movements of the nodes of the slab models revealed that only the maximum deflection of the slab according to model No. 1 does not exceed the maximum allowable deflection of 4.8 cm. The maximum deflections in models No. 2, 3, 4 exceed the maximum allowable value. Therefore, in models No. 2, 3, 4, the condition of verification according to the second group of limit states is not fulfilled, and model No. 3, which has the least weight, cannot be accepted as optimal. Given the condition of sufficient stiffness, the optimal design solution will be model #1. The difference in the weight of model No. 1 (8.9 t) and model No. 3 (8.33 t) with the lowest weight is 6.8%.

Key words: structural plate, force regulators, plate thickness, metal structures, material capacity

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

Hrebeniuk M.M., Sribniak N.M., Halushka S.A. Study of the optimal height of the structural plate // Materials of the All-Ukrainian scientific conference of students and postgraduates dedicated to the International Student Day (November 13-17, 2023) - Sumy, 2023. P.59

In the **appendices** are given; abstracts of the conference, an album of multimedia presentation slides.

Structure of work. The work consists of the main text on 58 pages, including 20 tables, 39 figures. The text of the work contains 7 chapters, including a general description of the work and conclusions, a list of 27 used sources, 2 appendices on 37 pages. The graphic part consists of 33 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

Завдання	
Анотація	
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ	
1.1 Актуальність теми	
РОЗДІЛ 2. БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ	
2.1 Розвиток та особливості конструювання сталевих структур.....	
2.2 Регулятори зусиль в структурах	
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ	
РОЗДІЛ 4. ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНЕ ТА КОНСТРУКТИВНЕ ВИРІШЕННЯ БУДІВЛІ	
4.1 Об'ємно-планувальне рішення будівлі	
4.2 Конструктивне рішення будівлі.....	
РОЗДІЛ 5. МОДЕЛЮВАННЯ СКІНЧЕНО-ЕЛЕМЕНТНИХ СХЕМ СТРУКТУРНОЇ ПЛИТИ	
5.1 Алгоритм виконання числового експерименту.....	
5.2 Скінченоелементна модель структурної плити.....	
5.3 Граничні умови, прийняті для моделей. Параметри жорсткості елементів...	
5.4 Навантаження на конструкцію	
РОЗДІЛ 6. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ СТАТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ	
6.1 Напружено-деформований стан після 1-го ітераційного розрахунку.....	
6.2 Нові параметри жорсткостей елементів конструкції за результатами 1-го ітераційного розрахунку.....	
6.3 Ітераційний розрахунок №2.....	
6.4 Аналіз результатів після ітераційного розрахунку №1 та ітераційного розрахунку №2.....	
6.4.1 Аналіз переміщень вузлів СЕ моделей.....	
6.4.2 Аналіз зусиль в стержневих елементах СЕ моделей.....	
6.4.3 Аналіз несучої здатності перерізів стержнів моделей плит після 1-го та 2-го ітераційних розрахунків.....	

РОЗДІЛ 7. ВИСНОВКИ

Література.....

Додатки.....

Додаток 1.Тези доповіді на конференції

Додаток 2.Графічний матеріал (презентація)

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

1.1 Актуальність теми

Стержньові структури, зокрема структурні плити, характеризуються рядом переваг, насамперед, завдяки природі своєї будови. В основі кожної структурної плити можна виділити базовий просторовий елемент, що являє собою систему похилих та горизонтальних стержнів. Порядок цих стержнів є упорядкованим і нагадує кристали природнього походження - графіт, алмаз.

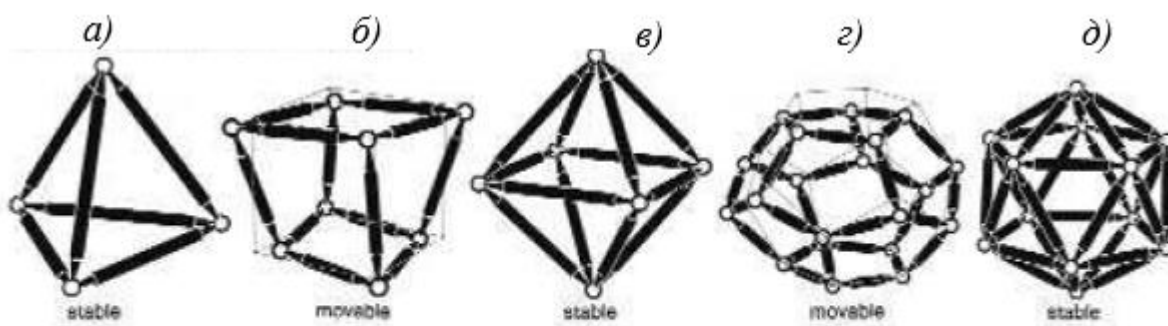


Рис. 1.1 Платонові багатогранники: тетраедр-а; куб або гексаедр-б, октаедр- в, додекаедр-г та ікосаедр-е [1]

На рис. 1.1 наведено правильні багатогранники, що мають також назву тіл Платона. Гранями таких багатогранників є плоскими правильними багатокутниками. Таких багатогранників можна виділити лише п'ять.

Будь-які з них або комбінації їх в просторі можуть бути базою або, інакше кажучи, формоутворюючим елементом для структурної конструкції.

Для утворення структурної плити такий базовий елемент слід скопіювати вздовж осей X, Y необхідну кількість разів для утворення конструкції структурної плити.

Найбільш часто як базовий елемент використовуються в практиці проектування структурних плит тетраедр, куб, октаедр. Так, з'єднавши однакових два тетраедра в одній вершині (верхній елемент буде

симетричним відображенням нижнього) можна отримати простий формоутворюючий елемент структурної плити.

За своєю природою структурні плити, що є стержньово-вузловими конструкціями й утворені з базових елементів (рис.1.1), відрізняються ефективною статичною роботою стержнів конструкції, що під навантаженням зазнають зусиль розтягу чи стиску. Завдяки цьому сталь є найбільш придатним матеріалом для втілення таких структурних плит в життя.

Варіантів конструктивних рішень структур при заданих параметрах можна створити досить багато. Знаходження оптимальної конструкції за заданим критерієм є важливою й актуальною пошуковою задачею.

Метою роботи є визначення за критерієм матеріалоємності найбільш ефективного конструктивного рішення структурної сталеві плити покриття розміром в плані 12,0x24,0 м з-поміж моделей, що досліджуються. Регулятором зусиль в моделях плит виступає параметр товщини (висоти) плити.

Для досягнення мети необхідно здійснити такі розрахункові етапи **(задачі):**

- 1) дослідити фактори, що впливають на зміну зусиль в стержнях плит;
- 2) прийняти один із змінних параметрів в якості регулятора зусиль в стержневих елементах структурної плити
- 3) створення з використанням методу скінчених елементів із застосуванням ПК ЛІРА-САПР декілька скінченоелементних моделей, що будуть відрізнятися одна від одної лише одним параметром, наприклад – товщиною (висотою плити)
- 4) прийняти (призначити в першому наближенні) в першій розрахунковій ітерації параметри жорсткості для всіх конструктивних груп стержневих елементів плити – призначити

певні профілі труб для елементів для всіх варіантних моделей плити, що прийнято до аналізу та розрахунку.

- 5) виконати статичний розрахунок з жорсткостями першого типу (1-ша ітерація) всіх розрахункових моделей структурної плити;
- 6) на основі отриманих зусиль та переміщень узлів в модулі «Металеві конструкції» ПК ЛІРА-САПР підібрати нові скориговані розміри переріз стержневих елементів плити;
- 7) обчислити згідно нових призначених перерізів стержневих елементів моделей плит вагу кожної моделі плити, що досліджується. Обрати модель, що характеризується найменшою вагою;
- 8) призначити нові параметри жорсткості, обчислені в модулі «Металеві конструкції» й виконати другий ітераційний статичний розрахунок моделей;
- 9) за новими даними після 2-го ітераційного розрахунку оцінити та порівняти параметри напружено-деформованого стану, відсоток використання перерізів за 1-ю та 2-ю групами граничних станів моделей плит, що досліджуються конструкції;
- 10) сформулювати висновки та можливості подальших досліджень;

Об'єкт дослідження – моделі структурних плит покриття з розмірами в плані 12,0x24,0 м, що відрізняються між собою лише параметром товщини плити.

Предметом дослідження є напружено-деформований стан розрахункових моделей, їх конструктивне рішення та аналіз ефективності (% використання прийнятих профілів стержнів).

Практичне значення отриманих результатів

Результати числового експеримента дозволяють підібрати згідно найбільш ефективного з точки зору статичної роботи конструктивного рішення модель плити, що має найменшу вагу.

Апробація та публікація результатів роботи

Результати роботи опубліковано в збірнику тез студентсько-викладацької щорічної конференції Сумського національного аграрного університету.

Гребенюк М.М., Срібняк Н.М., Галушка С.А. ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ВИСОТИ СТРУКТУРНОЇ ПЛИТИ// Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої Міжнародному дню студента (13-17 листопада 2023 р.) – Суми, 2023.С.533

РОЗДІЛ 2

БІБЛОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Розвиток та особливості конструювання сталевих структур

В [1] наведено ґрунтовне та різнопланове дослідження «просторових сіток» або структур.

Ефективним конструкціями, що характеризуються невеликою матеріалоемністю й такими, що мають змогу перекривати великі прольоти, є структурні плити. Конструкції просторової сітки дають можливість багатоваріантного проектування та пошуку нових раціональних форм.

Більшість структурних форм, у тому числі більшість вузлів просторової структури, є модульними.

Структурні конструкції – з криволінійною поверхнею чи з плоскою, є легкими, міцними, просторовими, модульними конструкціями масового виробництва. Автором ідеї таких конструкцій є Олександр Грем Белл. На початку 20 ст. він експериментував з просторовими фермами, що склалися з октаедричних та тетраедричних блоків (рис. 2.1).

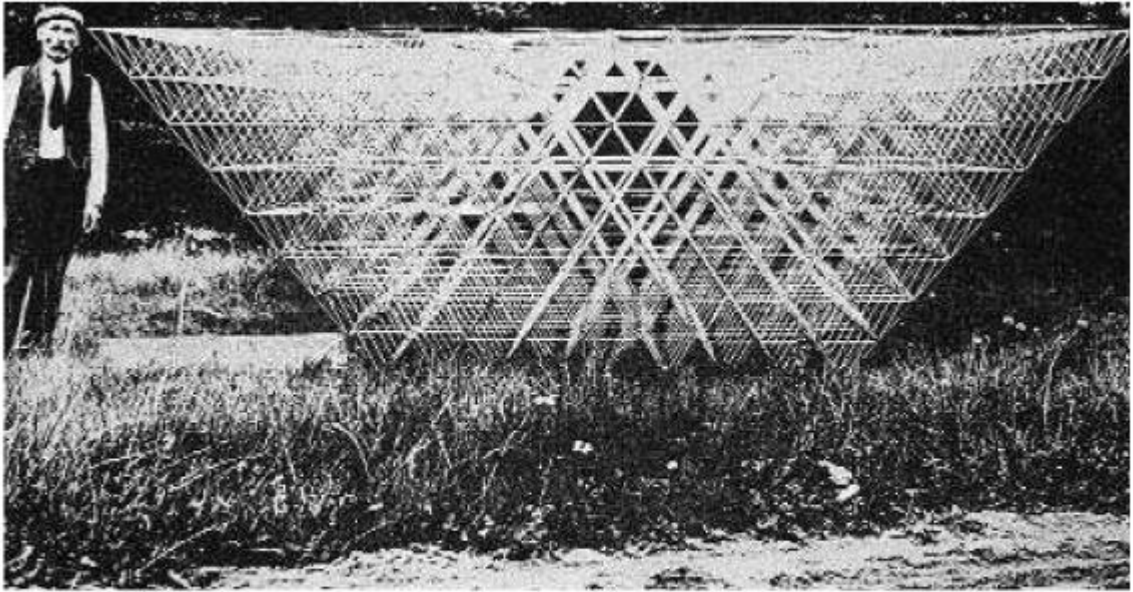


Рис. 2.1 Експериментальна конструкція просторової сітки, розроблена Олександром Гремом Беллом на початку 20 ст. [1]

В 1907 р. О. Беллом була побудована одна із перших структурних конструкцій - оглядова вежа в Бейн Бхреа (США). В цій конструкції застосовувалися литі вузли та трубчаті стержневі елементи [1].

Для зведення структурних конструкцій використовувалися також і готові модулі. У Великій Британії в 1950-х роках компанія Denings of Chard стала розробником системи Space Deck. Ця система передбачає болтове з'єднання збірних сталевих модулів пірамідальної конфігурації. Ці збірні модулі мають розміри в плані 1,22 м × 1,22 м та 1,05 м або 0,61 м в глиб відповідно [1].

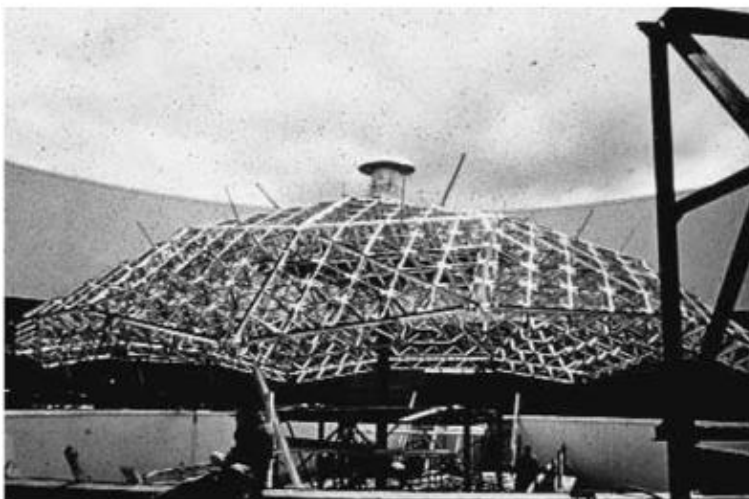


Рис. 2.2 Купол будівлі Ford Rotunda, Дірборн, штат Мічиган, США, побудований з використанням 20 960 елементів, зібраних у ферми Octet (розроблено Бакмінстером Фуллером) [1]

Модуль, що є подібним до системи Space Deck, має також розміри в плані 1,22 м × 1,22 м, але із загальною глибиною 0,6 м. Такі модулі було прийнято для конструкцій покриття та перекриття в модульній будівельній системі Nenk.3. Ця система була розроблена у Великій Британії компанією Denings за замовленням Міністерства будівництва при будівництві казарм на початку 1960-х років [1].

Конрад Ваксман в 1959 р. розробив просторову структуру для ангарів літаків із великими прольотами для ВПС США. Технічне завдання вимагало великої гнучкості в конструкції, геометрії та типі будівлі, а також вимагало, щоб компоненти були придатними для повторного використання [1].

Система Конрада Ваксмана включала складний універсальний з'єднувач, що було виготовлено із комбінації стандартних кованих елементів в кількості чотири штуки. Це дозволило поєднувати до двадцяти трубчастих елементів у кожному з'єднанні (рис. 2.3) [1].

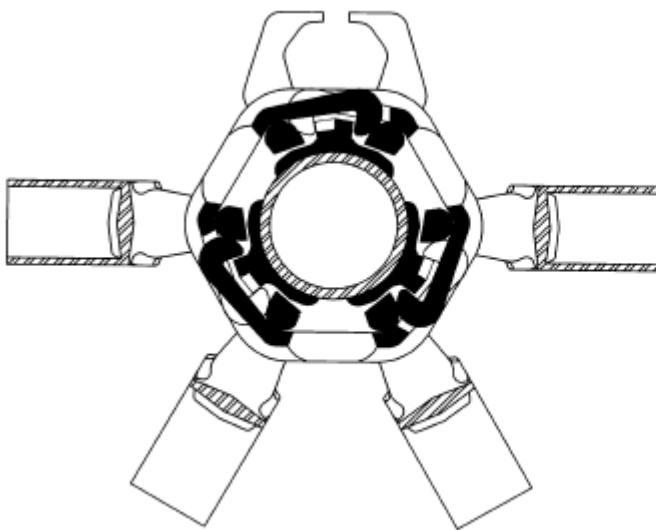


Рис. 2.3 Універсальний конектор авторства Конрада Ваксмана, виготовлений із комбінації чотирьох стандартних кованих елементів, що дозволяє з'єднувати до двадцяти трубчастих елементів у кожному вузлі [1] .

Для конструктиву на рис. 2.3 використано трубчасті елементи двох різних діаметрів. Один із типів труб застосовано для верхніх та нижніх поясів решітки. Елементи цих поясів виготовлялися із відрізків довжиною 9,1 м, що з'єднані за допомогою конекторів «в рівень». Труби меншого діаметру було застосовано для похилих стержнів решітки. З'єднання між

горизонтальними поясами та стержнями решітки було запроектовано таким чином, що для складання в умовах будмайданчику потребувався лише молоток. Молотком забивалися сталеві клини через виїмки з метою фіксації конектори в проектному положенні на основних елементах поясу [1].

2.2 Регулятори зусиль в структурах

Структурні плит є достатньо чутливими конструкціями, на напружено-деформований стан яких впливає багато факторів.

Апроксимація реального конструктивного вирішення вузла з'єднання стержнів за допомогою методу скінчених елементів з використанням інструментів конкретної розрахункової програми дозволяє реалістично змоделювати роботу вузла.

Введення показника величини жорсткості в шарнірі (рис.2.4) дозволяє відобразити реальні параметри того чи іншого конструктивного вирішення вузла.

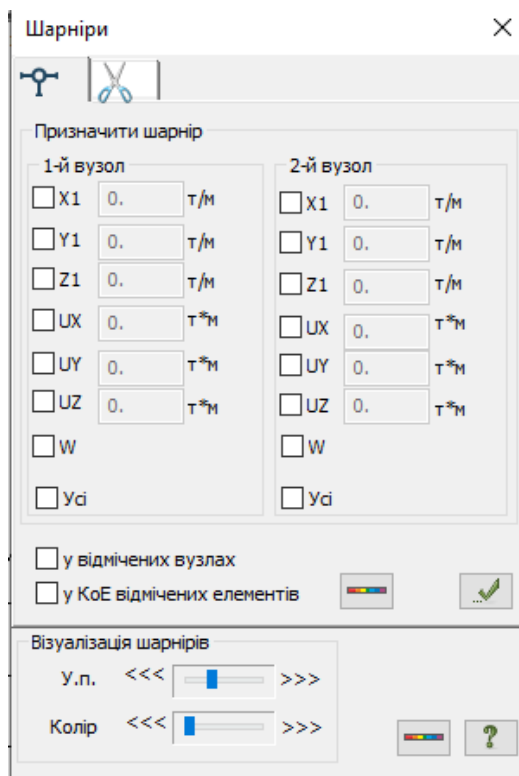


Рис. 2.4 Призначення параметрів жорсткості в шарнірному вузлі.

Граничні умови конструкції плити суттєво впливають на величини та характер розподілу зусилля N в стержнях просторової структури.

Граничні умови – це, насамперед, умови спирання конструкції. Плита може спиратися на стійки (колони), на стіни. Схеми та способи спирання на колони можуть бути найрізноманітнішими: точкове спирання в чотирьох кутах; колони можуть бути розташовані вздовж двох паралельних сторін плити або розташовані по периметру плити. Колони також можуть бути розташовані із зміщенням вглиб плити. Плита може спиратися по двом сторонам на несучі стіни (працює як балка) або плита може бути обертаю на чотири стіни (працює як пластина, обперта по чотирьом сторонам).

Форма базового елемента кристалу, що утворює всю структуру плити, є теж тим важливим чинником, який принципово впливає на величини та характер розподілу осьових зусиль в стержневих елементах структурної плити.

Висота плити є тим фактором, що приймається в певних рамках згідно конструктивних рекомендацій та повинна знаходитися в межах $(1/16 \div 1/24)l$. Саме в рекомендованому діапазоні знаходиться оптимальна товщина (висота) плити. Метою числового експерименту є виявлення найбільш оптимальної висоти плити, при якій вага плити буде мінімальною.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Серед методів, що застосовувалися в цій роботі слід виділити наступні:

- 1) **метод збору та аналізу інформації** – оцінка відомостей щодо будови, конструювання, розрахунку, характеру та особливостей роботи сталевих структурних плит покриття, аналіз чинників (параметрів), що є регуляторами зусиль в стержневих елементах структури;
- 2) **метод скінчених елементів** – для моделювання розрахункових моделей структурної плити в середовищі ПК Ліра-САПР. Метод також

застосовано для визначення напружено-деформованого стану моделей, прийнятих до розрахунку;

- 3) **метод розрахунку сталевих елементів в модулі «Метал»** – для конструювання стержневих елементів структурних плит за методикою обраних норм конструювання [9], оцінки відсотку використання площі перерізу стержнів за 1ГС та 2ГМ норм [9];
- 4) **аналітичний метод обробки інформації** з використанням ПК Microsoft Excel – побудова графічних залежностей для ілюстрації результатів статичних та конструктивних розрахунків.

РОЗДІЛ 4

ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНЕ ТА КОНСТРУКТИВНЕ ВИРІШЕННЯ БУДІВЛІ

4.1 Об'ємно-планувальне рішення будівлі

Структурна плита, що досліджується, з розмірами в плані 12,0х24,0 м є конструкцією перекриття на проліт спортивної зали загальноосвітньої школи в м. Буринь Сумської області.

Нижче наведено короткі характеристики самої будівлі загальноосвітньої школи, де використовується плита в якості конструктиву.

На рис. 4.1 та 4.2 наведено фасади загальноосвітньої школи в м. Буринь. На рис. 4.1 наведено план будівлі загальноосвітньої школи на 768 учнів.

Приміщення спортивної зали має розміри в плані 12,0х24,0 м та розташоване в осях Е-Ж та 1-4. Висота приміщення зали становить 7,6 м.

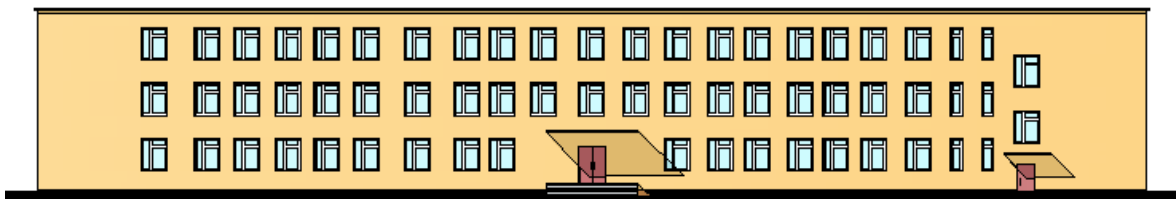


Рис. 4.1 Фасад 1-7

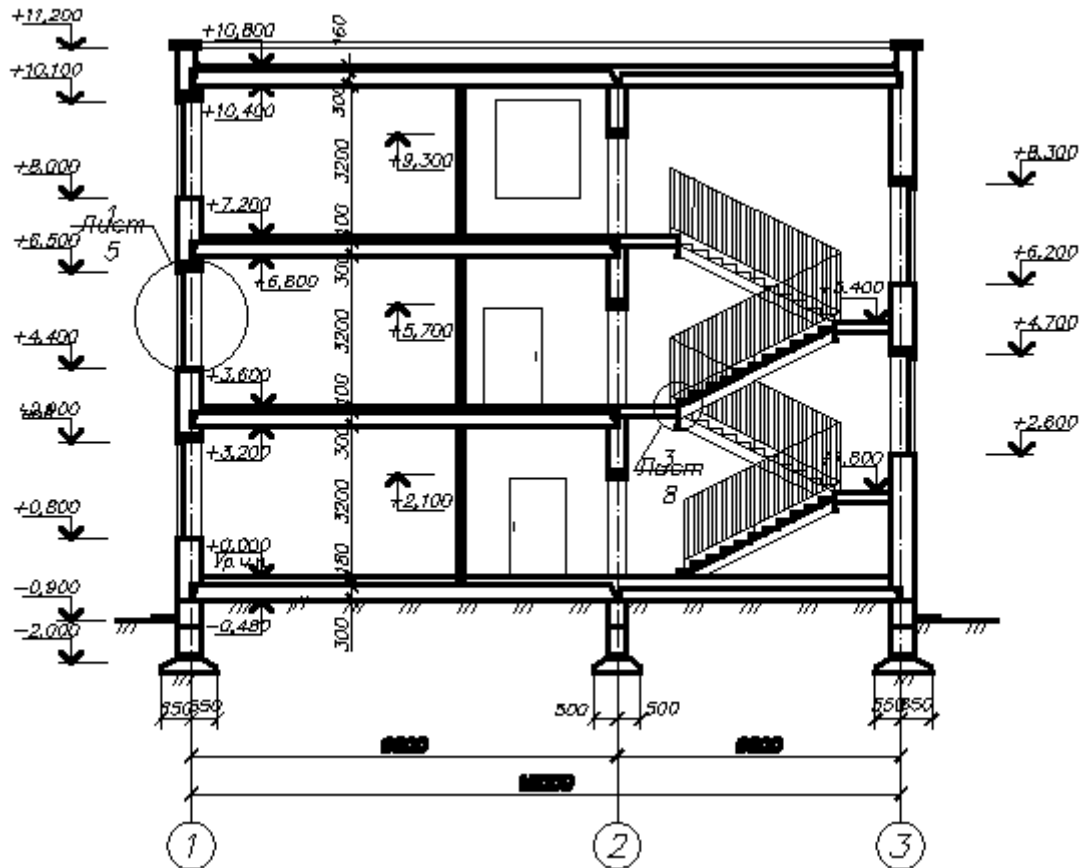


Рис.4.5 Розрізи: 1-1 (а); 2-2 (б)

4.2 Конструктивне рішення будівлі

Будівля прийнята безкаркасною з несучими цегляними стінами товщиною 510 мм. Перекриття та покриття типових поверхів прийнято із збірних залізобетонних багатопорожнистих плит.

Фундаменти – збірні, залізобетонні стрічкового типу. Складаються із збірних фундаментних блоків та збірних фундаментних плит.

В якості конструкції покриття прийнято металеву структурну плиту з розмірами в плані 12,0x24,0 м. Висоту структурної плити будемо вважати змінним параметром. Від різних значень цього розміру залежить величина зусиль в структурній плити та деформативність конструкції в цілому.

В якості об'єкту дослідження приймемо структурну плити покриття розміром 12,0x24,0 м, що є конструкцією покриття зали.

Дійсно, таке конструктивне вирішення покриття дозволяє перекрити значний проліт в 24,0 без влаштування проміжних опор, оскільки приміщення, що перекривається – це спортивна зала загальноосвітньої школи.

Традиційно простір 12,0x24,0 м перекривався залізобетонними крокв'яними балками чи фермами з прольотом 12,0. По балкам (фермам) влаштовувалися збірні залізобетонні ребристі панелі покриття (як правило, розміром 1,5x6,0 м або 3,0x6,0 м).

Такі конструкції були актуальними та доречними в епоху масового будівництва – в 70- 80-х рр. 20 століття й завдяки, в тому числі бази з виробництва збірного залізобетону. Але злегшені структурні сталеві плити можуть нині бути гарною альтернативою масивним залізобетонним несучим конструкціям покриття. Структури можуть бути застосовані в проектах реконструкції будівель громадського призначення, зокрема- шкіл.

РОЗДІЛ 5

МОДЕЛЮВАННЯ СКІНЧЕНО-ЕЛЕМЕНТНИХ СХЕМ

СТРУКТУРНОЇ ПЛИТИ

5.1 Алгоритм виконання числового експерименту

На рис.5.1 наведено алгоритм виконання числового експерименту.

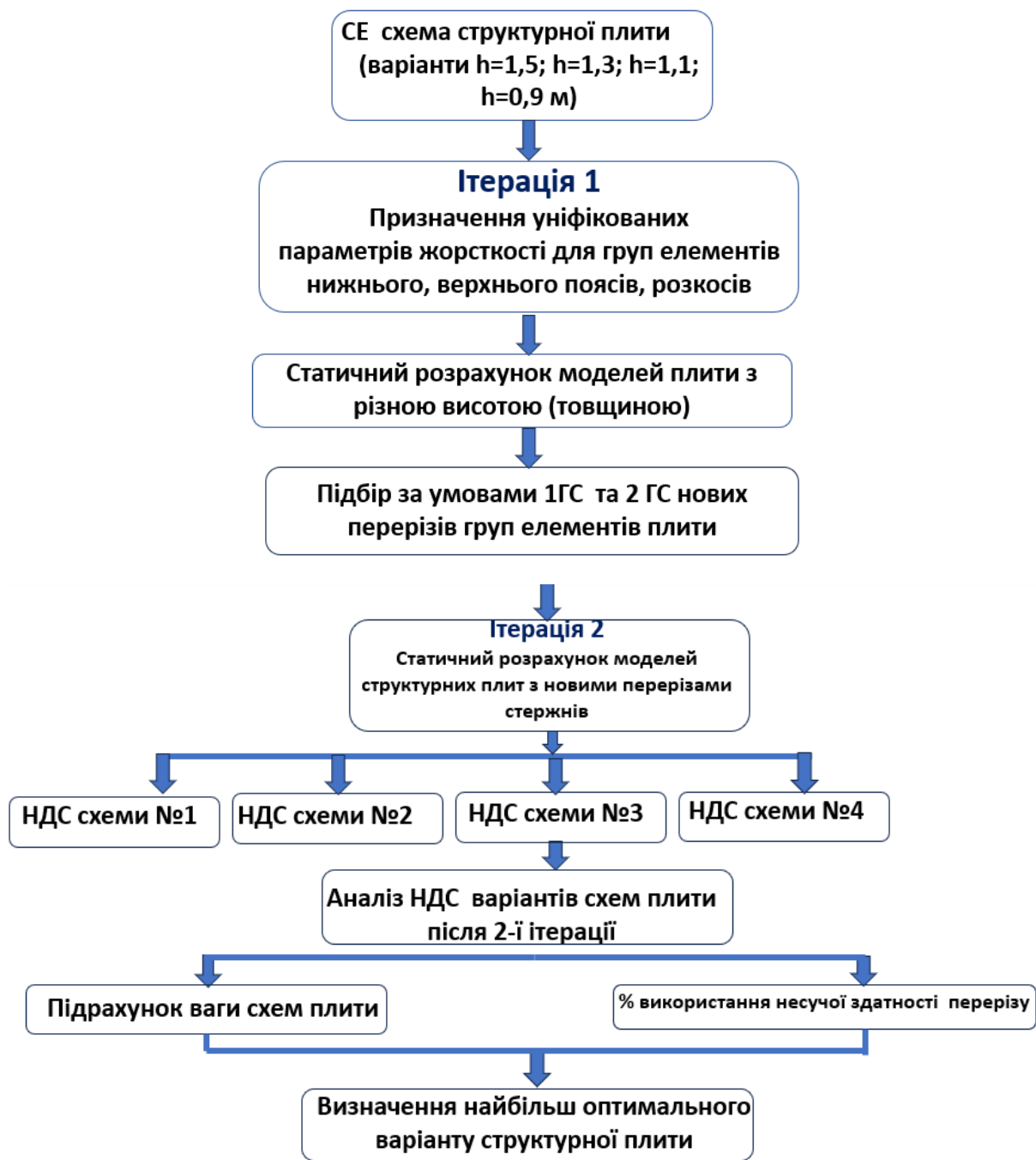


Рис. 5.1 Алгоритм виконання числового експерименту

З метою визначення за параметром оптимальної висоти найбільш ефективного рішення структурної плити прийнято чотири варіанти плити, що відрізняються між собою лише товщиною (висотою) плити (див. рис. 5.1).

Таблиця 5.1 – Варіанти розрахункових схем структурної плити 12x24 м
в залежності від прийнятої товщини

№ варіанту	h/l	Товщина плити, [м]
1	$(1/16) \cdot 24$	1,5
2	$(1/18) \cdot 24$	1,3
3	$(1/22) \cdot 24$	1,1
4	$(1/24) \cdot 24$	0,9

В рамках виконання числового експерименту планується здійснити такі етапи:

- Використовуючи ПК Ліра-САПР 2024 створити чотири скінченоелементні моделі структурної плити розміром в плані 12x24 м, що відрізнялися би одна від одної лише одним параметром - товщиною плити. Товщина плити варіюється в межах від $(1/16) l$... $(1/24) l$ й прийнято такі товщини плити: 1,5 м; 1,3 м; 1,1 м; 0,9 м.
- В розрахунковій моделі виділено три конструктивних групи стержнів: елементи верхнього поясу, елементи нижнього поясу та елементи решітки (стержні та розкоси);
- При першій ітерації цим групам елементів призначено перерізи профілю з труб (див. табл. 5.2);
- Виконується статичний розрахунок для всіх чотирьох моделей структурних плит.

За результатами статичного розрахунку та використовуючи модуль «Металеві конструкції» ПК Ліра-САПР за умовами міцності та стійкості (умовами 1-ї групи граничних станів) та умовами деформативності (2-ї групи граничних станів) автоматично підібрати нові параметри жорсткості для груп стержнів плитної конструкції;

- Виконується другий ітераційний статичний розрахунок для чотирьох моделей структурної плити з новими жорсткостями перерізів елементів;

- Аналіз напружено-деформованого стану моделей структурної плити після 2-го ітераційного розрахунку
- Аналіз відсотків використання площ перерізів згідно підбору перерізів за 1-ю та 2-ю групами граничних станів.
- Обчислення ваги кожної моделі структури за результатами конструювання після 2-го ітераційного розрахунку.
- Визначення найбільш ефективного конструктивного рішення структурної плити з-поміж чотирьох її варіантів, що досліджувалися.

5.2 Скінченоелементна модель структурної плити

В якості конструкції, що досліджується, прийнято структурну сталеву плиту (рис.5.2) з розмірами в плані 12,0x12,0 м, тобто із відношенням сторін як 1:2. Плита має ортогональну сітку поясів з розміром плоскої ячейки поясу (верхнього та нижнього 1,5 x3,0 м) - рис. 5.2.

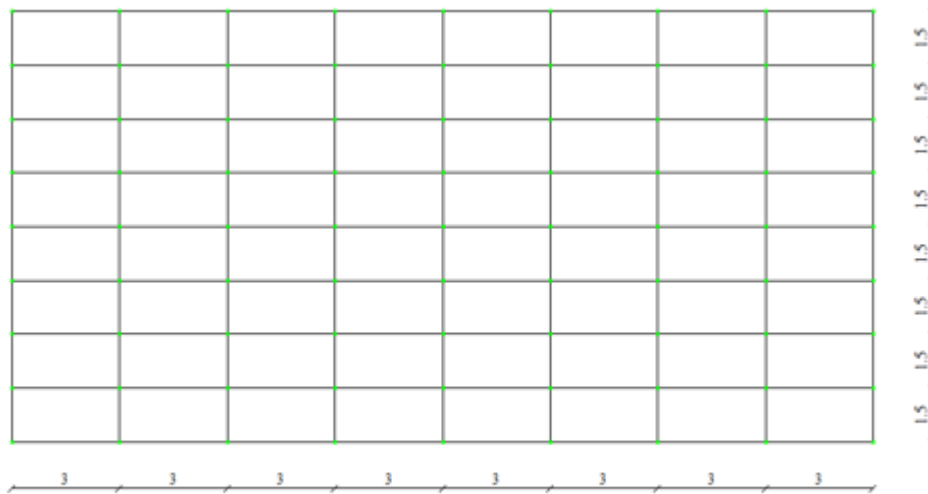


Рис. 5.2 Ортогональна сітка поясів (верхнього та нижнього)

Вузли верхнього та нижнього поясів з'єднані розкосами. За базовий елемент прийнято кристал за формою, наведеною на рис. 5.3. Він являє собою дві піраміди з прямокутною основою 1,5x3,0 м, й такі, що мають різний напрямок вершин і такі, що з'єднуються одна з одною у вершині.

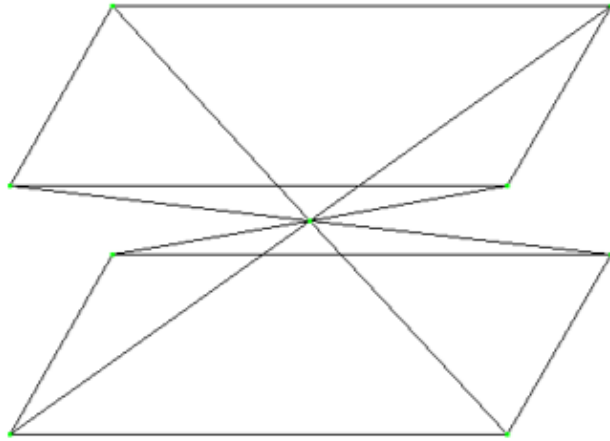
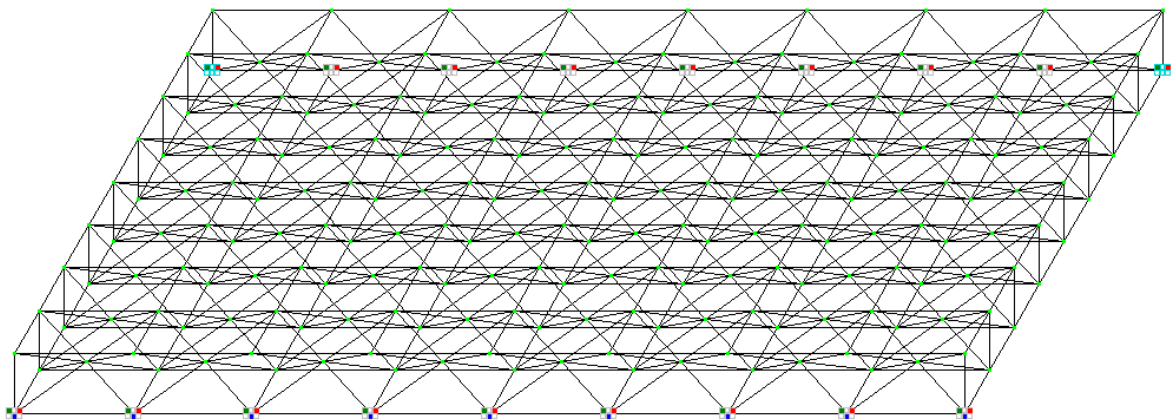


Рис.5.3 Базовий кристал, що утворює структурну плиту

Розміри в плані, навантаження, що діє на плит, вид базового формоутворюючого кристалу, спосіб спирання прийняті в якості параметрів, що не змінюються.

В якості обмежень прийнято умова міцності для стержнів, що працюють на розтяг, умова стійкості для елементів, що працюють на стиск, прийнято також обмеження за граничною гнучкістю [9] та граничний прогин конструкції [10].

За ознакою схеми №5 із стержневих елементів загального типу (СЕ №10) змодельємо скінченоелементну схему структурної плити (рис.5.4).



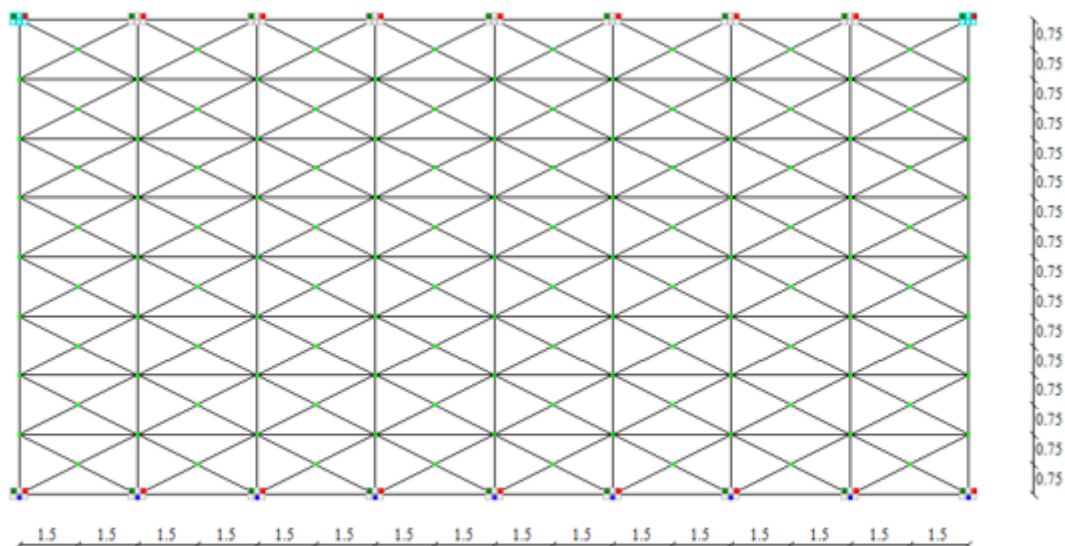


Рис.5.4 Скінченоелементна модель структурної плити за схемою №1:
ізометричний вигляд-а; вид конструкції в площині XOY

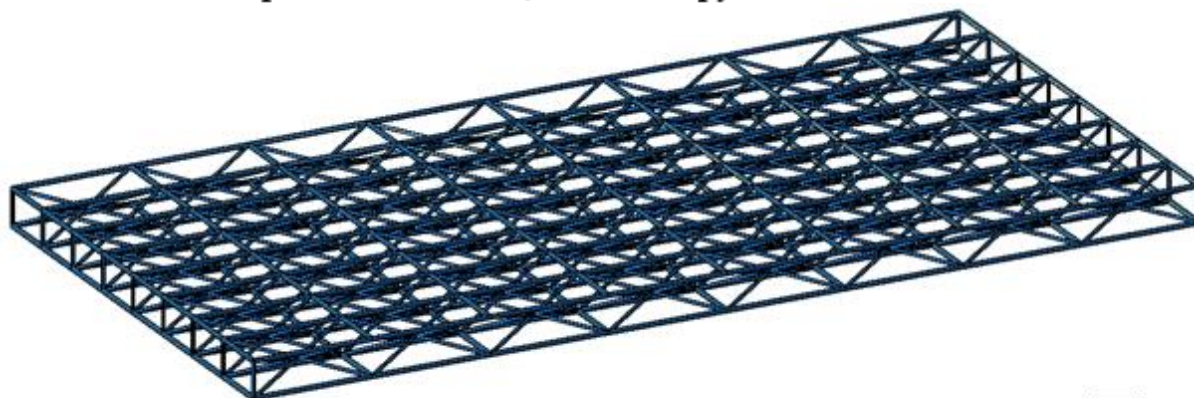
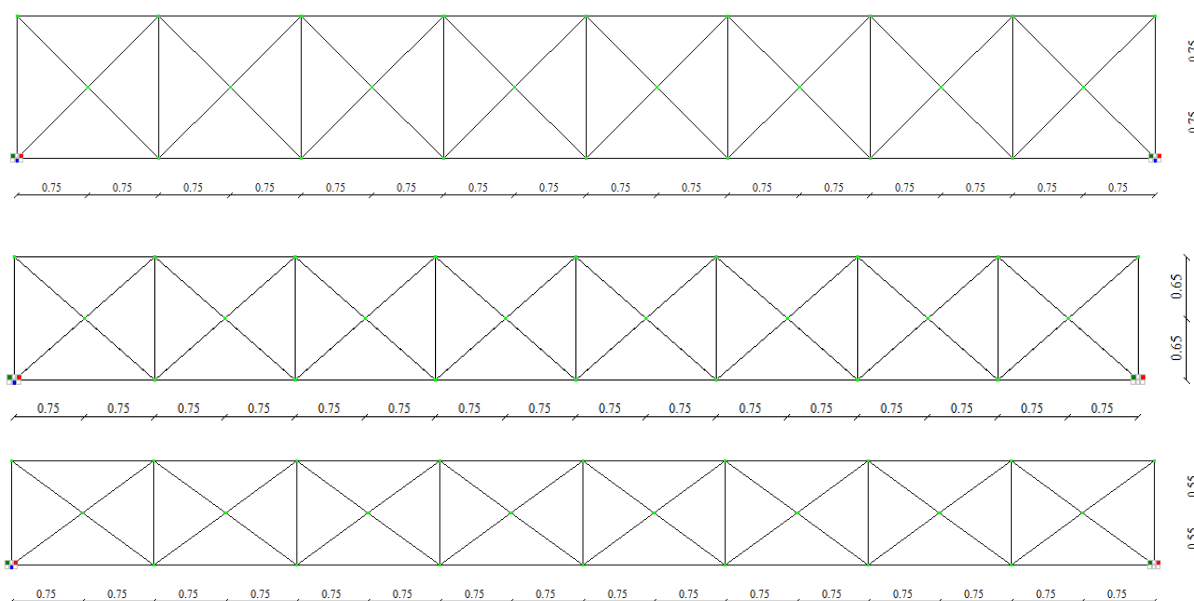


Рис. 5.5 Просторова модель структурної плити за схемою №1

На рис.5.6 наведено зображення SE моделі плити в площині XOZ за варіантами згідно таблиці 5.1.



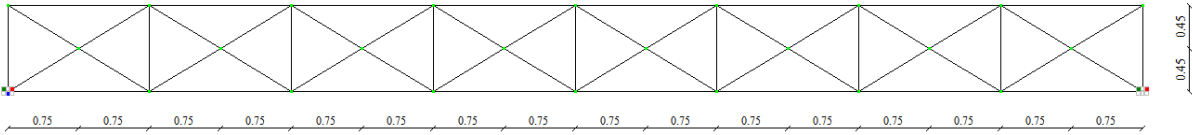


Рис.5.6 Моделі структурної плити (вид в площині XOZ): схема №1 ($h=1,5$ м)-а; схема №2 ($h=1,3$ м)-б; схема №3 ($h=1,1$ м)-в; схема №4 ($h=0,9$ м)-г

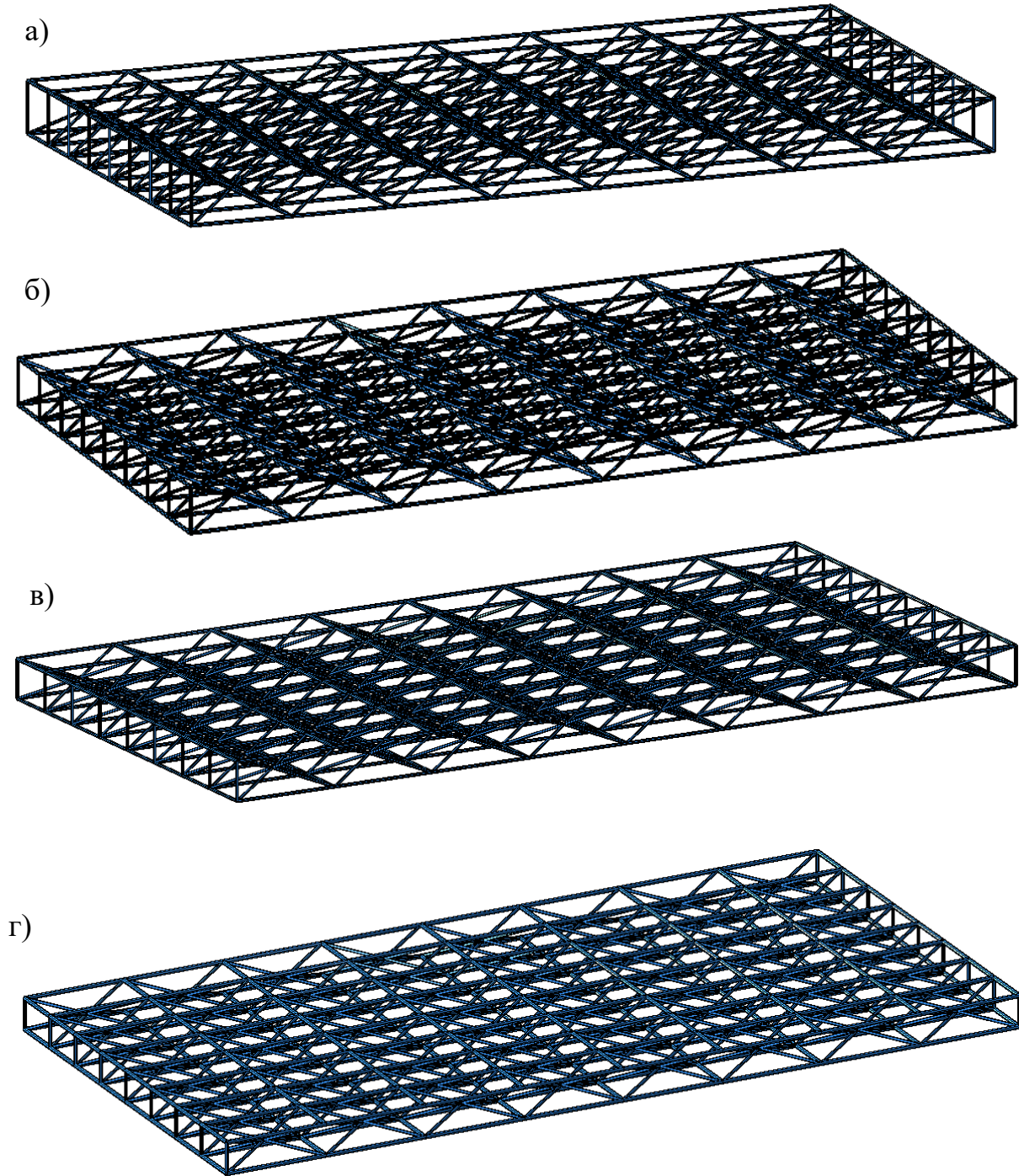


Рис.5.7 Просторові моделі структурної плити: схема №1 - а; схема №2 - б; схема №3 - в; схема №4 - г

5.3 Граничні умови, прийняті для моделей. Параметри жорсткості елементів

Для всіх моделей структурної плити прийнято шарнірне спирання по двом довгим сторонам в 24,0 м плити на дві несучі стіни (див. рис. 5.2).

З'єднання всіх елементів є шарнірним. Переріз для елементів всіх груп прийнято із труби безшовної гарячекатаної за [13].



Всі елементи плити за конструктивною ознакою класифіковано в такі групи:


- стержні верхнього поясу;
- стержні нижнього поясу;
- стержні решітки

Попередньо, за першим наближенням, прийнято параметри жорсткості для цих груп стержнів. Всі елементи конструкції прийнято із сталі С235.

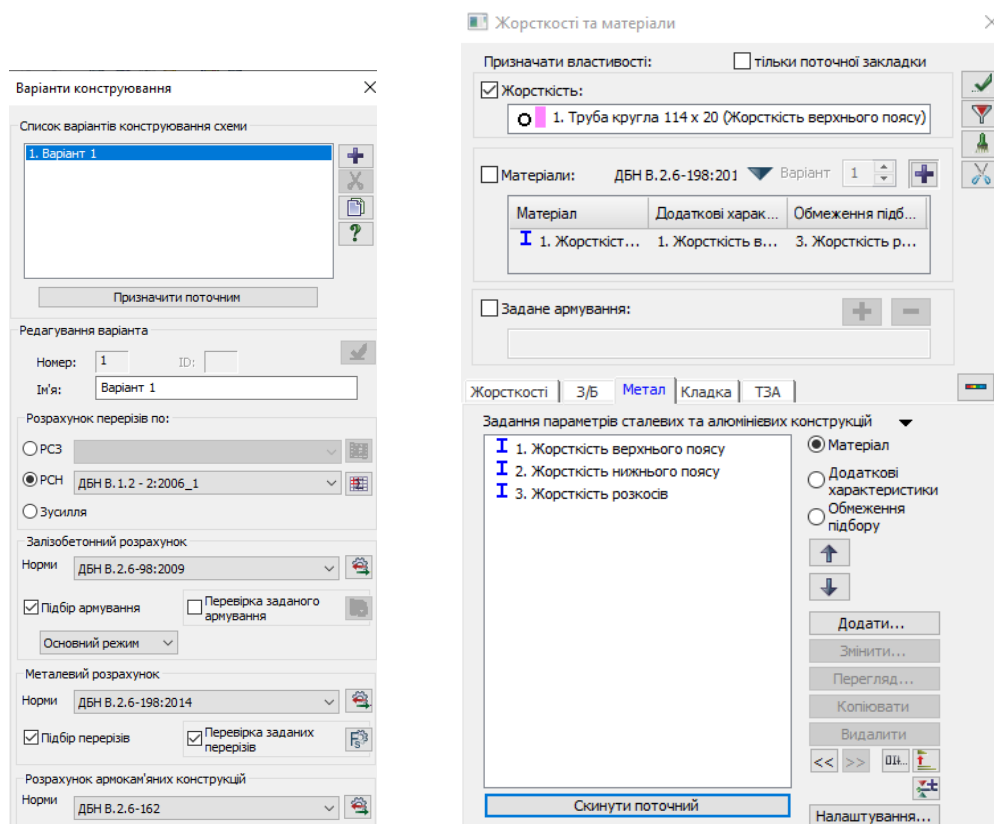
Характеристики жорсткості наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Характеристики жорсткостей конструктивних елементів структурного покриття (при ітераційному розрахунку №1)

Назва елемента	Поперечний переріз, см	Е, т/м ²	Р, т/м ³	μ	Сталь С235	q, т/м
1.Стержні верхнього поясу	Труба 114х20 ГОСТ 8732 - 78* 	2,1·10 ⁷	7,85	0,3	С235	0,046
2.Стержні нижнього поясу	Труба 114х20 ГОСТ 8732 - 78* 	2,1·10 ⁷	7,85	0,3	С235	0,046

3.Елементи решітки структурної плити	Труба 68x6 ГОСТ 8732 - 78* 	$2,1 \cdot 10^7$	7,85	0,3	C235	0,0092
---	---	------------------	------	-----	------	--------

Для подальшого автоматизованого підбору перерізів стержнів було задано параметри конструювання – метод підбору елементів за методикою РСН та норми конструювання [9].



а)

б)

Рис.5.8 Вікно варіантів конструювання-а; вікно призначення параметрів металевих конструкцій -б

При призначенні матеріалів для груп елементів було прийнято типологічно для елементів верхнього та нижнього поясів –елемент верхнього чи нижнього поясу ферми, а для елементів розкосів – типологічно елемент решітки ферми.

Розрахунок сталевих конструкцій виконувався в пружній стадії роботи матеріалу.

5.4 Навантаження на конструкцію

Основними навантаженнями, що діють на плиту, є власна вага самої металевої конструкції, власна вага всіх конструктивів, що розташовано на плиті та тимчасове снігове навантаження. Як показали дослідження [24] вітрове навантаження на структурну плиту можна не враховувати так як зусилля від вітрового навантаження становлять приблизно 1% та їх вплив на напружено-деформований стан плити не є суттєвим.

Оскільки будівля школи зводиться в місті Суми, то величина снігового навантаження згідно норм [11] становить 167 кг/м^2 .

Оскільки ухил елементів верхнього поясу структури становить $\alpha < 30^\circ$, то прийнято розподіл снігового покриву як рівномірний по всьому покриттю.

Прийнято три типи завантаження: Завантаження 1 (постійне, власна вага структури), Завантаження 2 (постійне, власна вага конструктивних шарів), Завантаження 3 (тимчасове снігове навантаження) – див. рис.5.9.

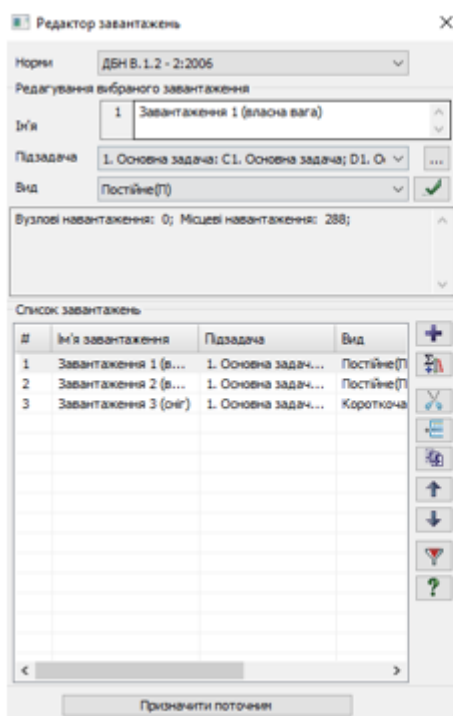


Рис. 5.9 Вікно призначення навантажень на структурну плиту

В таблиці 5.3 наведено збір навантажень на 1 м² структурної плити.

Таблиця 5.3- Збір навантажень на 1 м² структурної плити

№ з/п	Назва конструктиву	Нормативне значення, кг/м ²	Коефіцієнт надійності за навантаженням γ_f	Розрахункове значення, кг/м ²
1	Наплавляемий евроруберойд «Акваізол»	10	1,2	12
2	Утеплювач – плити мінераловатні підвищеної жорсткості на синтетичному в'язучому	10	1,3	13
3	Пароізоляція – 1 шар руберойду	5	1,2	6
4	Профнастил	15	1,1	16,5
5	Прогони покриття із гнучого профілю [18 (14,96 кгс/м.п)]	1,29	1,1	1,42
6	Власна вага структури	Задається в ПК ЛІРА-САПР автоматично		
ВСЬОГО ПОСТІЙНЕ:		116,1		138,421
	<i>Тимчасове</i>			
7	Снігове (за ДБН В .1.2-2:2006)	167	1,14	190,38
ВСЬОГО ТИМЧАСОВЕ:		167		
РАЗОМ пост+тимч. без врахування власн. ваги структурної плити		244,18		328,8

Для аналізу прогинів структурної плити були створені комбінації завантажень, що враховувала характеристичні постійні та довготривалі навантаження. Оскільки в розрахунковій схемі було прикладено розрахункові навантаження, то постійні навантаження враховувалися з коефіцієнтом $1/1,05=0,925$. Для виокремлення довготривалої частини тимчасового (снігового) навантаження слід помножити її характеристичне

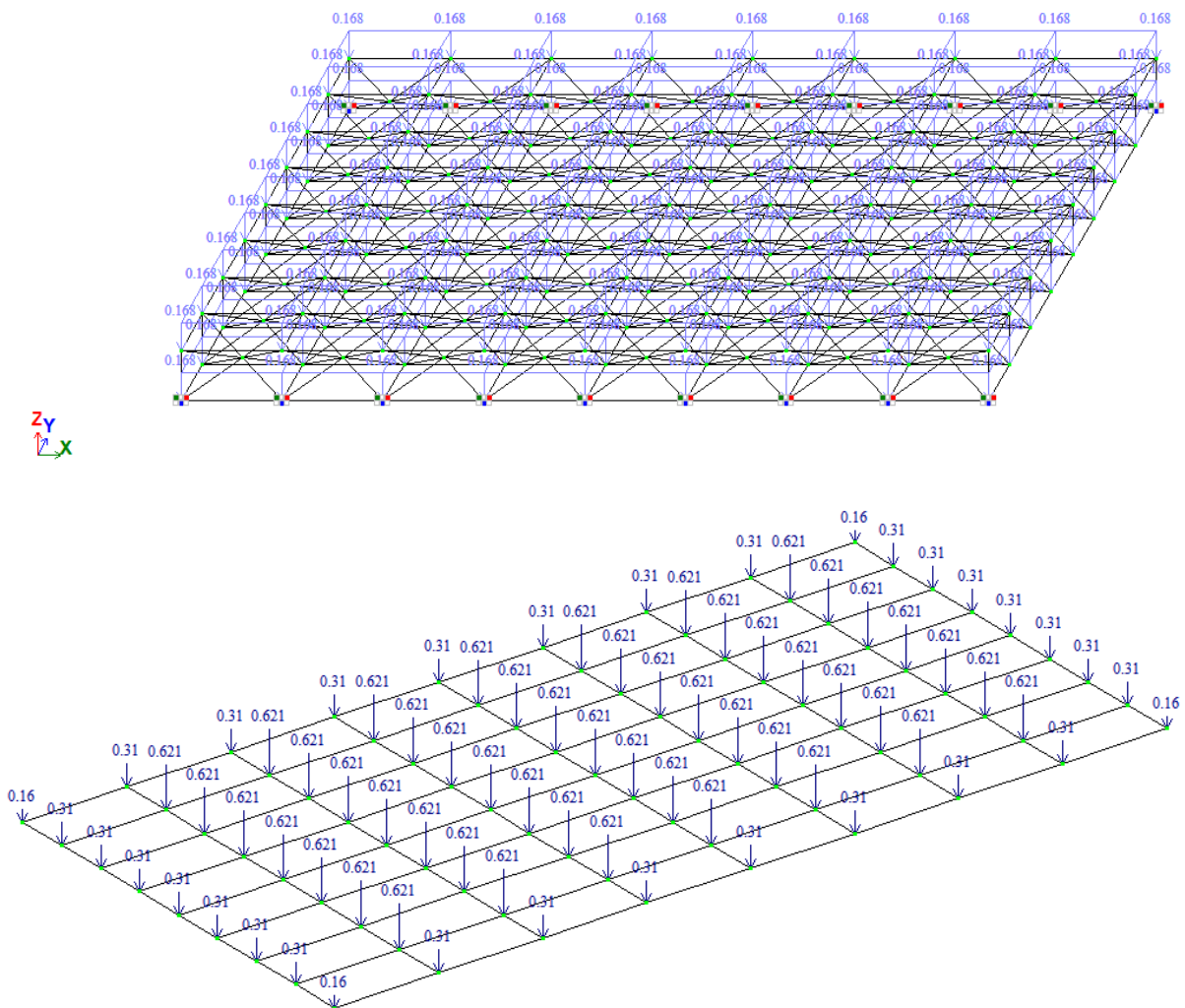
значення на частку тривалості (понижуючий коефіцієнт). Отже для снігового навантаження враховувався коефіцієнт $(1/1,14)=0,877$. Отже, комбінація завантажень для аналізу прогинів є такою:

$$(L_1) \cdot 0,952 + (L_2) \cdot 0,952 + (L_3) \cdot 0,877, \text{ де}$$

L_1, L_2, L_3 – завантаження № 1, 2 та 3 відповідно.

На рис. 5.10 наведено завантаження згідно рис. 5.9.

1. Завантаження 1 (власна вага)



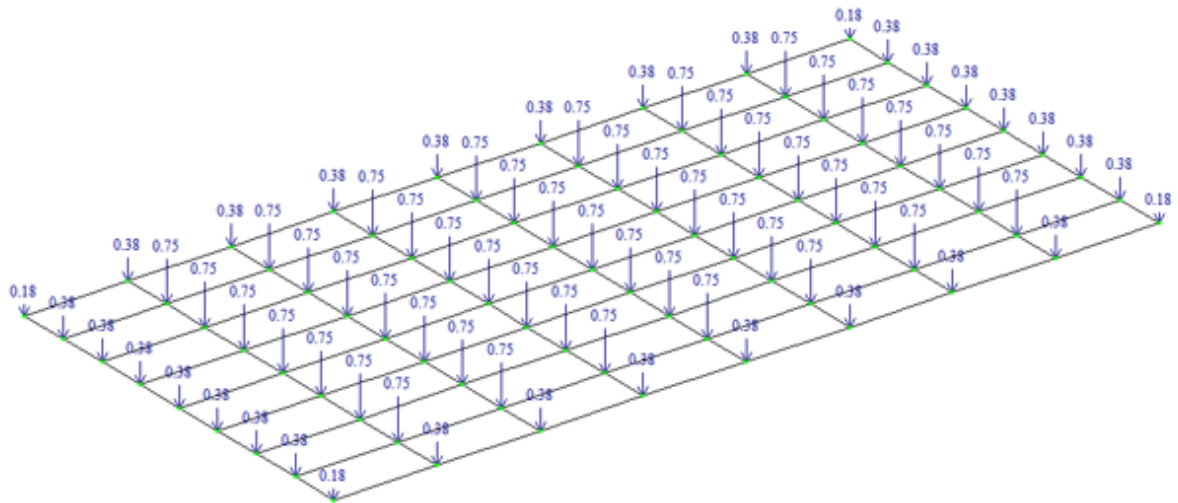


Рис. 5.10 Навантаження на СЕ модель плити: власна вага конструкції -а; навантаження в узли верхнього поясу в Завантаженні 1 - б; навантаження в узли верхнього поясу в Завантаженні 2-в

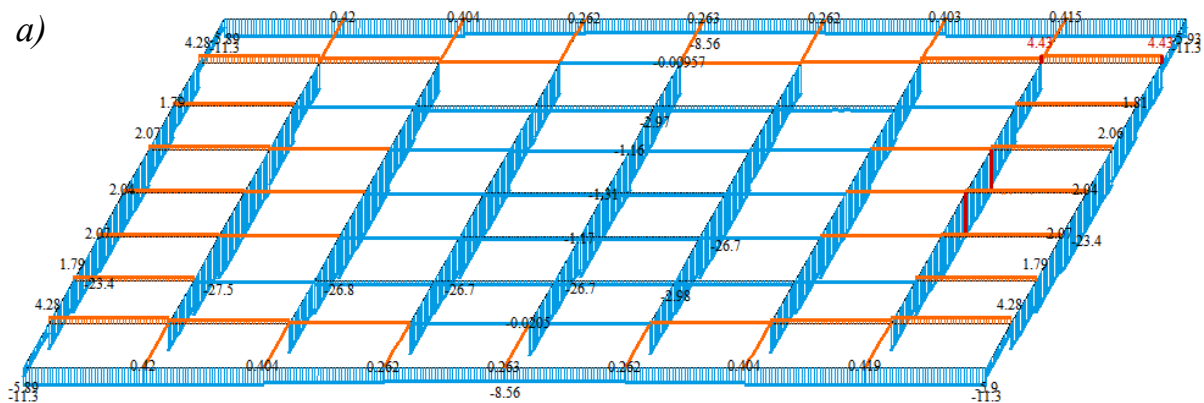
РОЗДІЛ 6

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ СТАТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ

6.1 Напружено-деформований стан після 1-го ітераційного розрахунку

За призначеними первісними жорсткостями елементів плити (див. табл. 5.2) було виконано перший ітераційний розрахунок. Результати цього 1-го ітераційного розрахунку наведено нижче.

На рис. 6.1-6.3 наведено епюри внутрішніх зусиль- осьового зусилля N в елементах структурної плити.



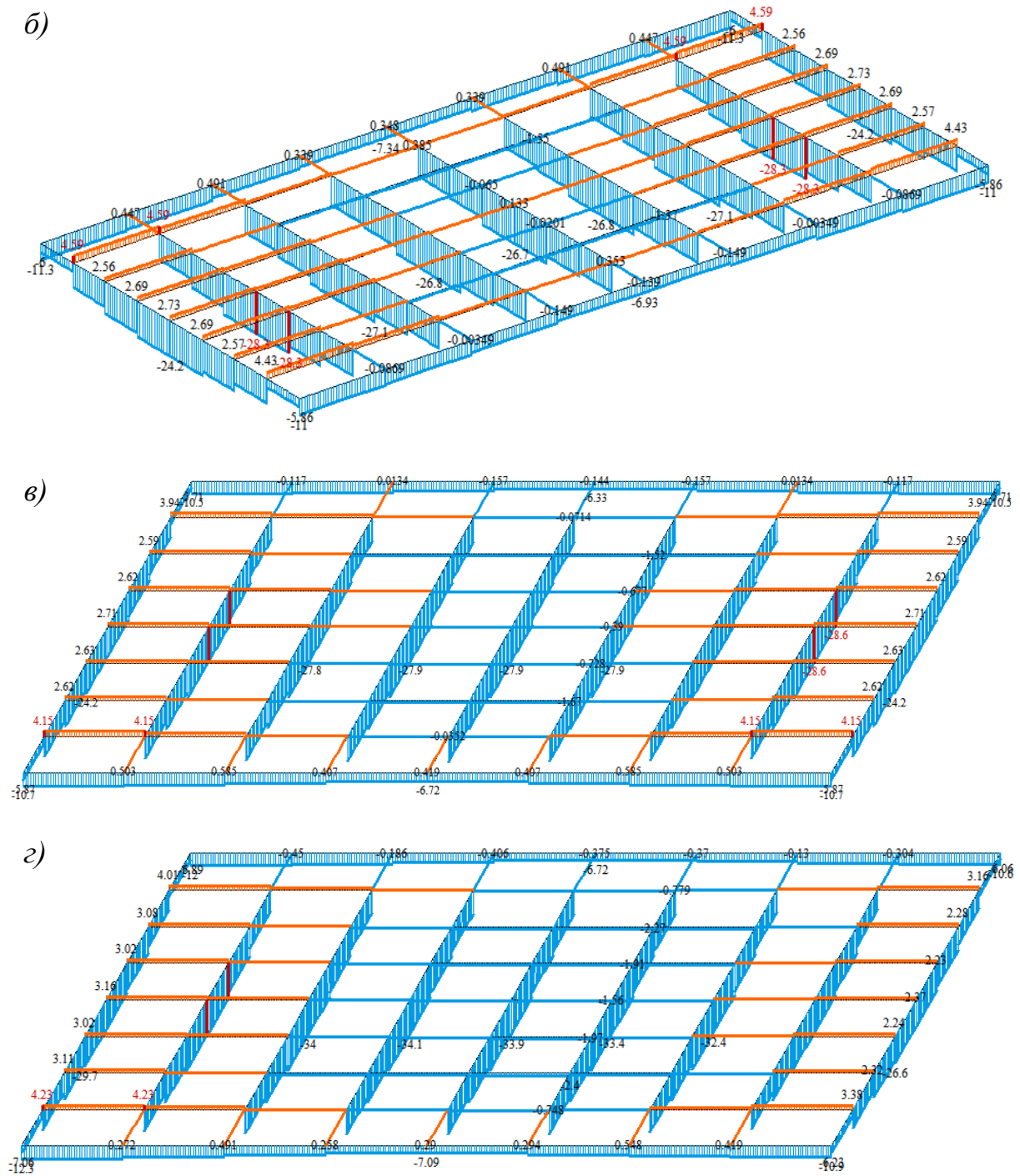


Рис.6.1 Зусилля N у верхньому поясі структури після першого ітерційного розрахунку: в схемі №1-а; в схемі №2-б; в схемі №3-в; в схемі №4-г

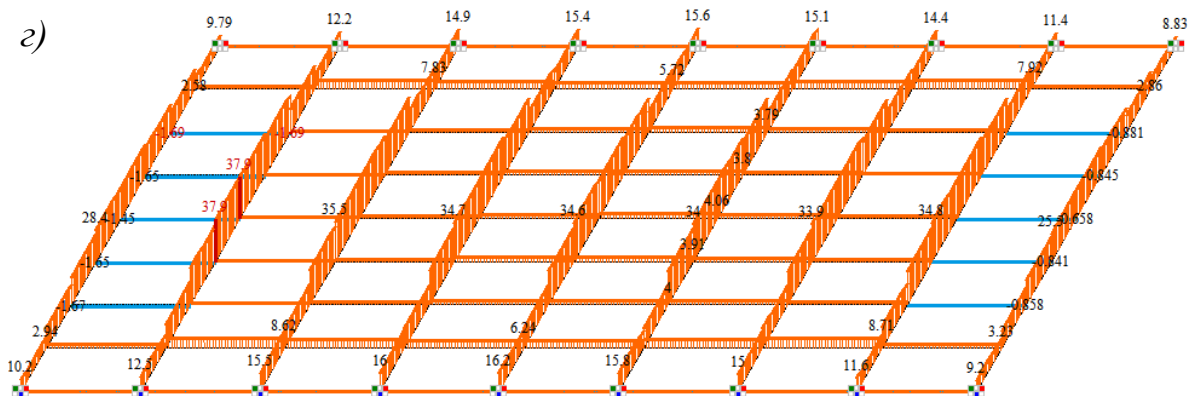
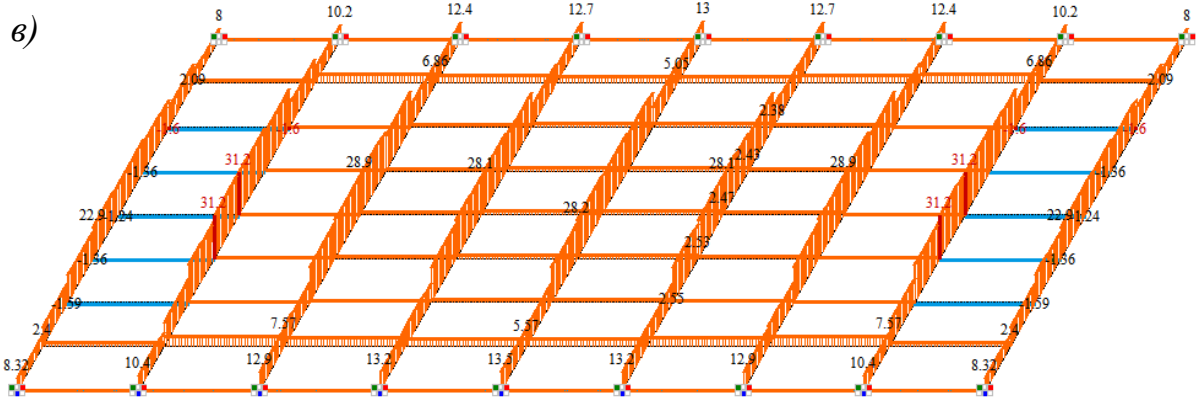
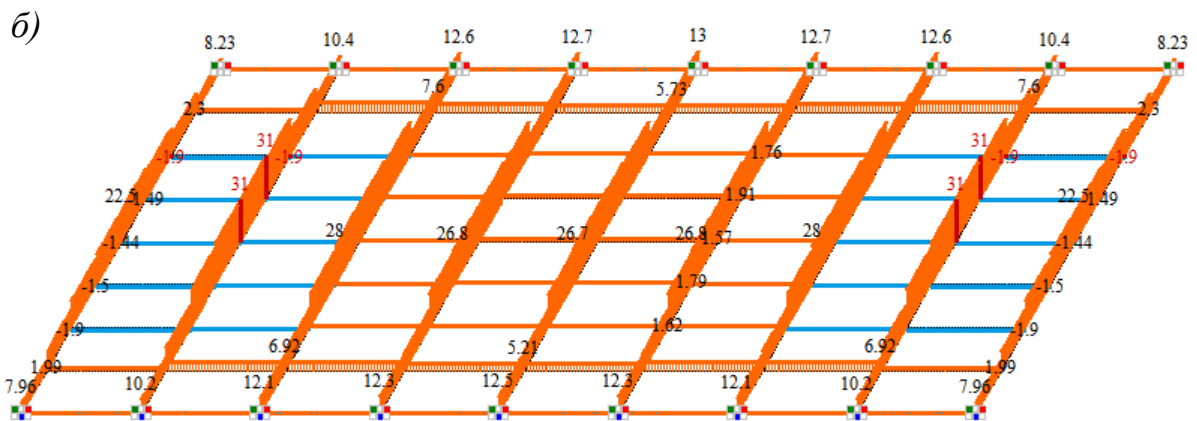
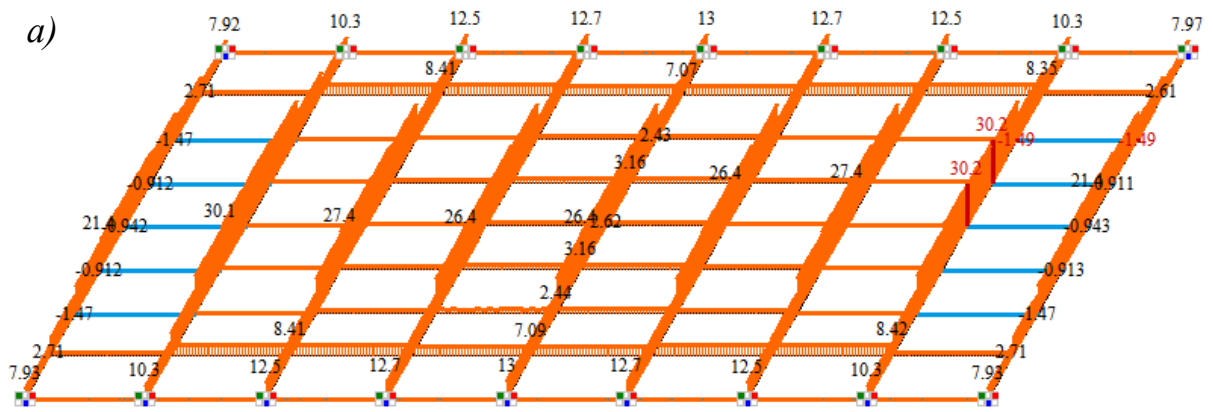


Рис.6.2 Зусилля N в нижньому поясі структури після першого ітераційного розрахунку: в схемі №1-а; в схемі №2-б; в схемі №3-в; в схемі №4-г

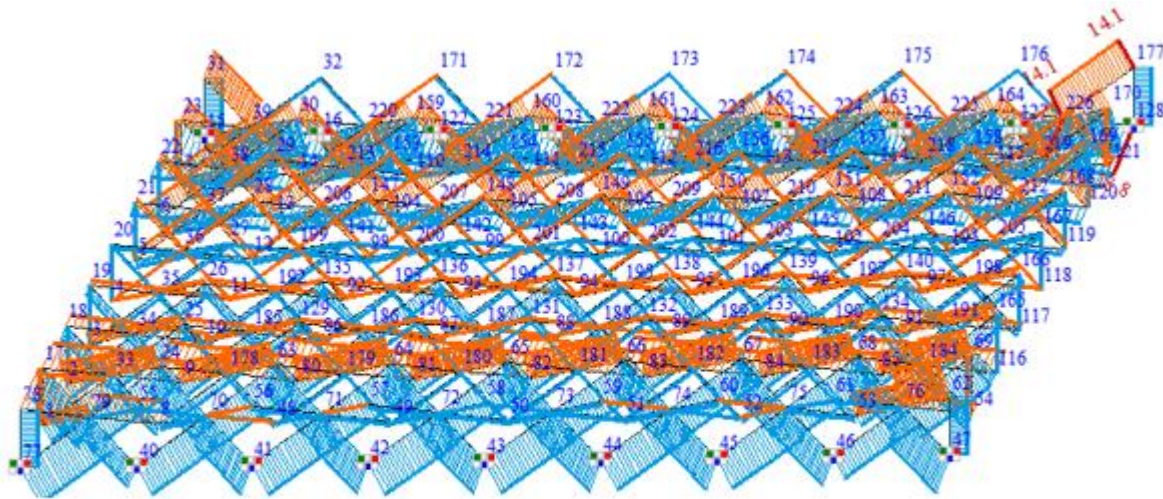


Рис. 6.3 Зусилля N в розкосах та стійках структури після першого ітераційного розрахунку в схемі №1

В таблицях 61.-6.3 наведено максимальні значення осевого зусилля в стержнях моделей плити.

2.PCH10(ДБН В.1.2.-2:2006_1)
Епора переміщ Z1
Одиниці виміру - мм

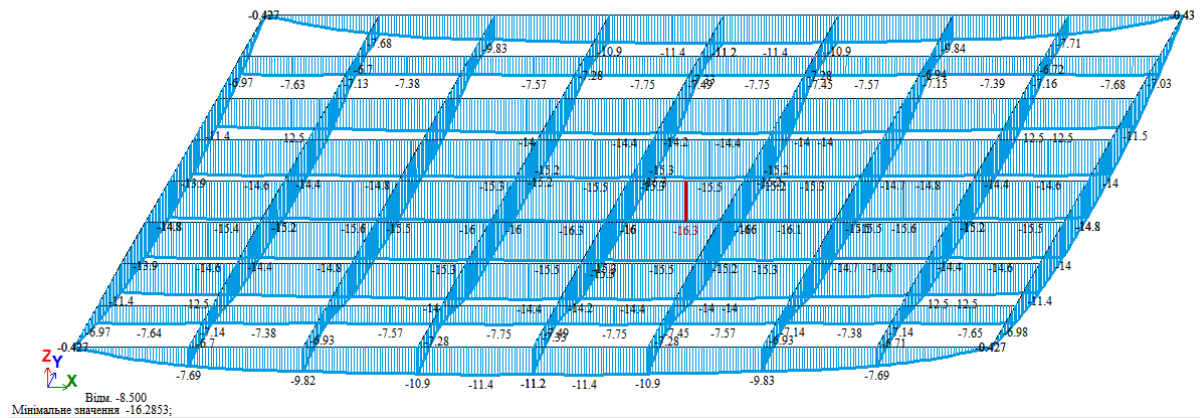


Рис. 6.4 Епюри прогинів f_z [мм] стержнів верхнього поясу від РСН2 після 1-ї ітерації для схеми №1

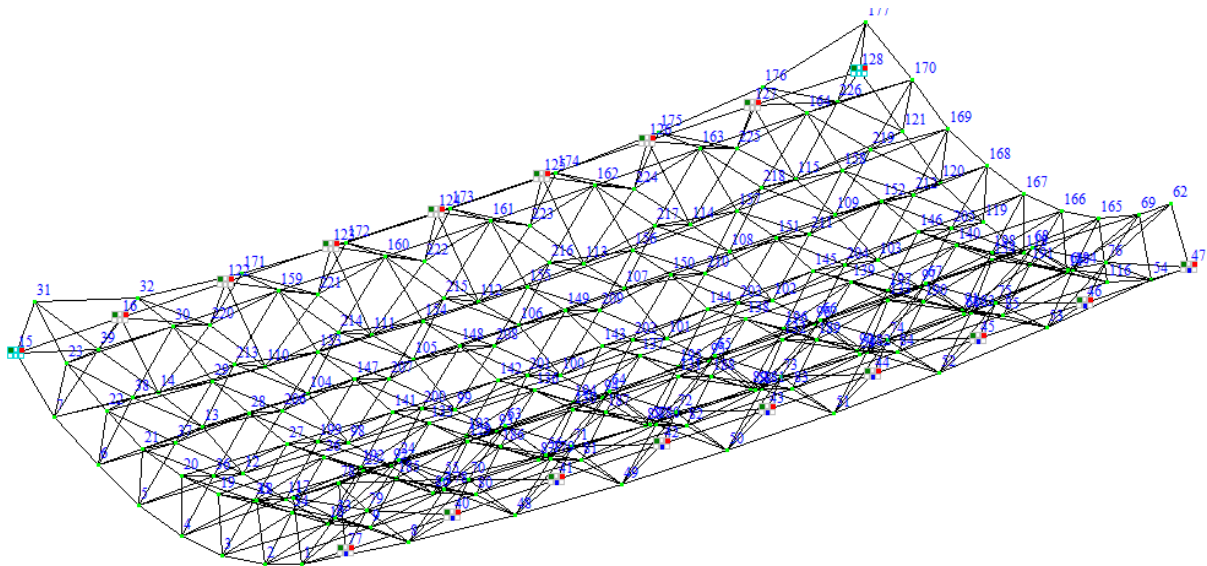


Рис. 6.5 Деформована схема №1 плити (товщиною 150 см) після 1-го ітераційного розрахунку

На рис. 6.7 наведено графіки переміщень вздовж осі Z в перерізі 1-1 (рис. 6.7) після 1-го ітераційного розрахунку.

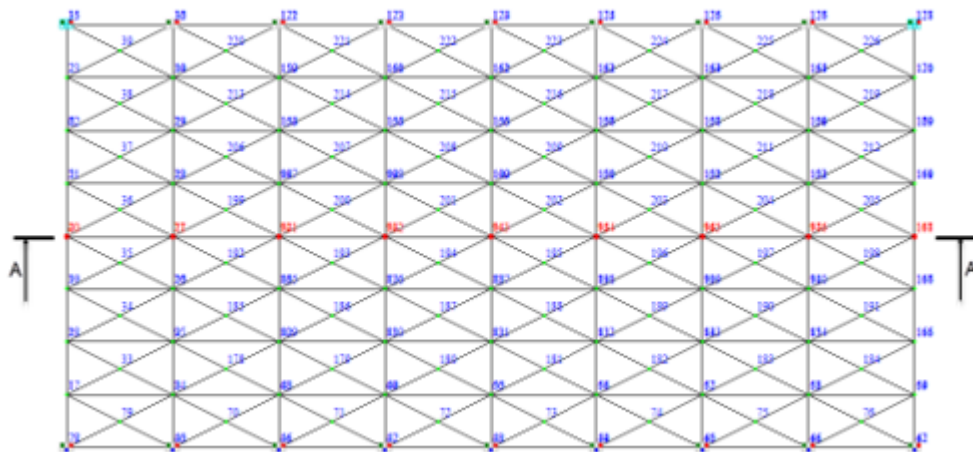


Рис. 6.6 Розрахунковий переріз 1-1 для аналізу величин переміщень вузлів

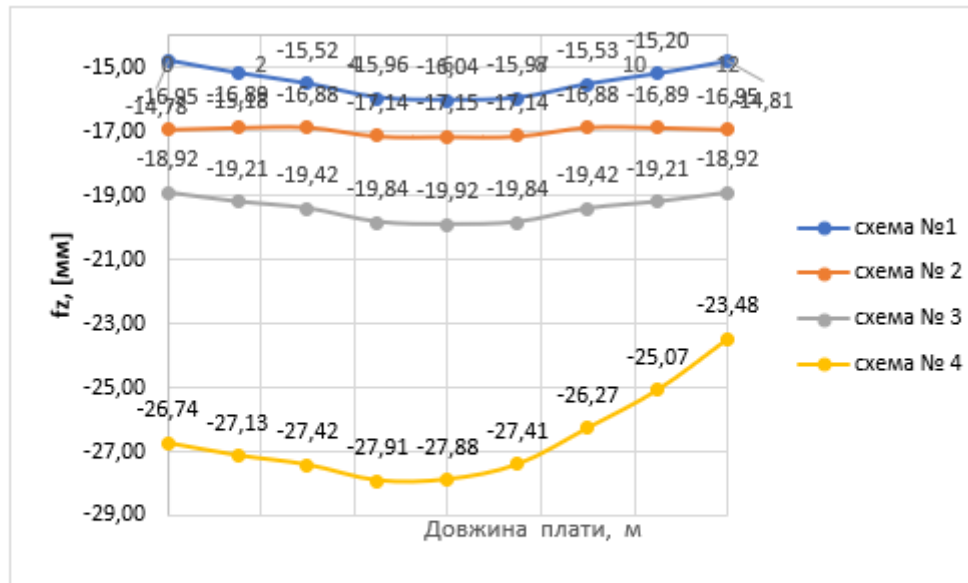


Рис. 6.7 Графіки переміщень вздовж осі Z в перерізі 1-1 після 1-го ітераційного розрахунку

Таблиця 6.1 Переміщення вузлів f_z після 1-го ітераційного розрахунку

Проліт, м	Переміщення вузлів, f_z [мм]			
	Схема №1	Схема №2	Схема №2	Схема №4
0	-14,78	-16,95	-18,92	-26,74
3	-15,18	-16,89	-19,21	-27,13
6	-15,52	-16,88	-19,42	-27,42
9	-15,96	-17,14	-19,84	-27,91
12	-16,04	-17,15	-19,92	-27,88
15	-15,97	-17,14	-19,84	-27,41
18	-15,53	-16,88	-19,42	-26,27
21	-15,20	-16,89	-19,21	-25,07
24	-14,81	-16,95	-18,92	-23,48

6.2 Нові параметри жорсткостей елементів конструкції за результатами 1-го ітераційного розрахунку

На основі зусиль, обчислених при жорсткостях 1-го типу (табл.5.2) були обчислено зусилля та деформації всіх моделей плит (рис. 6.1-6.7).

На основ цих результатів статичного розрахунку автоматизовано в модулі «Металеві конструкції» з урахуванням параметрів конструювання та згідно призначених параметрів матеріалу було перераховані нові розміри трубчатих перерізів елементів моделей структур. Розрахунок виконувався згідно норм [9] й згідно перевірок умов 1-ї т 2-ї груп граничних станів запропоновано нові профілі (табл. 6.2 – 6.4) для всіх конструктивних груп стержнів.

Таблиця 6.2 Жорсткості елементів верхнього поясу після ітераційного розрахунку №1

№ схеми	№ типу перерізу	Сталь	Профіль труби	Вага 1м.п. профілю, т	Довжина стержнів поясу, м	Вага, т
1	1	C235	ТБ102 х 4	0,00849859	324	2,75
2	1	C235	ТБ102 х 3,5	0,00849859	324	2,75
3	24	C235	ТБ102х4	0,00849859	324	2,75
4	8	C235	ТБ127х4	0,0121285	324	3,93

Таблиця 6.3 – Жорсткості елементів нижнього поясу після ітераційного розрахунку №1

№ схеми	№ типу перерізу	сталь	Профіль труби	Вага 1м.п. профілю, т	Довжина стержнів поясу, м	Вага, т
1	52	C235	ТБ102 х 3,5	0,00849859	324	2,75

2	27	C235	ТБ102 х 3,5	0,00849859	324	2,75
3	61	C235	ТБ89х4,5	0,00937371	324	3,04
4	6	C236	ТБ108х5	0,0126955	324	4,11

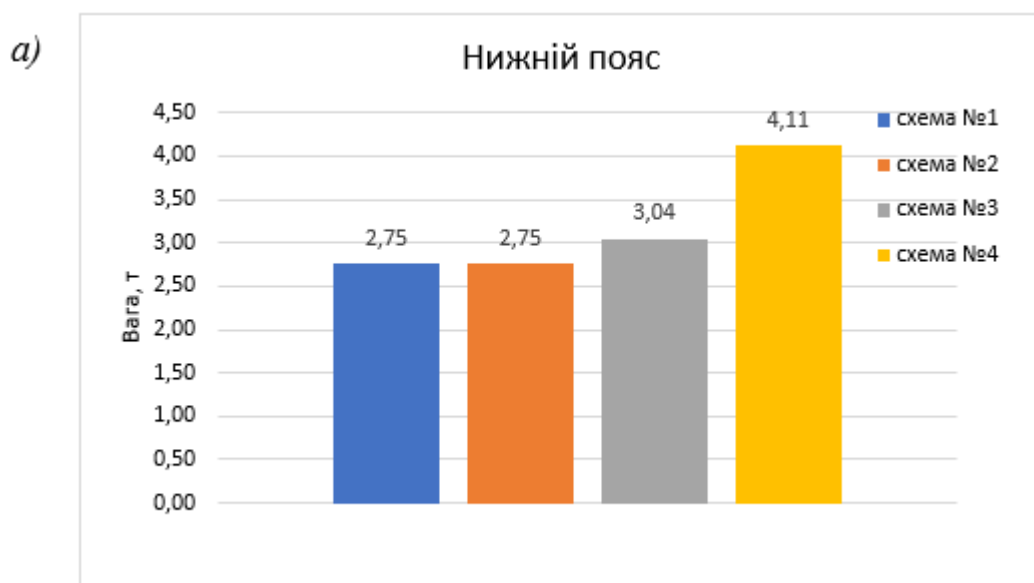
Таблиця 6.4 – Жорсткості розкосів після ітераційного розрахунку №1

№ схеми	№ типу перерізу	Сталь	Профіль труби	Вага 1м.п. профілю, т	Довжина стержнів поясу, м	Вага, т
1	88	C235	ТБ83х3,5	0,00685926	495,48	3,40
2	102	C235	ТБ83х3,5	0,00685926	484,2	3,32
3	105	C235	ТБ76х3	0,00539867	470,36	2,54
4	138	C235	ТБ89х3,5	0,00737694	461,64	3,41

Для кожної групи конструктивних елементів як уніфікований, єдиний профіль було прийнято максимальні діаметр профілю труби, запропонований в модулі «Металеві конструкції».

Згідно нових профілів труби було підраховано вагу кожної конструктивної моделі. Підрахунок ваги моделей наведено в табл. 6.5 -6.8.

На рис. 6.8 наведено графічне відображення підрахунків в таблицях 6.2-6.4.



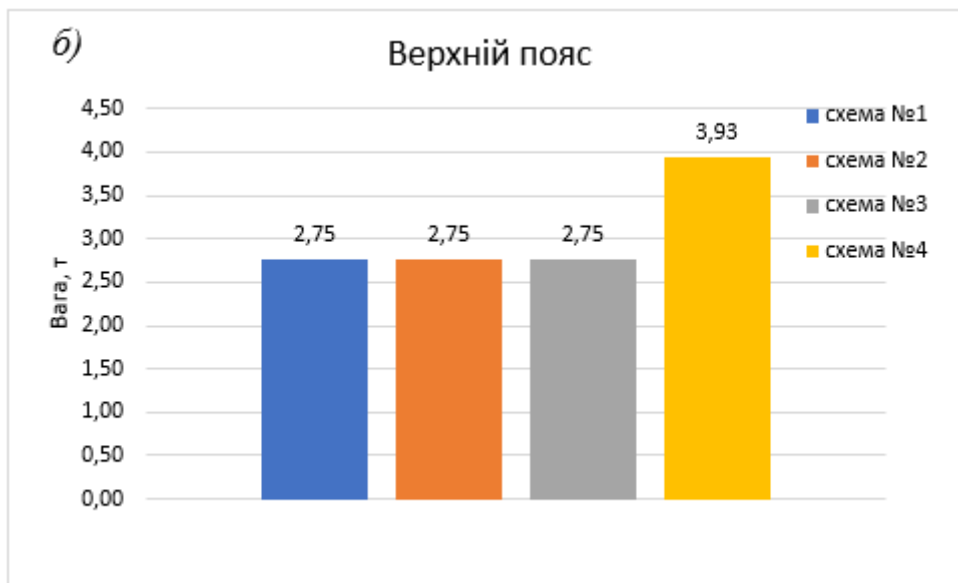


Рис. 6.8 Вага конструктивних груп елементів після 2-го ітераційного розрахунку: для елементів верхнього поясу -а; для елементів нижнього поясу-б; для елементів решітки структурної плити-в

На рис. 6.9 наведено мозаїки результатів підбору в модулі «Металеві конструкції» ПК Ліра-САПР згідно 1-го ітераційного розрахунку сталевих елементів з підібраними поперечними перерізами та показано відсотки несучої здатності перерізу (значення внизу кольорової шкали).

Рис.6.9 Підбір в модулі «Металеві конструкції» нових перерізів для груп стержнів для схеми №3 за умовою 1-ї групи граничних станів після 1-го ітераційного розрахунку: для стержнів верхнього поясу – *a*; для стержнів нижнього поясу – *б*; для стержнів решітки – *в*

Таблиця 6.5 – Вага схеми плити схеми №1

№ схеми	№ типу перерізу	Сталь	Профіль труби	Вага 1м.п. профілю, т	Довжина стержнів поясу, м	Вага, т
Верхній пояс	1	C235	ТБ102 х 4	0,00849859	324	2,75
Нижній пояс	52	C235	ТБ102 х 3,5	0,00849859	324	2,75
Розкоси	88	C235	ТБ83х3,5	0,00685926	495,48	3,40

Всього: 8,91

Таблиця 6.6 –Вага схеми плити схеми №2

№ схеми	№ типу перерізу	Сталь	Профіль труби	Вага 1м.п. профілю, т	Довжина стержнів поясу, м	Вага, т
Верхній пояс	1	C235	ТБ102 х 3,5	0,00849859	324	2,75
Нижній пояс	27	C235	ТБ102 х 3,5	0,00849859	324	2,75
Розкоси	102	C235	ТБ83х3,5	0,00685926	484,2	3,32

Всього: 8,83

Таблиця 6.7 Вага схеми плити схеми №3

№ схеми	№ типу перерізу	сталь	Профіль труби	Вага 1м.п. профілю, т	Довжина стержнів поясу, м	Вага, т
Верхній пояс	24	C235	ТБ102х4	0,00849859	324	2,75
Нижній пояс	61	C235	ТБ89х4,5	0,00937371	324	3,04
Розкоси	105	C235	ТБ76х3	0,00539867	470,36	2,54

Всього: 8,33

Таблиця 6.8 Вага схеми плити схеми №4

№ схеми	№ типу перерізу	сталь	Профіль труби	Вага 1м.п. профілю, т	Довжина стержнів поясу, м	Вага, т
Верхній пояс	8	C235	ТБ127х4	0,0121285	324	3,93
Нижній пояс	6	C236	ТБ108х5	0,0126955	324	4,11
Розкоси	138	C235	ТБ89х3,5	0,00737694	461,64	3,41
Всього:						11,45

На рис. 6.10 наведено графічну ілюстрацію підрахунку ваги моделей плити в таблицях 6.5-6.8.

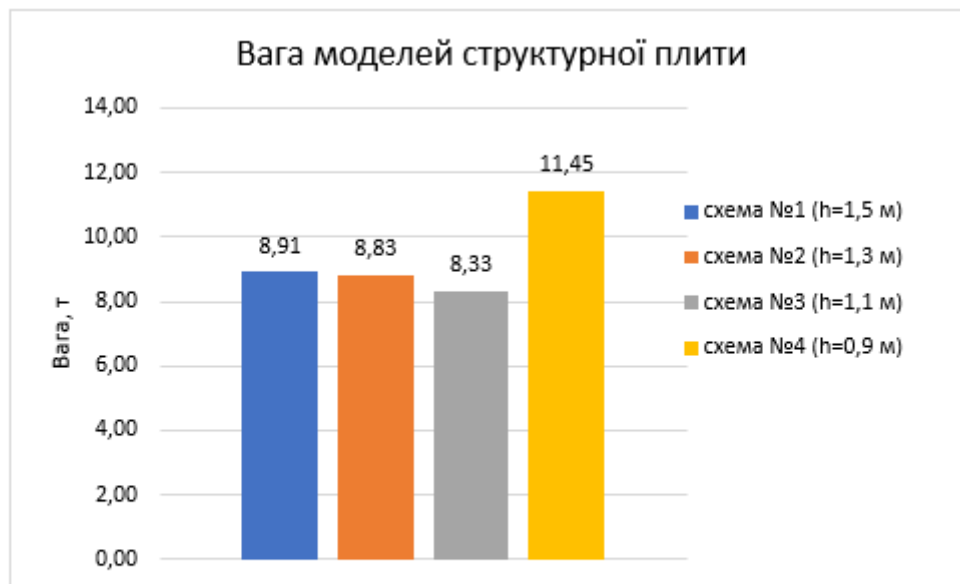


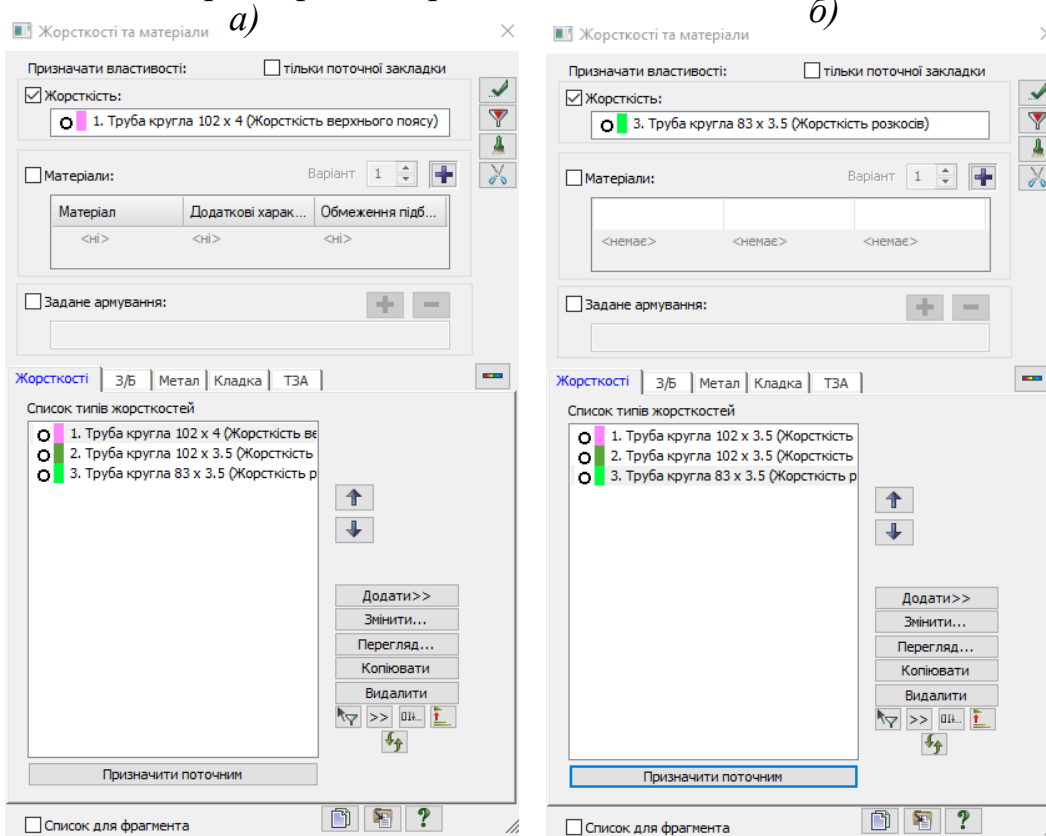
Рис. 6.10–Вага моделей структурної плити згідно нових форм перерізу, підібраних після 1-го ітераційного розрахунку

Так, із таблиць 6.5-6.8 та рис. 6.9 видно, що найменша вага буде у моделі плити з висотою в 1,1 м. Найбільшою вагою характеризується модель №4 з висотою 0,9 м. Різниця у вазі цих плит з найменшою та найбільшою вагою становить 1,37 рази.

Отже, за критерієм матеріалоемності, найбільш ефективною з-поміж варіантів, що досліджувалися, є модель плити за схемою №3.

6.3 Ітераційний розрахунок №2

За результати підбору нових перерізів елементів плити (табл. 6.2-6.4.) було призначено нові параметри жорсткості для елементів розрахункових схем. Було виконано 2-й ітераційний статичний розрахунок моделей плити із новими параметрами жорсткостей.



в)

г)

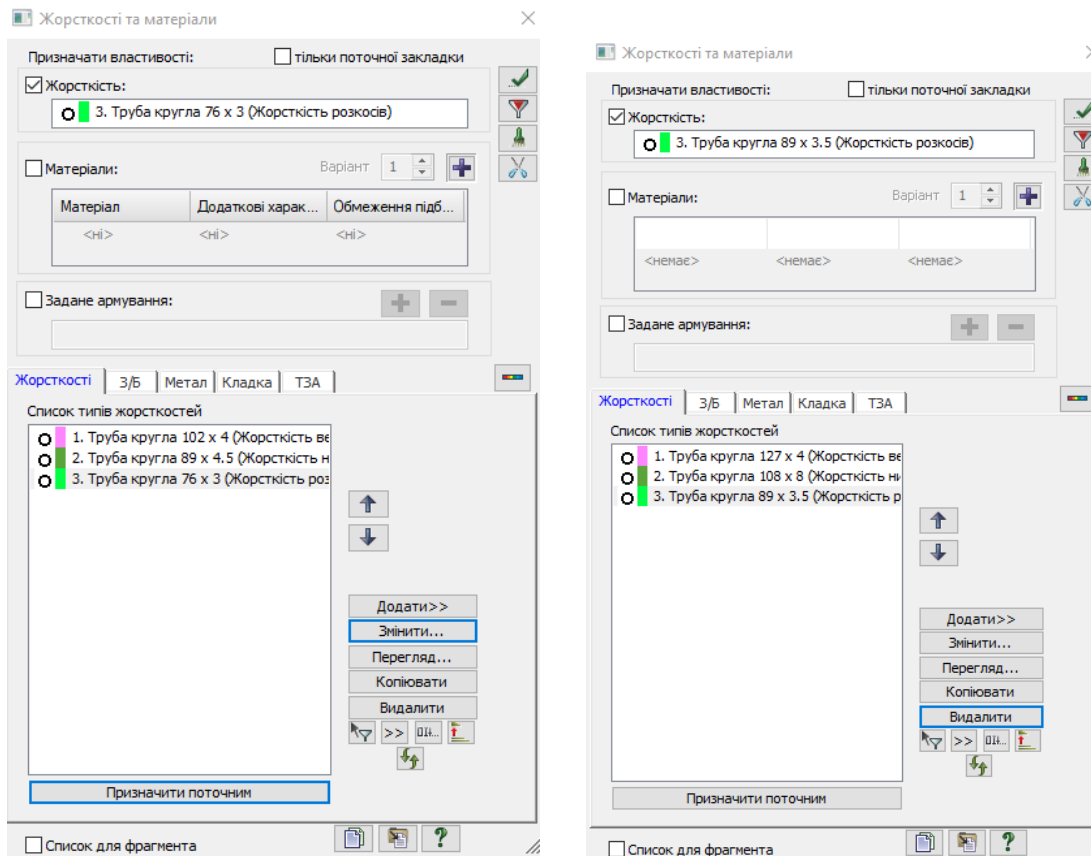


Рис. 6.11 Діалогове вікно параметрів жорсткості для 2-го ітераційного розрахунку: для схеми №1-а; для схеми №2-б; для схеми №3-в; для схеми №4-г

6.4 Аналіз результатів після ітераційного розрахунку №1 та ітераційного розрахунку №2

6.4.1 Аналіз переміщень вузлів СЕ моделей

В таблиці 6.9 наведено максимальні переміщенні вузлів розрахункових моделей за результатами 1-го та 2-го ітераційних розрахунків.

Згідно норм [10] обчислимо максимальний граничний вертикальний прогин для структурної плити, як для горизонтальної несучої конструкції:

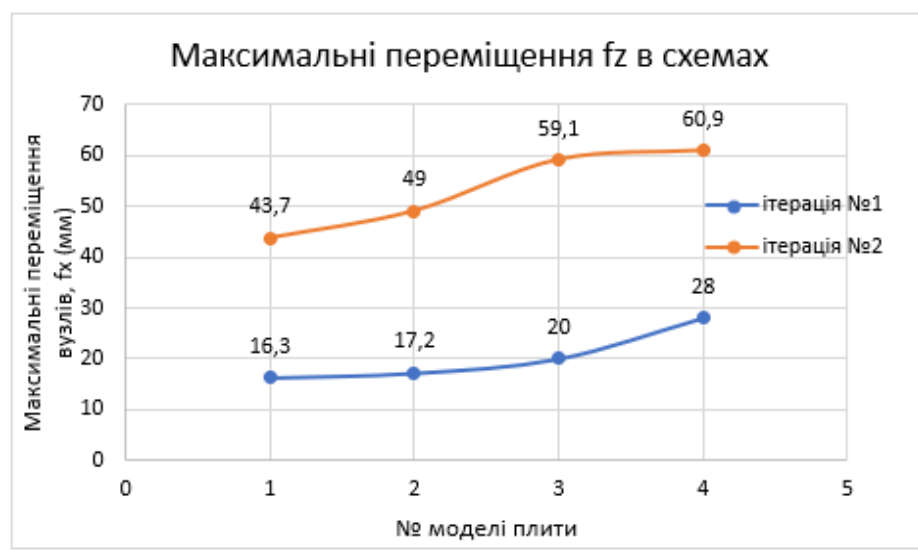
$$f_u = \frac{l}{250} = \frac{12000}{250} = 48 \text{ мм} \quad (6.1)$$

Очевидно, що розрахунок з перевіркою та підбором перерізів оптимізував жорсткість перерізу стержнів всіх конструктивних груп елементів плити й отримано нові збільшені значення прогинів (табл.6.9).

Таблиця 6.9–Максимальні переміщенні вузлів розрахункових моделей за результатами 1-го та 2-го ітераційних розрахунків

№ схеми	Максимальні переміщення f_z , мм		Товщина плити, h [м]
	Ітераційний розрахунок №1	Ітераційний розрахунок №2	
	f_z , [мм]	f_z , [мм]	
1	16,3	43,7	1,5
2	17,2	49	1,3
3	20	59,1	1,1
4	28	60,9	0,9

Максимальні переміщення f_z в схемах плити після 1-го та 2-го ітераційних розрахунків наведено на рис. 6.12.



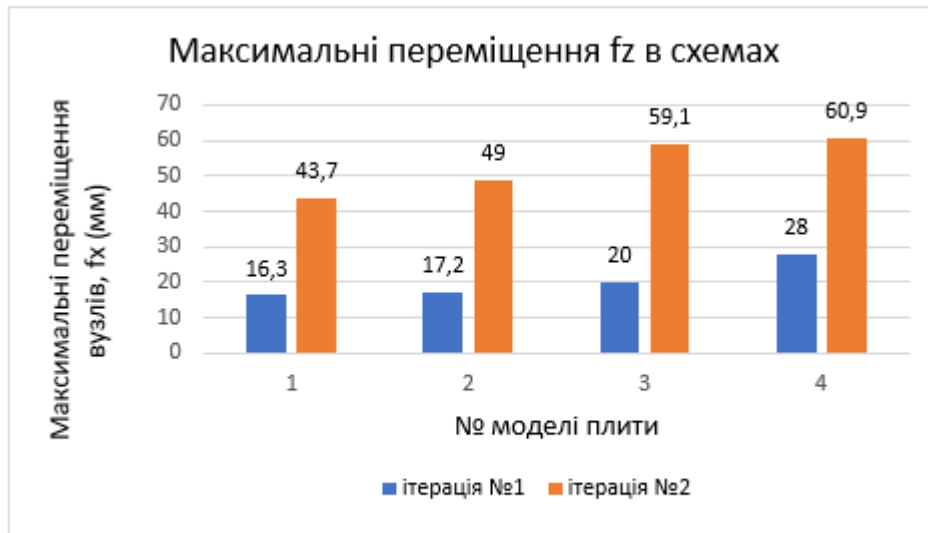


Рис.6.12 Максимальні переміщення вузлів f_z в СЕ схемах

Із таблиці 6.9 та рис.6.12 видно, що при першому варіанті прийнятих жорсткостей перерізу елементів максимальні прогини всіх моделей є меншими за гранично допустиме значення $f_u = 48$ мм. Після другого ітераційного розрахунку (розрахунку з новими жорсткостями, прийнятими в результаті перевірок за першою та другою групами граничних станів) деформативність моделей плит з різними товщинами зростає. Так із рис.6.12 очевидно, що максимальні вертикальні прогини плити за схемою №1 (товщина 150 мм) є меншими ніж гранично допустиме значення:

$$f_{max} = 43,7 < 48 \text{ мм}$$

Для схеми №2 показник максимального прогину є майже рівним величині гранично допустимого прогину. Для схем №3 (товщина $h=1,1$ м) та схеми №4 (товщина 0,9 м) максимальний прогин перевищує гранично допустимий прогин.

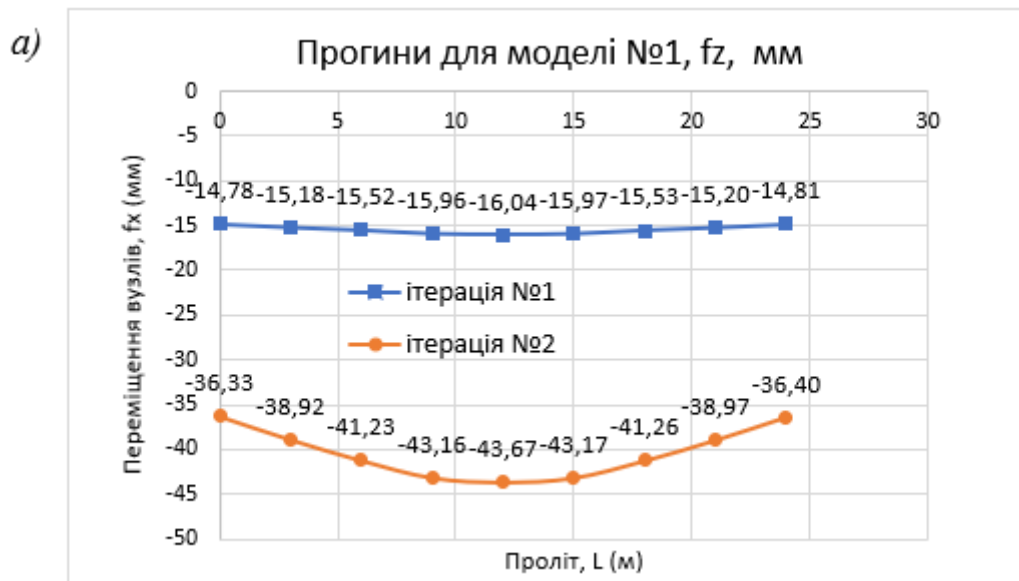
Таким чином, умова достатньої жорсткості для схем №2,3 та 4 не забезпечена, отже конструктивне вирішення таких моделей не може бути прийнятним за результатами перевірки за другою групою граничних станів.

В таблиці 6.10 наведено переміщення f_z в схемах плити після 1-го та 2-го ітераційних розрахунків в перерізі 1-1 (рис.6.6).

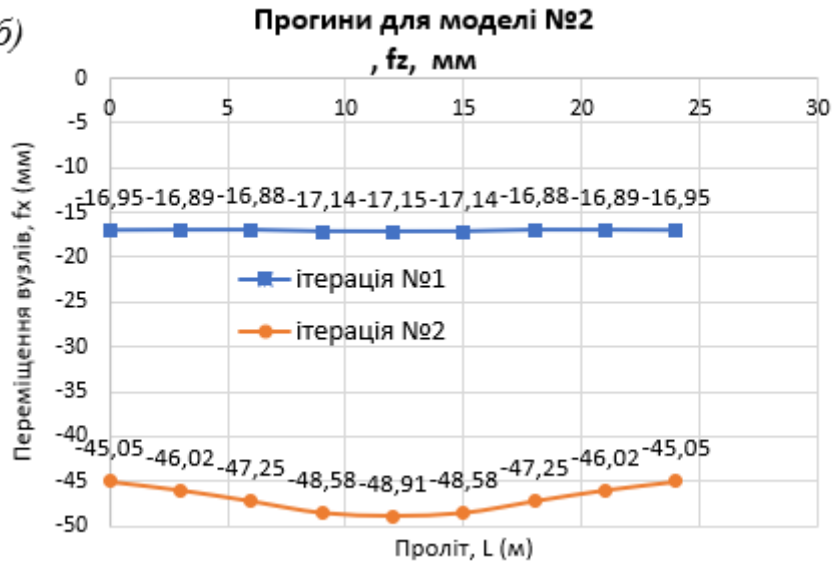
Таблиця 6.10 - Переміщення f_z після 1-го та 2-го ітераційних розрахунків в перерізі 1-1 (за рис.6.6)

Проліт, м	Схема №1		Схема №2		Схема №3		Схема №4	
	Ітерація 1	Ітерація 2	Ітерація 1	Ітерація 2	Ітерація 1	Ітерація 2	Ітерація 1	Ітерація 2
0	-14,78	-36,33	-16,95	-45,05	-18,92	-52,68	-26,74	-55,79
3	-15,18	-38,92	-16,89	-46,02	-19,21	-54,66	-27,13	-57,35
6	-15,52	-41,23	-16,88	-47,25	-19,42	-56,58	-27,42	-59,04
9	-15,96	-43,16	-17,14	-48,58	-19,84	-58,57	-27,91	-60,64
12	-16,04	-43,67	-17,15	-48,91	-19,92	-59,06	-27,88	-60,87
15	-15,97	-43,17	-17,14	-48,58	-19,84	-58,57	-27,41	-59,67
18	-15,53	-41,26	-16,88	-47,25	-19,42	-56,58	-26,27	-56,76
21	-15,20	-38,97	-16,89	-46,02	-19,21	-54,66	-25,07	-53,14
24	-14,81	-36,40	-16,95	-45,05	-18,92	-52,68	-23,48	-48,93

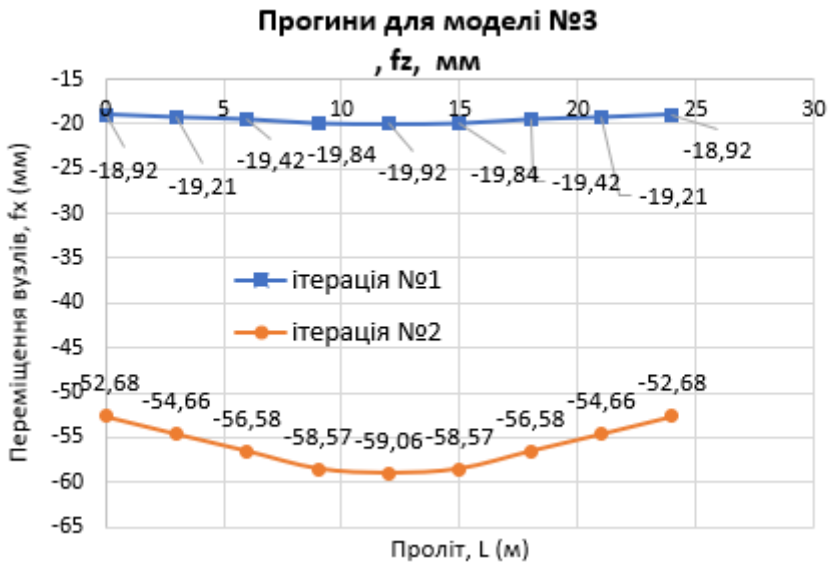
На рис.6.13 наведено порівняльні графіки в перерізі 1-1 (рис. 6.6) за двох розрахункових ітерацій плити для чотирьох схем плити, що досліджуються.



б)



в)



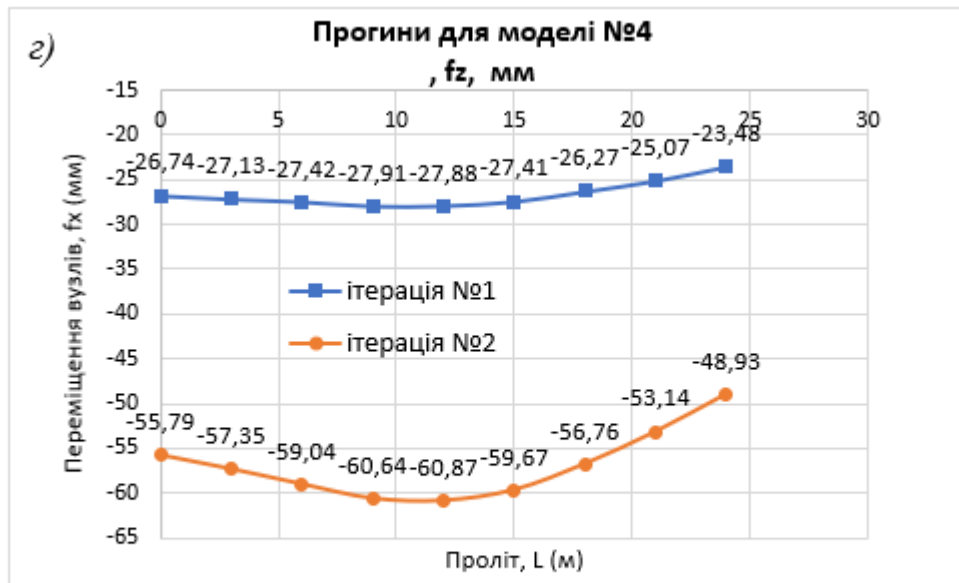


Рис. 6.13 Графіки в перерізі 1-1 (рис. 6.6) за двох розрахункових ітерацій ПЛИТИ

Оскільки після 2-го ітераційного розрахунку в наслідок зменшення діаметру переріз трубчатих елементів стержнів, очікувано збільшилися максимальні прогини конструкції. Але максимальні прогини після 2-ї ітерації для всіх схем плити знаходяться в допустимих межах. Тому за критерієм деформативності найефективнішою буде модель за схемою №1 ($f_z=43,7$ мм). Але модель №1 характеризується не найменшою вагою, тому параметр найменшої деформативності не є першочерговим за значимістю.

6.4.2 Аналіз зусиль в стержневих елементах СЕ моделей

В таблицях 6.11-6.13 наведено максимальні значення осьових зусиль в стержнях конструктивних груп елементів плити.

Таблиця 6.11–Максимальні значення осьового зусилля N в стержнях
верхнього поясу

№ схеми	Зусилля, N [т]		Різниця, %
	ітерація №1	ітерація №2	
1	-27,5	-27,9	1,45
2	-28,3	-12,5	126,4
3	-28,5	-15,42	84,8
4	-34,8	-18,6	87

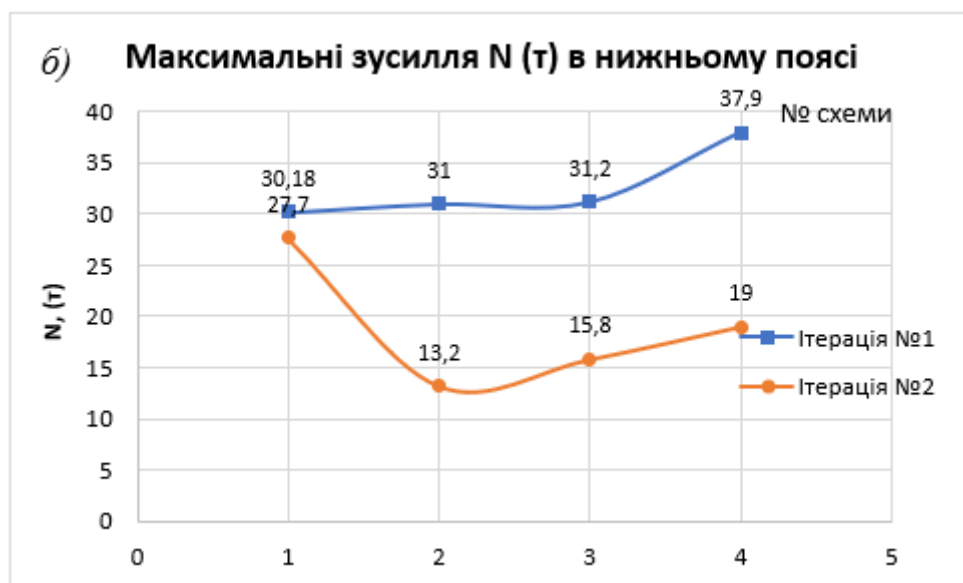
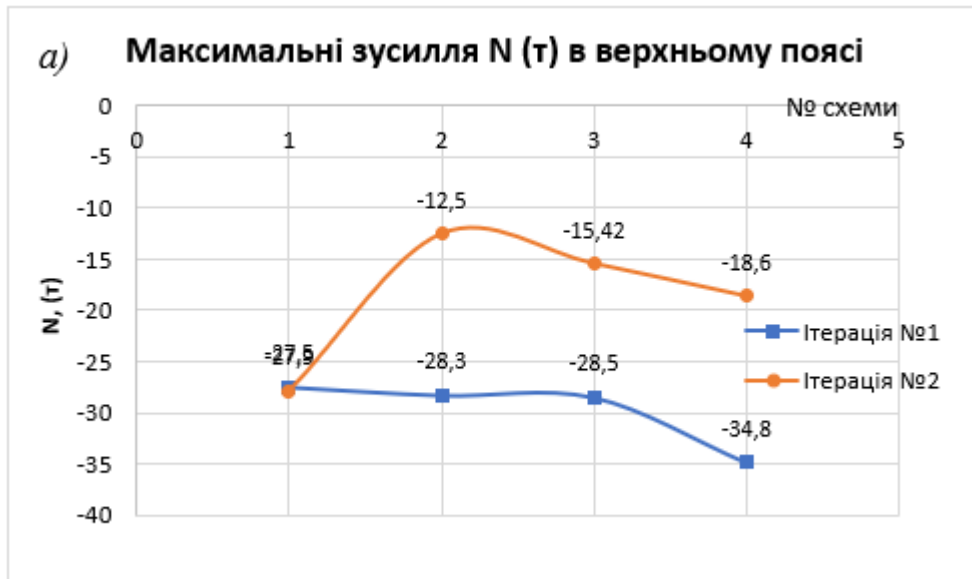
Таблиця 6.12 – Максимальні значення осьового зусилля N в стержнях
нижнього поясу

№ схеми	Зусилля, N [т]		Різниця, %
	ітерація №1	ітерація №2	
1	30,18	27,7	8,95
2	31	13,2	134,8
3	31,2	15,8	97,5
4	37,9	19	99,5

Таблиця 6.13 Максимальні значення осьового зусилля N в стержнях
решітки

№ схеми	Зусилля, N +[т]		Зусилля, N- [т]		Різниця +, %	Різниця-, %
	ітерація №1	ітерація №2	ітерація №1	ітерація №2		
1	14,1	11,9	-18,8	-19,8	18,5	5,3
2	13,7	5,46	-18,8	-8,9	150,9	111,2
3	12,8	6,47	-18,2	-10	97,8	82
4	14,3	6,7	-21,2	-10,9	113,4	94,5

На рис.6.14 на основі даних таблиць 6.11-6.13 графічно представлено максимальні зусилля N при двох ітераціях для всіх розрахункових схем від РСН2.



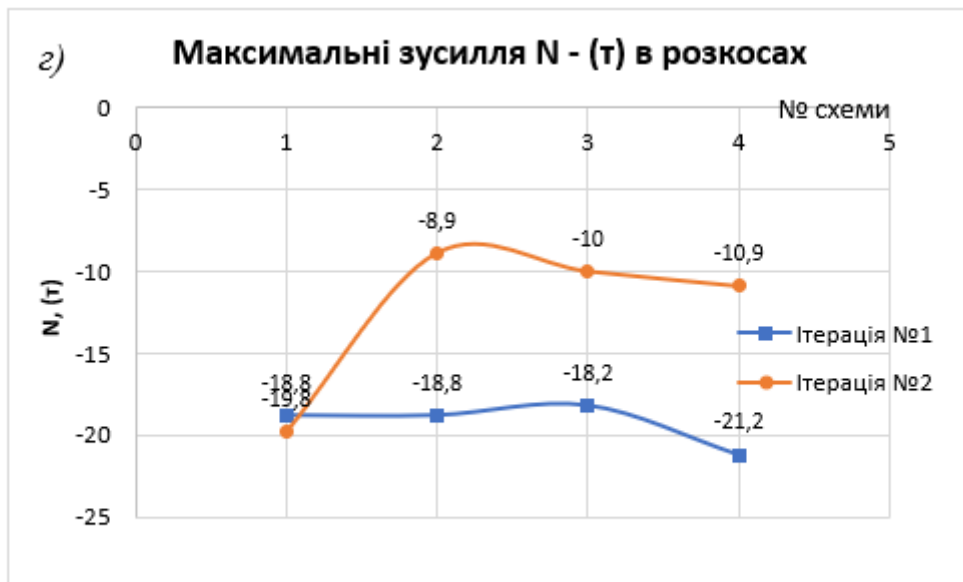
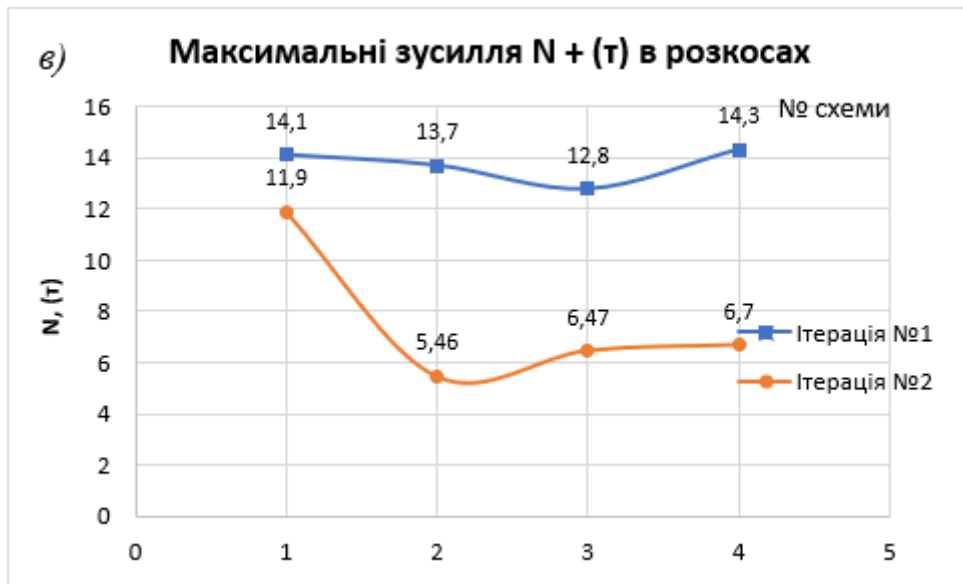


Рис. 6.14 Максимальні значення зусиль N при двох ітераціях від РСН2

6.4.3 Аналіз несучої здатності перерізів стержнів моделей плит після 1-го та 2-го ітераційних розрахунків

В таблицях 6.14-6.16 наведено результати максимального використання у % площ уточнених перерізів стержнів. Результати обчислення виконано в модулі «Металеві конструкції». В таблицях показано % використання несучої здатності перерізу за умовами розрахунків за 1-ю

групою граничних станів та умовою розрахунків за 2-ю групою граничних станів.

Таблиця 6.14–Максимальне використання (%) перерізів стержнів верхнього поясу

№ схеми	% _{max} використання перерізу			
	ітерація №1	ітерація №2	ітерація №1	ітерація №2
	1ГС		2ГС	
1	20,6	99,9	30,9	30,3
2	21,2	113	30,9	30,1
3	21,4	103	30,9	30,3
4	26	97,9	30,9	24,1

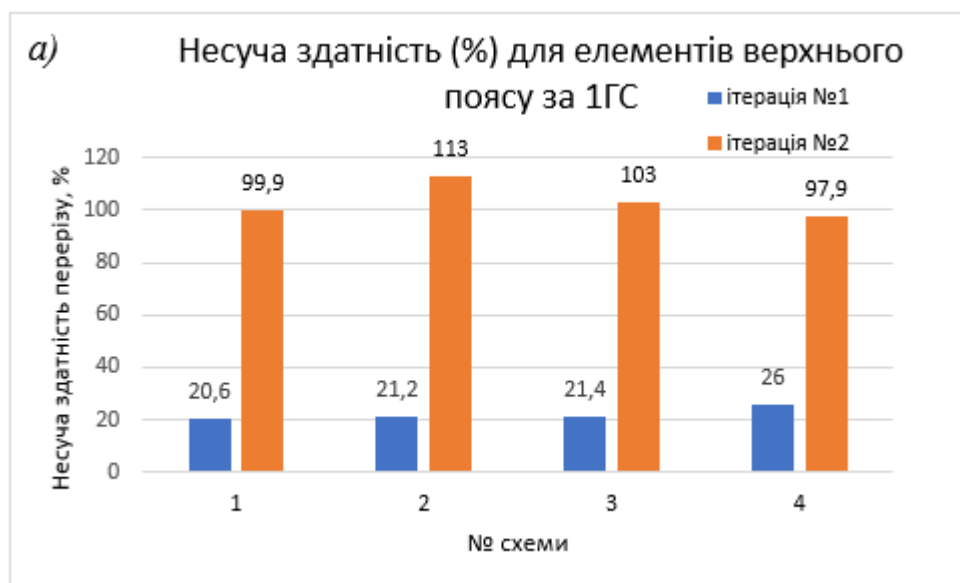
Таблиця 6.15–Максимальне використання (%) перерізів стержнів нижнього поясу

№схеми	% _{max} використання перерізу			
	ітерація №1	ітерація №2	ітерація №1	ітерація №2
	1ГС		2ГС	
1	21,8	100	30,9	30,1
2	22,4	113	30,9	30,1
3	22,6	105	30,9	35,1
4	27,4	97,3	30,9	24,1

Таблиця 6.16–Максимальне використання (%) перерізів стержнів решітки

№ схеми	% max використання перерізу			
	ітерація №1	ітерація №2	ітерація №1	ітерація №2
	1ГС		2ГС	
1	77,6	104	35,7	31
2	77,2	105	34,9	30,4
3	74,7	130	34	36,3
4	86,4	102	34,9	27

На рис.6.15-6.17 наведена графічна інтерпретація даних із таблиць 6.14-6.16.



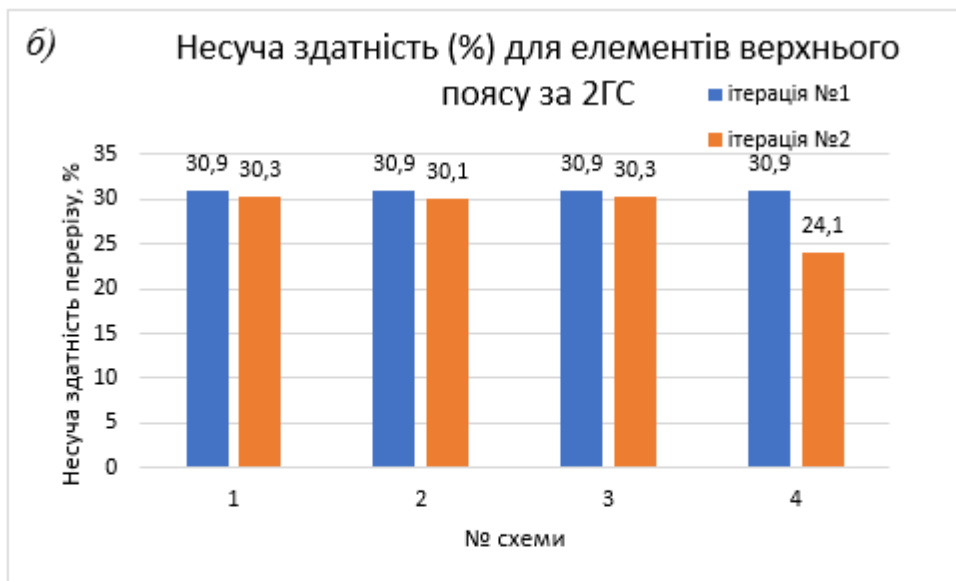
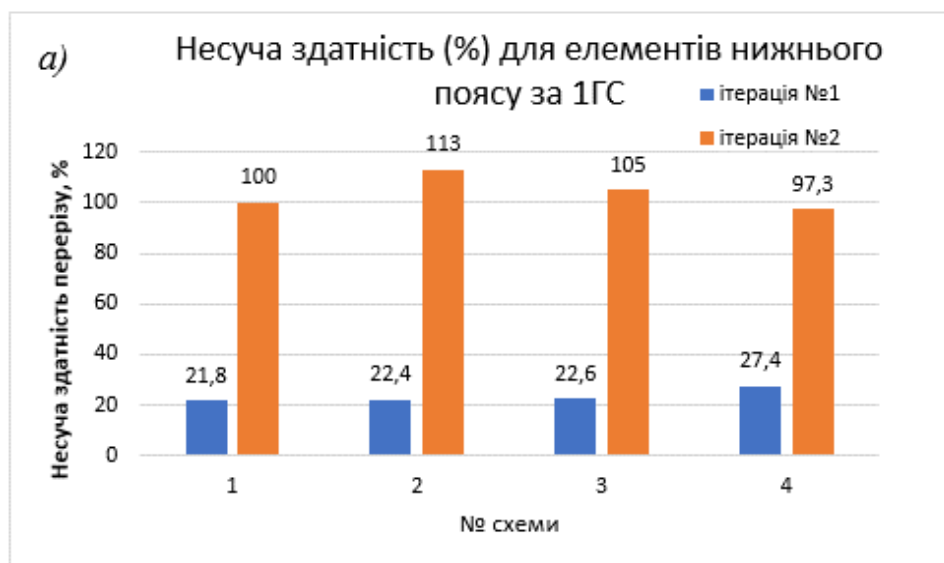


Рис.6.15 Максимальна несуча здатність (%) перерізів верхнього поясу при двох ітераціях: при розрахунку за 1ГС-а; при розрахунку за 2ГС-б



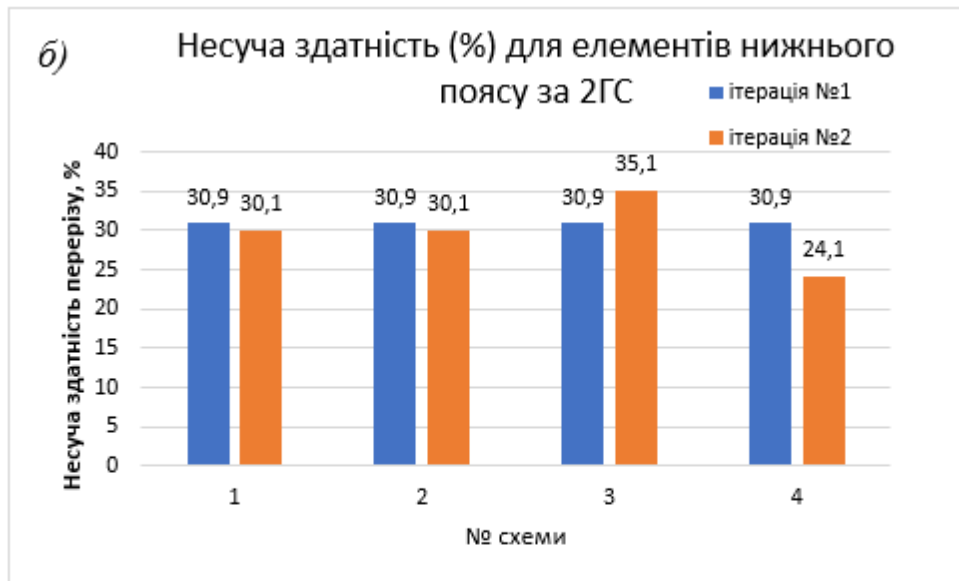
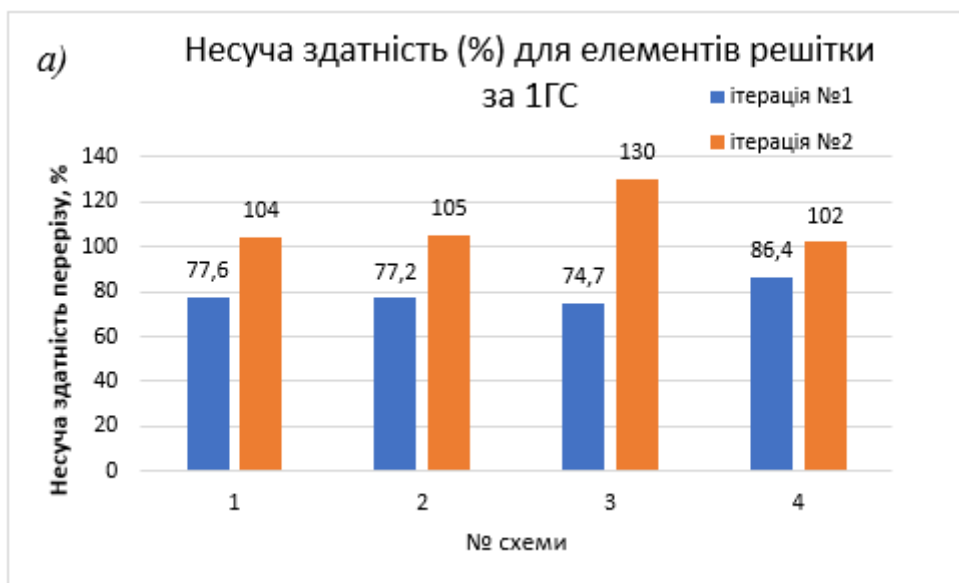


Рис.6.16 Максимальна несуча здатність (%) перерізів нижнього поясу при двох ітераціях : при розрахунку за 1ГС-а; при розрахунку за 2ГС-б



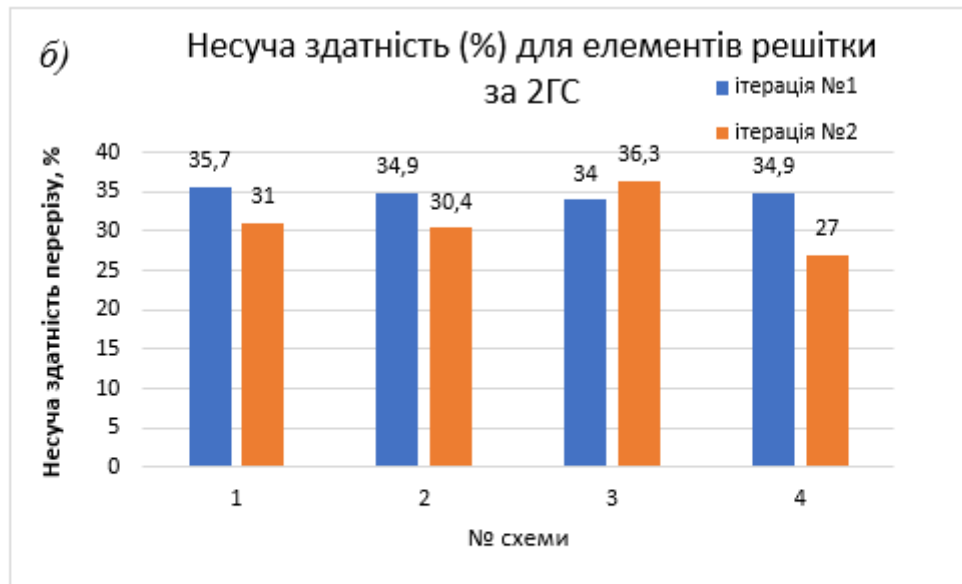
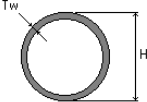


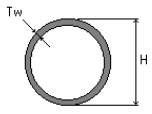
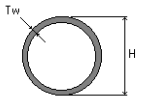
Рис.6.17 Максимальна несуча здатність (%) перерізів елементів решітки при двох ітераціях : при розрахунку за 1ГС-а; при розрахунку за 2ГС-б

Дані таблиць 6.14-6.16 свідчать про те, що в модулі «Металеві конструкції» за вимогами нормативів [9] за умовами міцності та стійкості сталевих елементів, що зазнають розтягу та стиску підібрано такі нові профілі трубчатих перерізів, в яких відсоток використання площ перерізу становить $\geq 100\%$. Відсоток використання площ нових перерізів за 2-ю групою граничних станів принципово не збільшився.

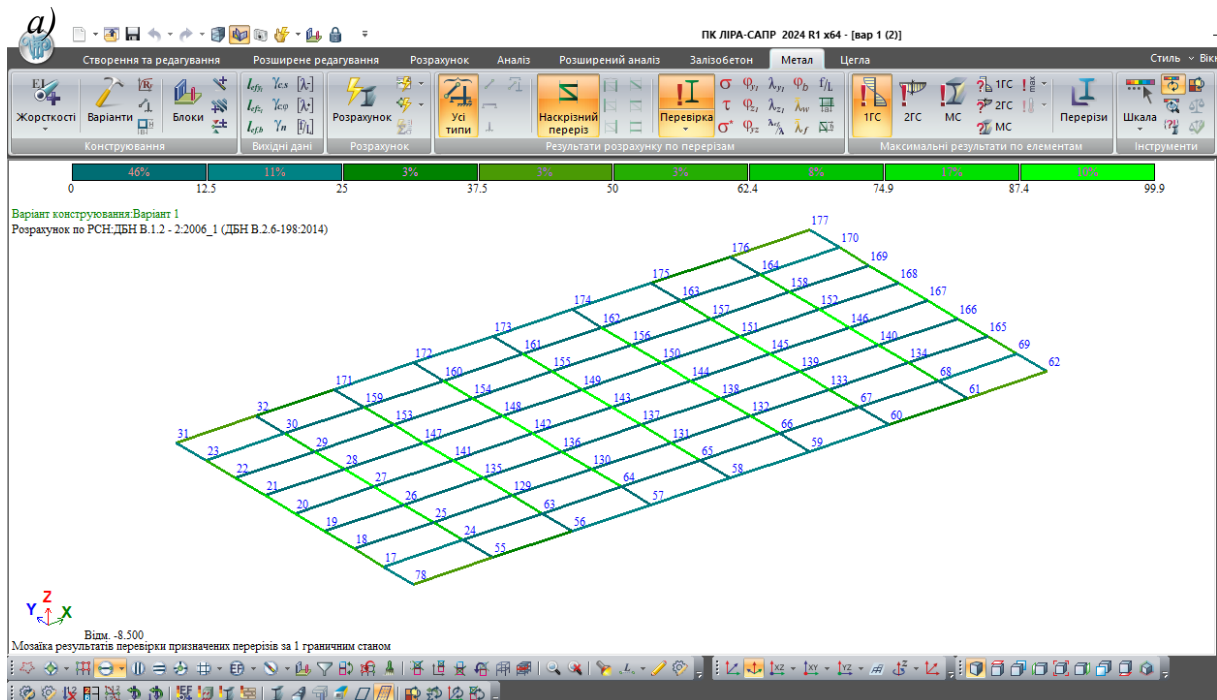
В таблиці 6.17 наведено нові жорсткості для плити за схемою №1 після 1-го ітераційного статичного розрахунку.

Таблиця 6.17–Характеристики жорсткості елементів структурної плити за схемою №1 (оптимальною) після 1-го ітераційного розрахунку

Назва елемента	Поперечний переріз, см	$E, \text{т/м}^2$	$R, \text{т/м}^3$	μ	Сталь С235	$q, \text{т/м}$
1.Стержні верхнього поясу	Труба 102x4 ГОСТ 8732–78* 	$2,1 \cdot 10^7$	7,85	0,3	С235	0,0096

2.Стержні нижнього поясу	Труба 89х4,5 ГОСТ 8732– 78* 	$2,1 \cdot 10^7$	7,85	0,3	C235	0,0094
3.Елементи решітки структурної плити	Труба 83х3,5 ГОСТ 8732– 78* 	$2,1 \cdot 10^7$	7,85	0,3	C235	0,0069

На рис. 6.18 наведено % використання несучої здатності перерізів елементів, прийнятих у вихідних даних розрахунку (табл.6.17), згідно перевірки за 1-ю групою граничних станів схеми №1 після 2-го ітераційного розрахунку.



b)

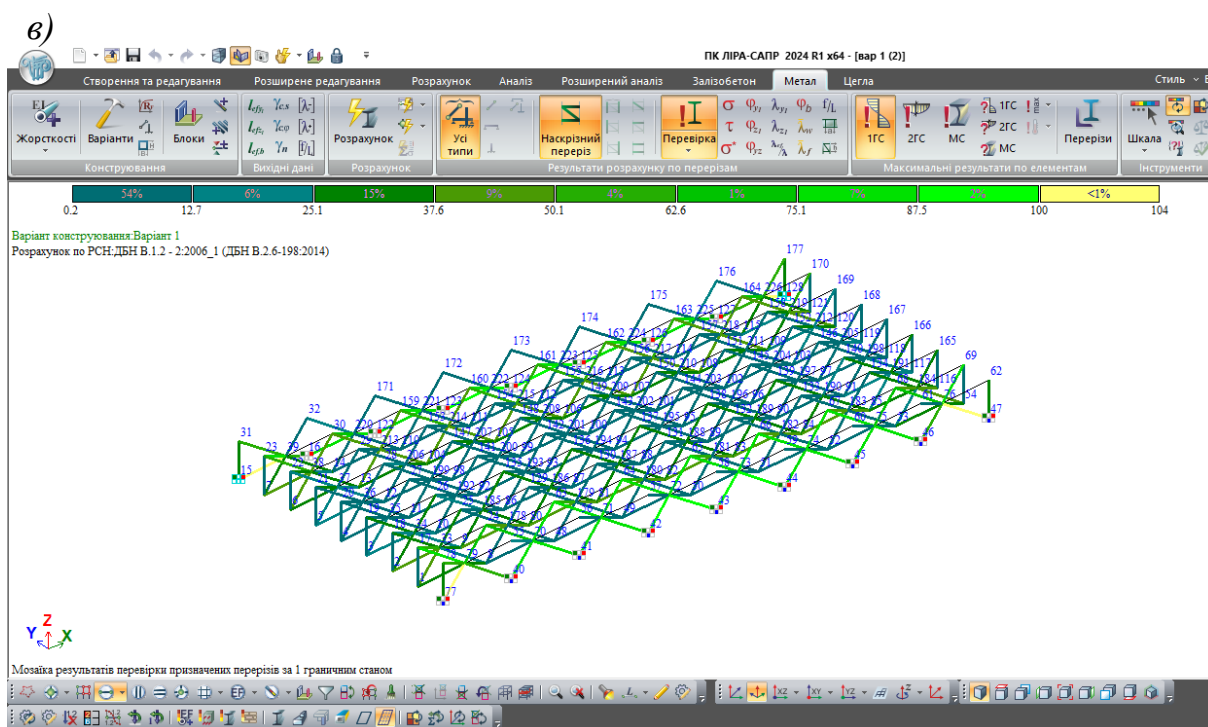
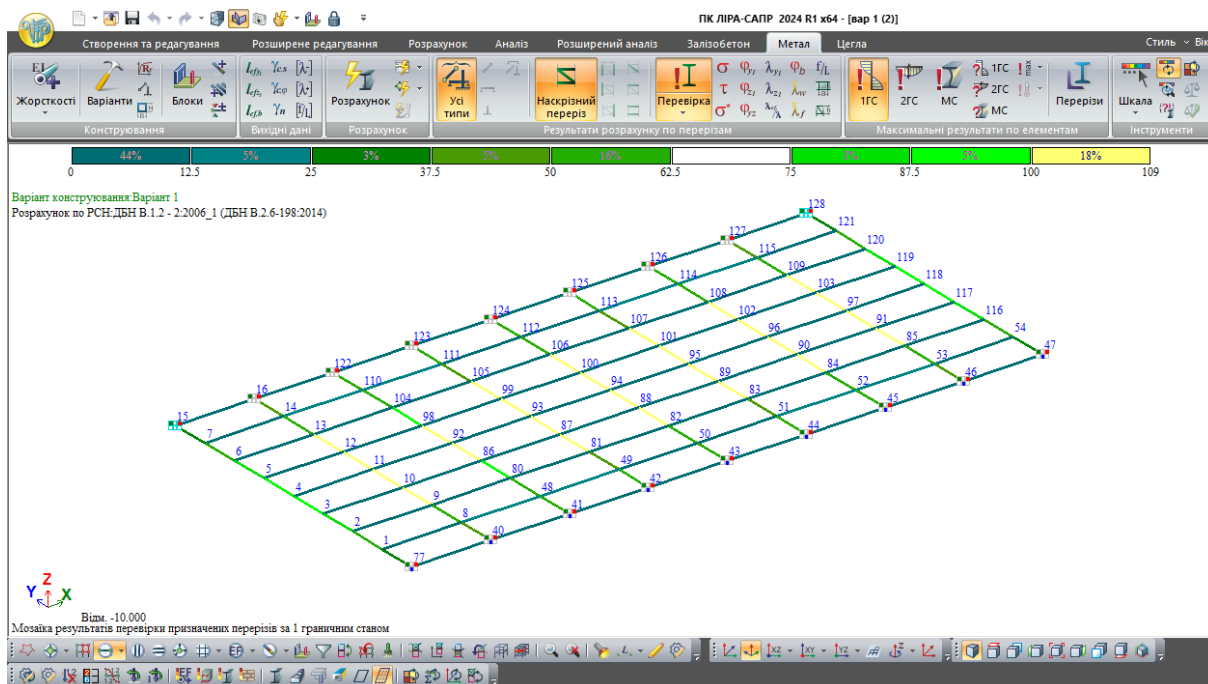
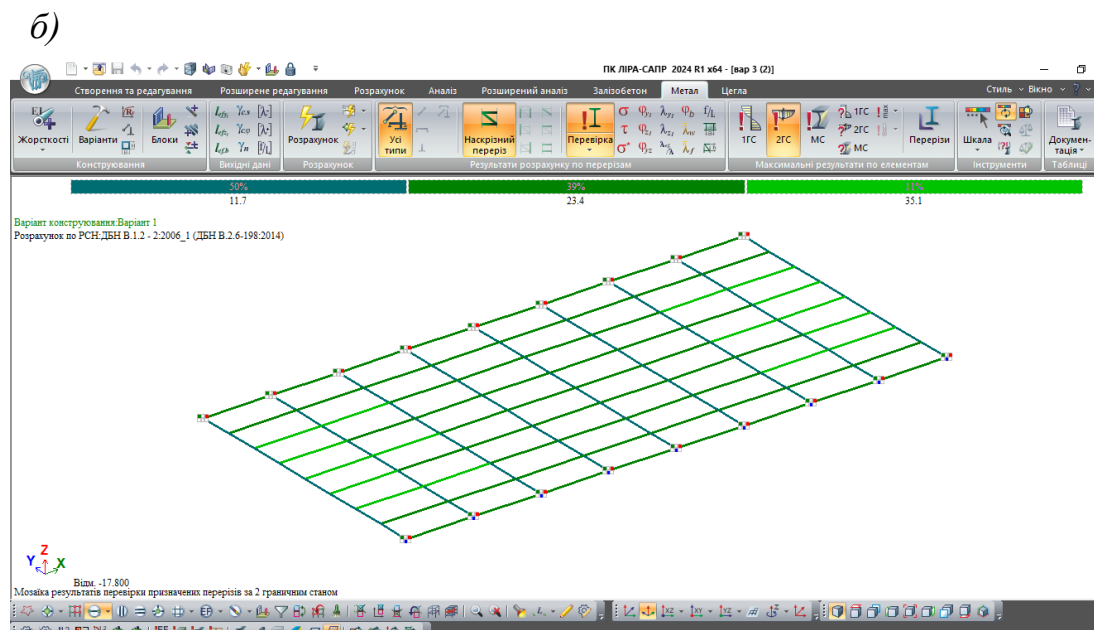
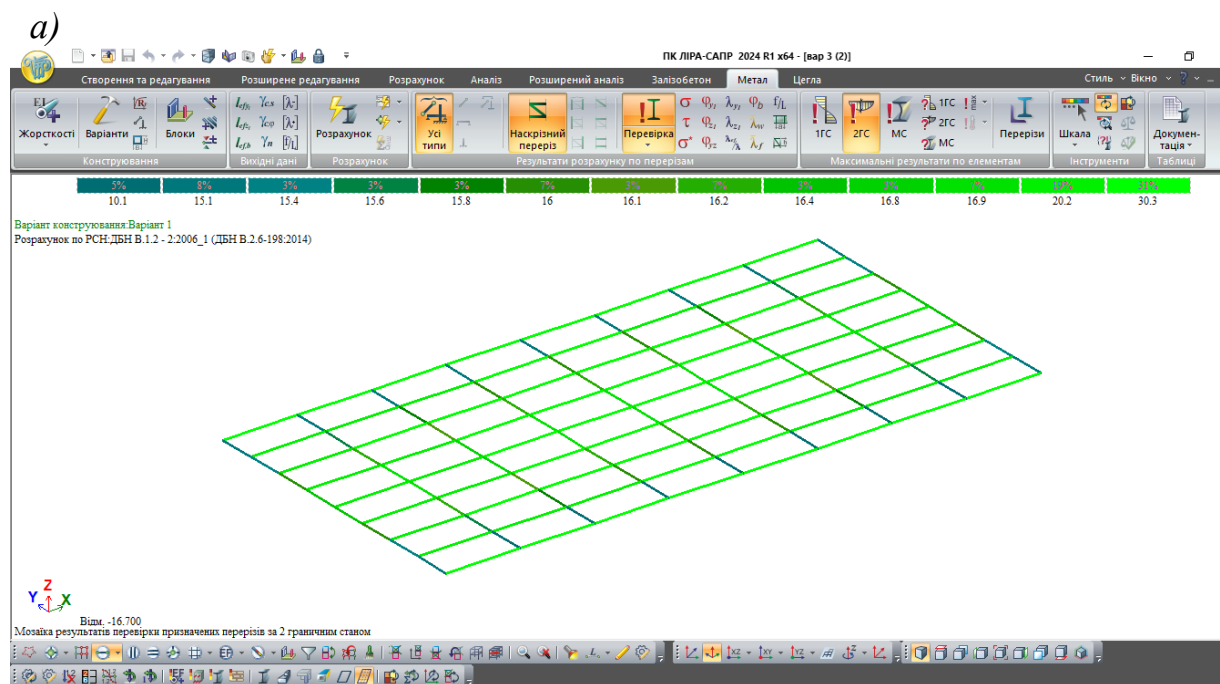


Рис. 6.18 Використання несучої здатності (%) перерізу у вигляді мозаїки результатів розрахунку за 1ГС сталевих елементів з поперечними перерізами, призначеними у вихідних даних (перерізи прийняті після 1-го ітераційного розрахунку): для стержнів верхнього поясу-а; для стержнів нижнього поясу -б; для стержнів решітки – в

Під кольоровою шкалою вказано відсоток використання площі перерізу для групи стержнів певного типу, визначений за умовами перевірки за 1-ю групою граничних станів. На кольоровій шкалі вказано (у відсотках) кількість стержнів даної групи, що характеризуються зазначеним відсотком використання площі перерізу.

На рис. 6.19 наведено % використання площі перерізів елементів згідно перевірки за 2-ю групою граничних станів схеми №3 після 2-го ітераційного розрахунку (розрахунку з новими жорсткостями за табл.617).



в)

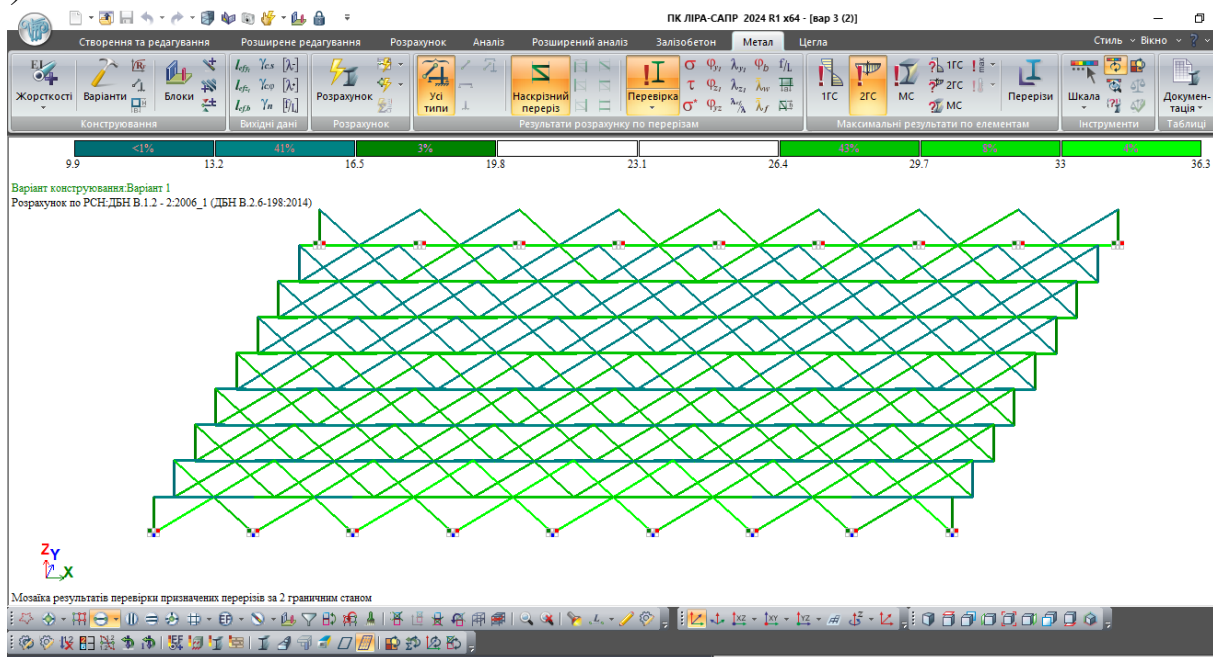


Рис. 6.19 Використання площ (%) перерізів елементів схеми №3 після 2-го ітераційного розрахунку за умовами 2ГС: для стержнів верхнього поясу – *a*; для стержнів нижнього поясу – *б*; для стержнів решітки – *в*

РОЗДІЛ 7. ВИСНОВКИ

1. Плита, що є результатом просторого поєднання стержнів за різним способів є ефективною стержневою несучою конструкцією, що відрізняється рядом переваг в порівнянні із залізобетонними плитами суцільного перерізу чи несучою системою покриття із регулярно розташованих плоских ферм та прогонів по ним.
2. Структурна плита є біонічною конструкцією, оскільки принцип її побудови базується на будові природних кристалів. Відомо, що найбільш ефективні за характером статичної роботи є ті конструкції, формоутворення яких здійснено за принципами живої природи [3].
3. Для структурних плит існують так звані «регулятори зусиль» – параметри конструктивної схеми, що значними чином впливають на її напружено-деформований стан. Товщина плити є тим

параметром, зміна якого обумовлює зміну величини осьових зусиль в конструктивних групах стержнів плити.

4. Дослідження моделі плити, регулятором в якій було прийнято змінну товщину (висоту плит), виявило найбільш ефективну модель з-поміж можливих за критерієм металоємності (найменшої ваги). Всі варіанти товщини плити були прийняті в рекомендованому діапазоні щодо можливої товщини плити $((1/16)l \div (1/24)l)$ з градацією 0,2 м.
5. Конструкцією з найменшою вагою, тобто найменш матеріалоємною, виявилася плита за схемою №3 з товщиною 1,1 м. Її вага є на 37,5% меншою від ваги плити за схемою № 4, яка має найбільшу вагу.
6. Аналіз переміщень вузлів моделей плити виявив, що лише максимальний прогин плити за моделлю №1 не перевищує гранично допустимий прогин в 4,8 см. Максимальні прогини в моделях №№ 2,3,4 перевищують гранично допустиме значення. Отже в моделях №№2,3,4 умова перевірки за другою групою граничних станів не виконується й **модель №3, що має найменшу вагу, не може бути прийнята оптимальною.**
7. **Зважаючи на умову достатньої жорсткості оптимальним конструктивним вирішенням буде модель №1.** Різниця у вазі моделі № 1 (8,9 т) та моделі №3 (8,33 т) з найменшою вагою становить 6,8%.
8. Для моделі №1 максимальна ступінь використання площ перерізів стержнів за умовою міцності та стійкості становить 104%, а за умовою жорсткості – 31%.
9. Як **перспективу подальших** досліджень слід передбачити декілька подальших ітераційних розрахунків для моделі №1, що мають на

меті підвищити % використання перерізів стержнів за 2-ю групою граничних станів та зменшити вагу плити.

SECTION 7. CONCLUSIONS

1. The slab, which is the result of a spacious combination of rods in various ways, is an effective rod-bearing structure, which has a number of advantages compared to reinforced concrete slabs of a continuous section or a bearing system of covering from regularly located flat trusses and runs on them.
2. The structural plate is a bionic structure, since the principle of its construction is based on the structure of natural crystals. It is known that the most effective in the nature of static work are those structures, the formation of which was carried out according to the principles of living nature [3].
3. For structural plates, there are so-called "force regulators" - parameters of the structural scheme that significantly affect its stress-strain state. The thickness of the plate is the parameter, the change of which determines the change in the magnitude of the axial forces in the structural groups of the plate rods.
4. The study of the plate model, in which variable thickness (plate height) was adopted as the regulator, revealed the most effective model among the possible ones according to the criterion of metal capacity (lightest weight). All slab thickness options were adopted in the recommended range of possible slab thickness $((1/16) l \div (1/24) l)$ with gradation of 0,2 m.
5. The construction with the least weight, that is, the least material-intensive, turned out to be the plate according to scheme No. 3 with a thickness of 1,1 m. Its weight is 37.5% less than the weight of the plate according to scheme No. 4, which has the greatest weight.

6. The analysis of the movements of the nodes of the plate models revealed that only the maximum deflection of the plate according to model No. 1 does not exceed the maximum allowable deflection of 4,8 cm. The maximum deflections in models No. 2, 3, 4 exceed the maximum allowable value. Therefore, in models No. 2, 3, 4, the condition of verification according to the second group of limit states is not fulfilled, and model No. 3, which has the least weight, cannot be accepted as optimal.
7. Taking into account the condition of sufficient stiffness, the optimal design solution will be model No. 1. The difference in the weight of model No. 1 (8,9 t) and model No. 3 (8,33 t) with the lowest weight is 6,8%.
8. For model No. 1, the maximum degree of use of cross-sectional areas of rods under the condition of strength and stability is 104%, and under the condition of stiffness - 31%.
9. As a perspective of further research, several further iterative calculations for model No. 1 should be provided, with the aim of increasing the % use of cross sections of rods according to the 2-nd group of limit states and reducing the weight of the plate.

ЛІТЕРАТУРА

1. Chilton J. (1999). Space Grid Structures. Routledge
<https://doi.org/10.4324/9780080498188>
2. Ashtul S.A. & Patil S.N. (2020). Review on Study of Space Frame Structure System. International Research Journal of Engineering and Technology, 7(4)
3. Space Frame Structure; an analysis of its benefit by Constro Facilitator. Retrieved from: <http://surl.li/ogzyc>
5. Хисамов Р.И. Расчет и конструирование структурных покрытий/ Хисамов Р.И. –Киев:Будівельник, 1981. – 48 с.,ил
6. Makowski, Z. S. Raumliche Tragwerke aus Stahl. Düsseldorf, 1963.
7. Murtha-Smith E. & Bean J.E. (1989). Double Layer Grid Space Frame Buckling. International Journal of Space Structures, 4(3),117-127
<https://doi.org/10.1177/026635118900400301>
8. Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "Space frame". Encyclopedia Britannica, Retrieved from: <http://surl.li/ogzxo>
9. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування
10. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. ПРОГИНИ І ПЕРЕМІЩЕННЯ Вимоги проектування
11. Li Z.X. (2013). Structure Mechanics Analysis with Different Construction Schemes in Large-Span Space Grid Structure. Advanced Materials Research, 788, 534–537 . <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.788.534>
12. Мигнцковский М.Ш. Перекрестные фермы, Киев, 1960 г.
- 13 Space Frame | Components of Space Frame System | Types of Space Frame | Advantages & Disadvantages of Space Frame Structure | Space Frame Structures Examples. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://civiljungle.com/space-structure/>
14. Huuybrechts S. & Tsai S.W. (1996). Analysis and behavior of grid structures. Composites Science and Technology, 56(9), 1001-1015
[https://doi.org/10.1016/0266-3538\(96\)00063-2](https://doi.org/10.1016/0266-3538(96)00063-2)

15. Zhou Z., Wu J., Meng Sp. et al. (2012). Construction process analysis for a single-layer folded space grid structure in considering time-dependent effect. *International Journal Steel Structures*, 12, 205-217
<https://doi.org/10.1007/s13296-012-2005-y>
16. Структурні плити конструкції ЦНІІСК. URL:
<https://jak.bono.odessa.ua/articles/strukturni-pliti-konstrukcii-cniisk.php>
17. Fu F., Parke G.A.R. (2018). Assessment of the Progressive Collapse Resistance of Double-Layer Grid Space Structures Using Implicit and Explicit Methods. *International Journal Steel Structures*, 18, 831-842
<https://doi.org/10.1007/s13296-018-0030-1>
18. Flager, F., A. Adya, J. Haymaker and M. Fischer, 2014. *Computers and Structures*, 131, pp. 1-11.
19. Volkov, A.A. and A.A. Vasilkin, 2016. *Procedia Engineering*, 153, pp. 850-855.
20. Sribniak Nataliia Напружено-деформований стан структурної плити / Nataliia Sribniak, Liudmyla Tsyhanenko, Hennadii Tsyhanenko, Serhii Halushka // *ACADEMIC JOURNAL Industrial Machine Building, Civil Engineering*. – Полтава: ПНТУ, 2020. – Т. 2 (55). – С. 35-43. – doi:<https://doi.org/10.26906/znp.2020.55.2339>.
21. Space-frame construction: components, types and advantages. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/omumm>
22. Хисамов Р.И. Расчет и конструирование структурных покрытий/ Хисамов Р.И. –Киев: Будівельник, 1981. – 48 с.,ил
23. Flager, F., A. Adya, J. Haymaker and M. Fischer, 2014. *Computers and Structures*, 131, pp. 1-11.
24. Кагановский Л.О. Новые решения узловых соединений стержней структурных иоднослойных решетчатых конструкций/ Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інститут усталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. –Випуск 5, 2010 р.192 с.

25. Кагановский Л.О. Новые решения узловых соединений стержней структурных и однослойных решетчатых конструкций/ Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. –Випуск 5, 2010 р.192 с.
26. ГОСТ 10704-91. Трубы стальные электросварные прямошовные
27. Early development of space grids. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/omuna>

ДОДАТКИ

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**МАТЕРІАЛИ
ВСЕУКРАЇНСЬКОЇ НАУКОВОЇ
КОНФЕРЕНЦІЇ СТУДЕНТІВ
ТА АСПІРАНТІВ, ПРИСВЯЧЕНОЇ
МІЖНАРОДНОМУ ДНЮ СТУДЕНТА**

(13 - 17 листопада 2023 р., м. Суми)

Рекомендовано до друку науково-координаційною радою Сумського національного аграрного університету (протокол № 6 від 24.11.2023 р.)

Редакційна рада:

Ладика В.І., академік НААН України
Данько Ю.І., д.е.н., професор
Пасько О.В., к.е.н., доцент

Редакційна колегія:

Бричко А.М., к.е.н., доцент
Думанчук М.Ю., к.т.н., доцент
Кисельов О.Б., к.с.-г.н., доцент
Масик І.М., к.с.-г.н., доцент
Михайліченко М.А., к.і.н., доцент
Срібняк Н.М., к.т.н., доцент
Степанова Т.М., к.т.н., доцент
Шкромада О.І., д.вет.н., професор

**Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів і аспірантів,
присвяченої Міжнародному дню студента – (13-17 листопада 2023 р.). –
Суми, 2023. – 700 с.**

У збірку увійшли тези доповідей Всеукраїнської наукової конференції студентів і аспірантів,
присвяченої Міжнародному дню студента.
Для викладачів, студентів, аспірантів.

ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ВИСОТИ СТРУКТУРНОЇ ПЛИТИ

Гребенюк М.М., студ. 2 курсу ОС «Магістр», спец. 192 «Будівництво та цивільна інженерія», ФБТ
 Срібняк Н.М., к.т.н., доцент
 Галушка С.А., ст. викладач
 Сумський НАУ

За своєю будовою структурні плити являють собою базовий структурний елемент, що повторюється в обох напрямках (осях X та Y) площини XOY. Така плита має ґратчасту структуру, що є схожою зі структурою деяких природних органічних природних утворень (алмаз, графіт, метал, поварена сіль та ін.)

Серед переваг структурних плит є просторовість роботи такої конструкції, висока надійність щодо раптового руйнування, потенційна можливість зменшення будівельної висоти покриття, можливість перекивати значні прольоти без проміжних опор. Зменшення прольоту між елементами, що несуть з 6,0 до 12,0 м до 2-3 м в структурних конструкціях дозволяє застосувати безпрогонні рішення покрівлі.

Одним із параметрів, що впливають на напружено-деформований стан структурної плити, є товщина (висота) такої плити. Важливою задачею є знайти оптимальну висоту такої плити при заданому прольоті плити. Оптимальна товщина плити відповідає гранично допустимому прогину конструкції, що визначається з умови жорсткості плити.

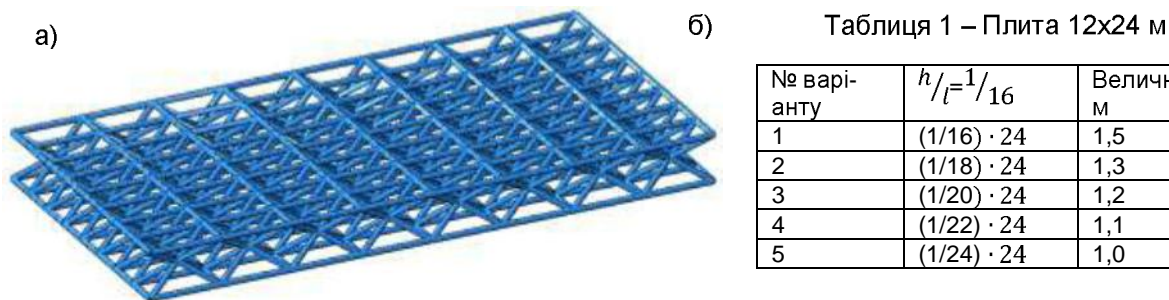


Рис. 1 Скінченоелементна схема структурної плити покриття -а; таблиця варіантів висоти структурної плити – б

Рекомендовано призначати відношення висоти плити до її прольоту в межах $h/l=1/16 \div 1/25$. Так в дослідженні, що являє собою числовий експеримент, прийнято такі варіанти висоти (товщини) структурної плити: 1,5; 1,3; 1,2; 1,1; 1,0 м.

Якщо порівняти рекомендації щодо призначення висоти в традиційних плоских фермах, де цей показник $h/l=1/8 \div 1/16$, то можна відмітити, що для структурної плити допустима висота може бути значно меншою, аніж для плоскої ферми. Це дозволяє виконувати структурну плиту з меншою висотою. Це дозволяє зменшувати об'єм будівлі та зменшувати експлуатаційні витрати на будівлю.

Література

1. Chilton, J., 2000. Space Grid Structures. Architectural Press, New York.
2. Kaneko, M.; Iwami, K.; Ogawa, T.; Yamasaki, T.; Aizawa, K. 2018. Mask-SLAM: Robust Feature-Based Monocular SLAM by Masking Using Semantic Segmentation. In Proceedings of the 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshops (CVPRW), Salt Lake City, UT, USA, pp.371–3718

Якименко Є.В., Луговський І.В., Шевель І.В., Бондаренко Р.В. ПОРІВНЯЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА МОЛОЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ КОРІВ УКРАЇНСЬКОЇ БУРОЇ МОЛОЧНОЇ ПОРОДИ В УМОВАХ ТДВ «ПЛЕМЗАВОД «МИХАЙЛІВКА» ТА ТДВ «МАЯК» ЗА РІЗНИХ СПОСОБІВ УТРИМАННЯ.....	40
Панасюк С.О., Гончар В.І. ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ СЛУЖБОВИХ СОБАК.....	41
Бучма К. ГЕНОТИПОВА І ФЕНОТИПОВА ОЦІНКА ВИМЕНІ, ЯК СКЛАДОВА СЕЛЕКЦІЇ.....	42

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ТРАНСПОРТУ

Башкір Д.Д., Бородай Д.С. АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНІ ПРИЙОМИ ОРГАНІЗАЦІЇ ОФІСНИХ БУДІВЕЛЬ.....	43
Беззабний Д. С., Андрух С.Л. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ В ОЗДОБЛЕННІ ПРИМІЩЕНЬ.....	44
Беліков А.Б., Андрух С.Л. ЗВУКОІЗОЛЯЦІЯ ЯК ЗАСІБ КОМФОРТУ В ПРИМІЩЕННІ.....	45
Білик Ю.В., Лампак В.М., Роговий С.І. ЗАГАЛЬНІ ПІДХОДИ ЩОДО ОЦІНКИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ.....	46
Білоус А.В., Андрух С.Л. ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ЯК ЗАСІБ ВИКОРИСТАННЯ ПАСИВНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ БУДИНКУ.....	47
Бобошко В.С., Андрух С.Л. НАВІСНІ ФАСАДНІ СИСТЕМИ, ЯК ЗАСІБ ЇХ УТЕПЛЕННЯ.....	48
Бурдига А.О., Роговий С.І. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИСОКОМІЦНИХ МІЛКОЗЕРНИСТИХ БЕТОНІВ ІЗ ПОЛІПШЕННЯМ ЇХ ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ.....	49
Ванін С.О., Андрух С.Л. ГІДРОІЗОЛЯЦІЯ ЯК СПОСІБ ЗАХИСТУ ЗОВНІШНІХ СТІН ВІД РУЙНУВАННЯ.....	50
Волков Д.Г., Бородай Д.С. ОСОБЛИВОСТІ І ПРИЙОМИ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ ВИСОТНИХ ОДНОСЕКЦІЙНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ З ОБСЛУГОВУВАННЯМ НА ПРИКЛАДІ М. КИЇВ.....	51
Воловик В.М., Савченко О.С. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ЖОРСТКОСТІ ДВОСХИЛОЇ ҐРАТЧАСТОЇ БАЛКИ ПРИ МОДЕЛЮВАННІ ЇЇ СТРИЖНЕВИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ В СКЛАДИ ПОПЕРЕЧНОЇ РАМИ ПРОМИСЛОВОЇ БУДІВЛІ.....	52
Гвоздецький В.О., Срібняк Н.М., Галушка С.А. МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ДЕФОРМАТИВНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ.....	53
Глівенко С.В., Циганенко Л.А. ПІДХОДИ ДО ВІДБОРУ ПРОЕКТІВ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ УКРИТТІВ ДЛЯ ЦИВІЛЬНОГО НАСЕЛЕННЯ.....	54
Голоміна О.Є., Саржанов О. А. ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ СИСТЕМИ СУПУТНИКОВОЇ НАВІГАЦІЇ ПРИ УПРАВЛІННІ ТРАНСПОРТНИМИ ПРОЦЕСАМИ В КП «ЕЛЕКТРОАВТОТРАНС».....	55
Голоміна О.Є., Саржанов О. А. ІНТЕГРОВАНІЙ НАВІГАЦІЙНИЙ МОДУЛЬ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПРОЦЕСАМИ.....	56
Горощенко Ю.В., Резніченко Є.А., Луцковський В.М. ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛОН КАРКАСУ ПРИ ЗБІЛЬШЕННІ ВИСОТИ БУДІВЛІ.....	57
Гостев О. ВАДИ ТА НЕДОЛІКИ ПІНОСКЛА ЯК ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ.....	58
Гребенюк М.М., Срібняк Н.М., Галушка С.А. ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ВИСОТИ СТРУКТУРНОЇ ПЛИТИ.....	59
Гулий О.В., Загорюлько І.Ю., Луцковський В.М. ДОСЛІДЖЕННЯ ФЕРМ ПОКРИТТЯ ПРИ ЗМІНІ СНІГОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ ТА АНАЛІЗ СПОСОБІВ ПІДСИЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ.....	60
Даниленко О.І., Андрух С.Л. ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ВЕНТИЛЯЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВРАХУВАННЯМ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ.....	61
Демченко Л.А., Бородай Д.С. ПЕРЕДУМОВИ ФОРМУВАННЯ ЦЕНТРІВ НАДАННЯ АДМІНІСТРАТИВНИХ ПОСЛУГ В УКРАЇНІ.....	62
Дехтяр М.О., Савченко Л.Г. ОПТИМІЗАЦІЯ СТАТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ ГНУТОКЛЕЄНИХ ДЕРЕВ'ЯНИХ РАМ У ВІДПОВІДНОСТІ ДО ЄВРОКОД.....	63
Дзюбан А., Циганенко Л.А. ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН ПРИ ВПЛИВАХ ВИСОКИХ ТЕМПЕРАТУР.....	64
Дорошенко В.О., Волошко Т.П. ПРОБЛЕМИ МЕХАНІЗАЦІЇ ТА АВТОМАТИЗАЦІЇ НАВАНТАЖУВАЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ НА ЛОГІСТИЧНИХ ЦЕНТРАХ І СКЛАДАХ.....	65
Дорошенко В.О., Волошко Т.П. ФОРМУВАННЯ СТРАТЕГІЇ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ПАСАЖИРІВ В РЕГІОНАХ УКРАЇНИ.....	66
Дулич А.О., Савченко Л.Г. ВПЛИВУ РІЗНИЦІ КЛАСУ БЕТОНУ НЕСУЧИХ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ЖИТЛОВИХ БУДІВЕЛЬ НА ЇХ ГОРИЗОНТАЛЬНУ ДЕФОРМАТИВНІСТЬ І ПРОСТОРОВУ ЖОРСТКІСТЬ.....	67
Дьомін Е.В., Саржанов О.А. ОСОБЛИВОСТІ ПОБУДОВИ ЛОГІСТИЧНИХ МАРШРУТІВ.....	68
Дьомін Е.В., Саржанов О.А. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНІ СХЕМИ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ.....	69
Єпіфанова О.А., Бородай А.С. РОБОТИЗАЦІЯ ТА АВТОМАТИЗАЦІЯ В СФЕРІ АРХІТЕКТУРИ ТА БУДІВНИЦТВА: ПЕРЕВАГИ ТА ВИКЛИКИ.....	70
Жаріков Е.С., Волошко Т.П. ЗНАЧЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ В МІСЬКІЙ ЛОГІСТИЦІ.....	71



ОПТИМАЛЬНА ВИСОТА СТРУКТУРНОЇ ПЛИТИ

Здобувач – Гребенюк М.М.

Керівник – Срібняк Н.М.

Суми-2023

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

Стержньові структури, зокрема структурні плити, характеризуються рядом переваг, насамперед, завдяки природі своєї будови. В основі кожної структурної плити можна виділити базовий просторовий елемент, що являє собою систему похилих та горизонтальних стержнів. Порядок цих стержнів є упорядкованим і нагадує кристали природнього походження - графіт, алмаз.

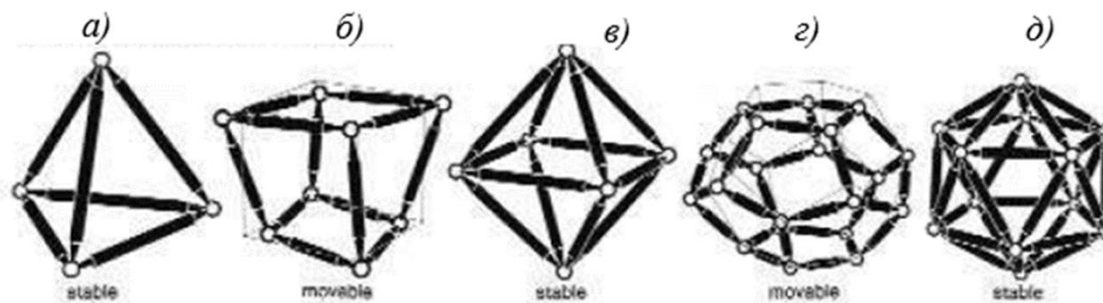


Рис. 1.1 Платонові багатогранники: тетраедр-*a*; куб або гексаедр-*b*, октаедр-*c*, додекаедр-*d* та ікосаедр-*e* [1]

Гранями таких багатогранників є плоскими правильними багатокутниками. **Таких багатогранників можна виділити лише п'ять.**

Будь-які з них або комбінації їх в просторі можуть бути базою або, інакше кажучи, **формоутворюючим елементом** для структурної конструкції.

Для утворення структурної плити такий базовий елемент слід скопіювати вздовж осей X, Y необхідну кількість разів для утворення конструкції структурної плити.

МЕТОЮ РОБОТИ є визначення за критерієм матеріалоемності найбільш ефективного конструктивного рішення структурної сталевій плити покриття розміром в плані 12,0x24,0 м з-поміж моделей, що досліджуються. Регулятором зусиль в моделях плит виступає параметр товщини (висоти) плити.

ЗАДАЧІ ДОСІДЖЕННЯ:

- 1) дослідити фактори, що впливають на зміну зусиль в стержнях плит;
- 2) прийняти один із змінних параметрів в якості регулятора зусиль в стержневих елементах структурної плити;
- 3) створення з використанням методу скінчених елементів із застосуванням ПК ЛІРА-САПР декілька скінченоелементних моделей, що будуть відрізнятися одна від одної лише одним параметром, наприклад – товщиною (висотою плити);
- 4) прийняти (призначити в першому наближенні) в першій розрахунковій ітерації параметри жорсткості для всіх конструктивних груп стержневих елементів плити – призначити певні профілі труб для елементів для всіх варіантних моделей плити, що прийнято до аналізу та розрахунку.

ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ:

- 5) виконати статичний розрахунок з жорсткостями першого типу (1-ша ітерація) всіх розрахункових моделей структурної плити;
- 6) на основі отриманих зусиль та переміщень вузлів в модулі «Металеві конструкції» ПК ЛІРА-САПР підібрати нові скориговані розміри переріз стержневих елементів плити;
- 7) обчислити згідно нових призначених перерізів стержневих елементів моделей плит вагу кожної моделі плити, що досліджується. Обрати модель, що характеризується найменшою вагою;
- 8) призначити нові параметри жорсткості, обчислені в модулі «Металеві конструкції» й виконати другий ітераційний статичний розрахунок моделей;
- 9) за новими даними після 2-го ітераційного розрахунку оцінити та порівняти параметри напружено-деформованого стану, відсоток використання перерізів за 1-ю та 2-ю групами граничних станів моделей плит, що досліджуються конструкції;
- 10) сформулювати висновки та можливості подальших досліджень;

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ – моделі структурних плит покриття з розмірами в плані 12,0x24,0 м, що відрізняються між собою лише параметром товщини плити.

ПРЕДМЕТОМ ДОСЛІДЖЕННЯ є напружено-деформований стан розрахункових моделей, їх конструктивне рішення та аналіз ефективності (% використання прийнятих профілів стержнів).

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

Результати числового експеримента дозволяють підібрати згідно найбільш ефективного з точки зору статичної роботи конструктивного рішення модель плити, що має найменшу вагу

АПРОБАЦІЯ ТА ПУБЛІКАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ РОБОТИ

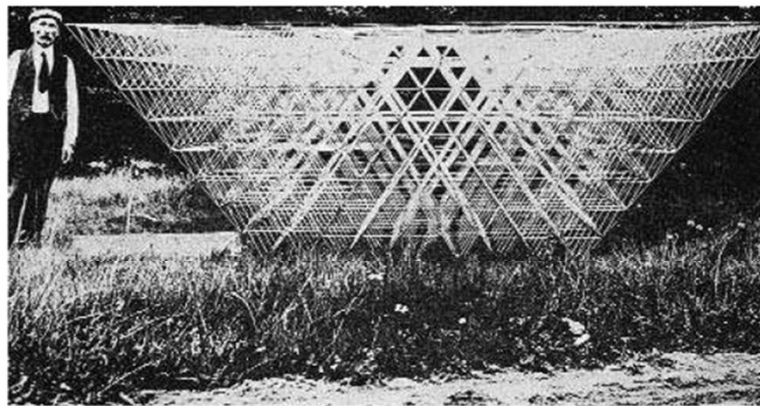
Результати роботи опубліковано в збірнику тез студентсько-викладацької щорічної конференції Сумського національного аграрного університету (13-17 листопада 2023 р)

ФОРМОУТВОРЕННЯ СТРУКТУР

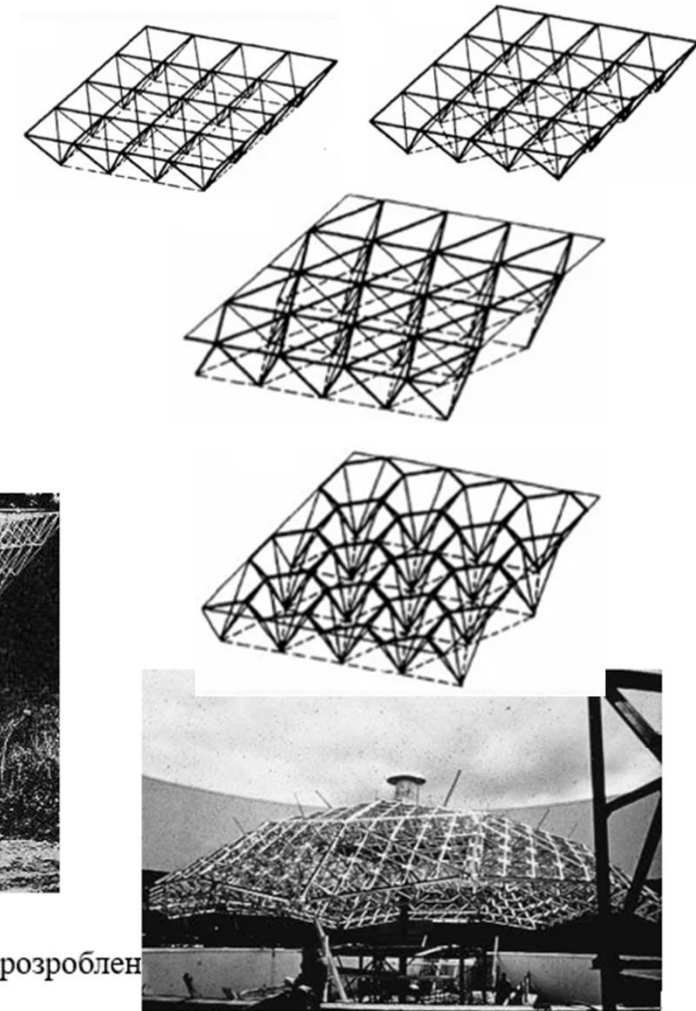
Так, з'єднавши однакових два тетраедра в одній вершині (верхній елемент буде симетричним відображенням нижнього) можна отримати простий формоутворюючий елемент структурної плити.

За своєю природою структурні плити, що є стержньово-вузловими конструкціями й утворені з базових елементів (рис.1.1), відрізняються ефективною статичною роботою стержнів конструкції, що під навантаженням зазнають зусиль розтягу чи стиску. Завдяки цьому сталь є найбільш придатним матеріалом для втілення таких структурних плит в життя.

Варіантів конструктивних рішень структур при заданих параметрах можна створити досить багато. **Знаходження оптимальної конструкції за заданим критерієм є важливою й актуальною пошуковою задачею.**



Експериментальна конструкція просторової сітки, розроблена Олександром Гремом Беллом на початку 20 ст.



МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1) **метод збору та аналізу інформації** – оцінка відомостей щодо будови, конструювання, розрахунку, характеру та особливостей роботи сталевих структурних плит покриття, аналіз чинників (параметрів), що є регуляторами зусиль в стержневих елементах структури;
- 2) **метод скінчених елементів** – для моделювання розрахункових моделей структурної плити в середовищі ПК Ліра-САПР. Метод також застосовано для визначення напружено-деформованого стану моделей, прийнятих до розрахунку;
- 3) **метод розрахунку сталевих елементів в модулі «Метал»** – для конструювання стержневих елементів структурних плит за методикою обраних норм конструювання, оцінки відсотку використання площі перерізу стержнів за 1ГС та 2ГМ норм;
- 4) **аналітичний метод обробки інформації** з використанням ПК Microsoft Excel – побудова графічний залежностей для ілюстрації результатів статичних та конструктивних розрахунків.

Висота плити є тим фактором, що приймається в певних рамках згідно конструктивних рекомендацій та повинна знаходитися в межах $(1/16 \div 1/24)l$. Саме в рекомендованому діапазоні знаходиться оптимальна товщина (висота) плити.

Структурна плита, що досліджується, з розмірами в плані 12,0x24,0 м є **конструкцією перекриття на проліт спортивної зали загальноосвітньої школи в м. Буринь Сумської області.**

Приміщення спортивної зали має розміри в плані 12,0x24,0 м та розташоване в осях Е-Ж та 1-4. Висота приміщення зали становить 7,6 м.

Загальні розміри будівлі в плані становлять 72,0 x 51,6 м. Будівля в плані має П-подібну конфігурацію. Будівля є триповерховою. Загальна висота будівлі становить 11,2 м. Висота типового поверху становить 3,3 м.

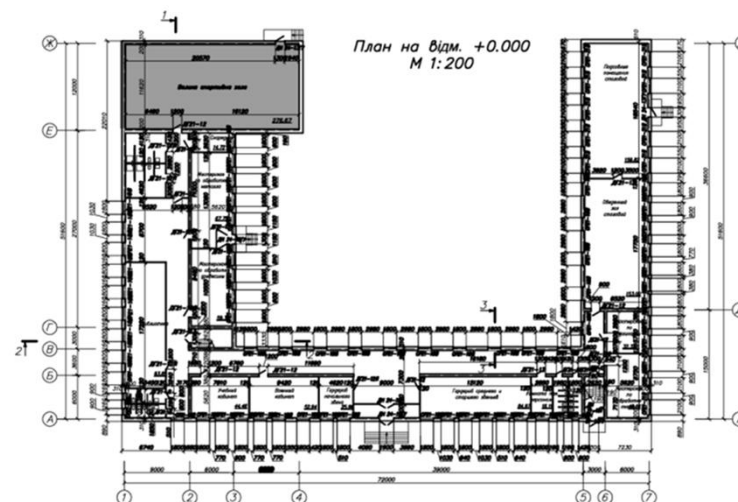
Фасад 1-7



Фасад Ж-А



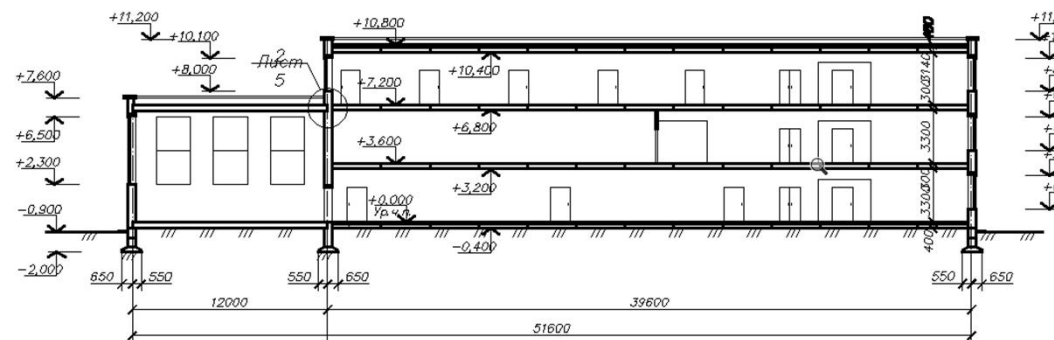
План будівлі на відм. 0,000



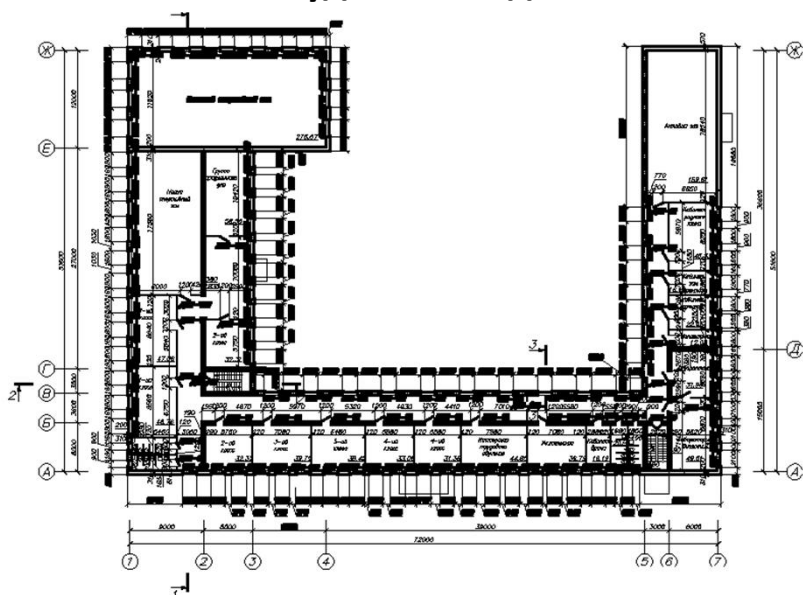
Фрагмент плану будівлі на відм. 0.000 в осях Е-Ж та 1-4



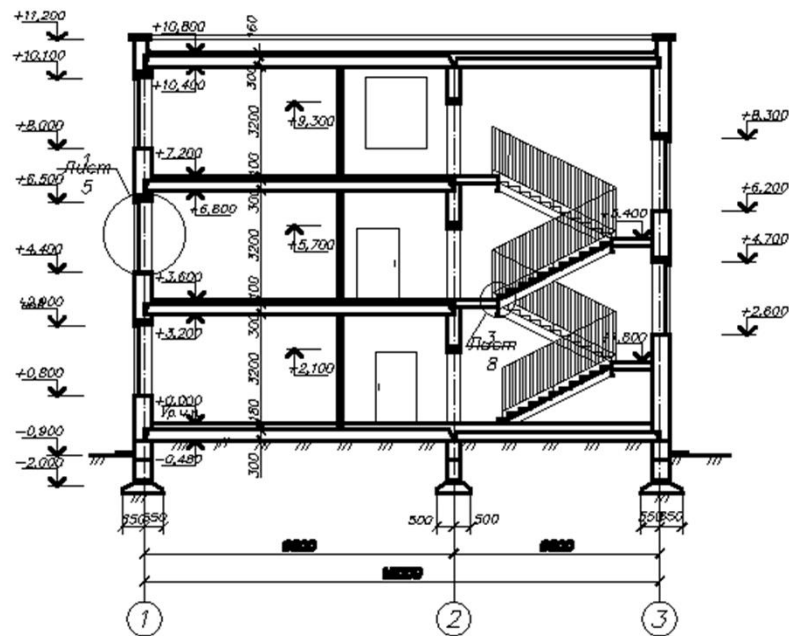
Розріз 1-1



План будівлі на відм. +3,600



Розріз 2-2



Конструктивне рішення будівлі

Будівля прийнята безкаркасною з несучими цегляними стінами товщиною 510 мм. Перекриття та покриття типових поверхів прийнято із збірних залізобетонних багатопорожнистих плит.

Фундаменти – збірні, залізобетонні стрічкового типу. Складаються із збірних фундаментних блоків та збірних фундаментних плит.

В якості **конструкції покриття** прийнято металеву структурну плиту з розмірами в плані 12,0х24,0 м. Плита є об'єктом подальшого дослідження.

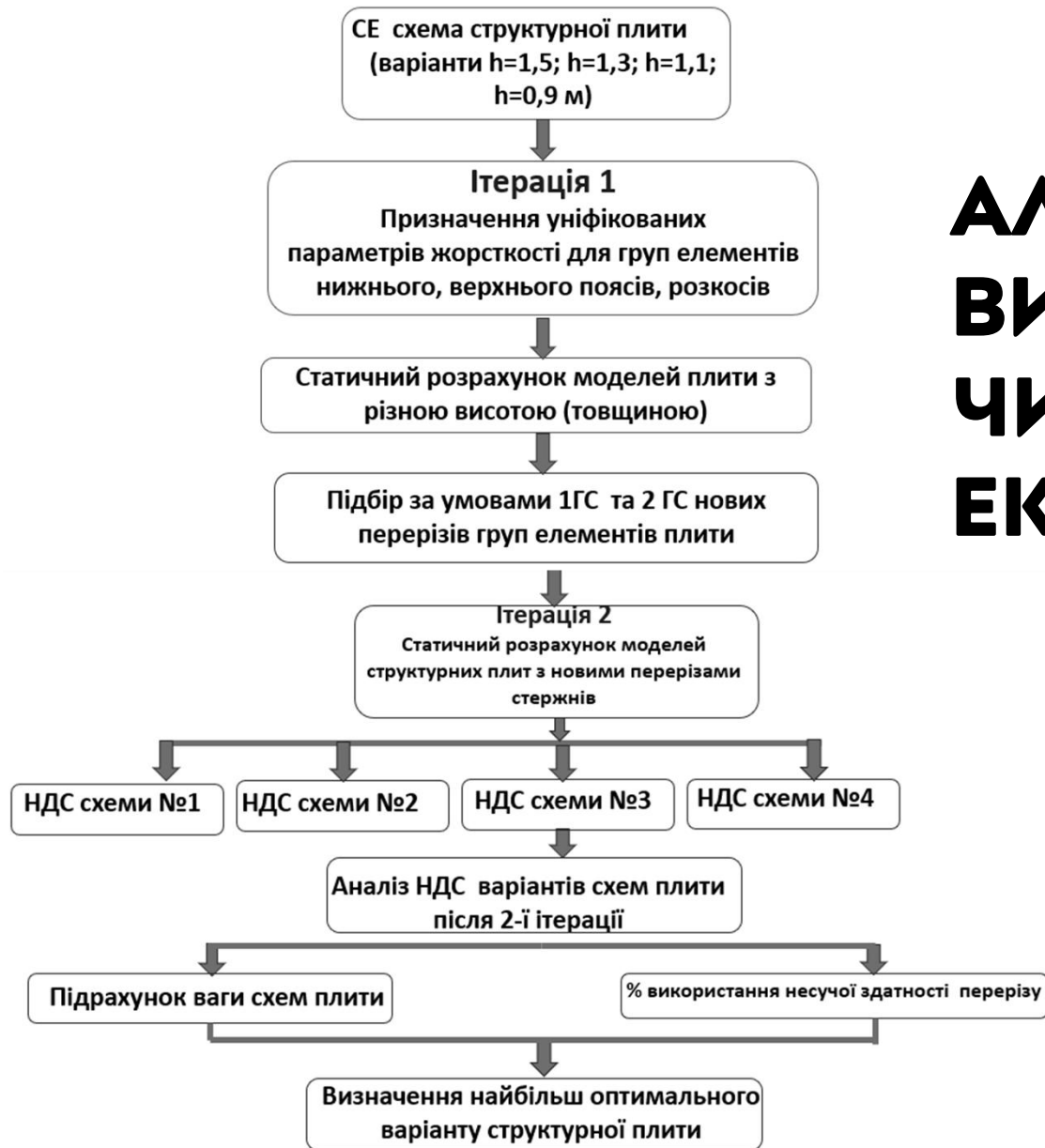
Висоту структурної плити будемо вважати змінним параметром.

Від різних значень цього розміру залежить величина зусиль в структурній плити та деформативність конструкції в цілому.

Дійсно, таке конструктивне вирішення покриття в вигляді структурної плити дозволяє перекрити значний проліт в 24,0 без влаштування проміжних опор, оскільки приміщення, що перекривається – це спортивна зала загальноосвітньої школи.

Традиційно простір 12,0х24,0 м перекривався залізобетонними крокв'яними балками чи фермами з прольотом 12,0. По балкам (фермам) влаштовувалися збірні залізобетонні ребристі панелі покриття (як правило, розміром 1,5х6,0 м або 3,0х6,0 м). Але злегшені структурні сталеві плити можуть нині бути гарною альтернативою масивним залізобетонним несучим конструкціям покриття. Структури можуть бути застосовані в проектах реконструкції будівель громадського призначення, зокрема- шкіл

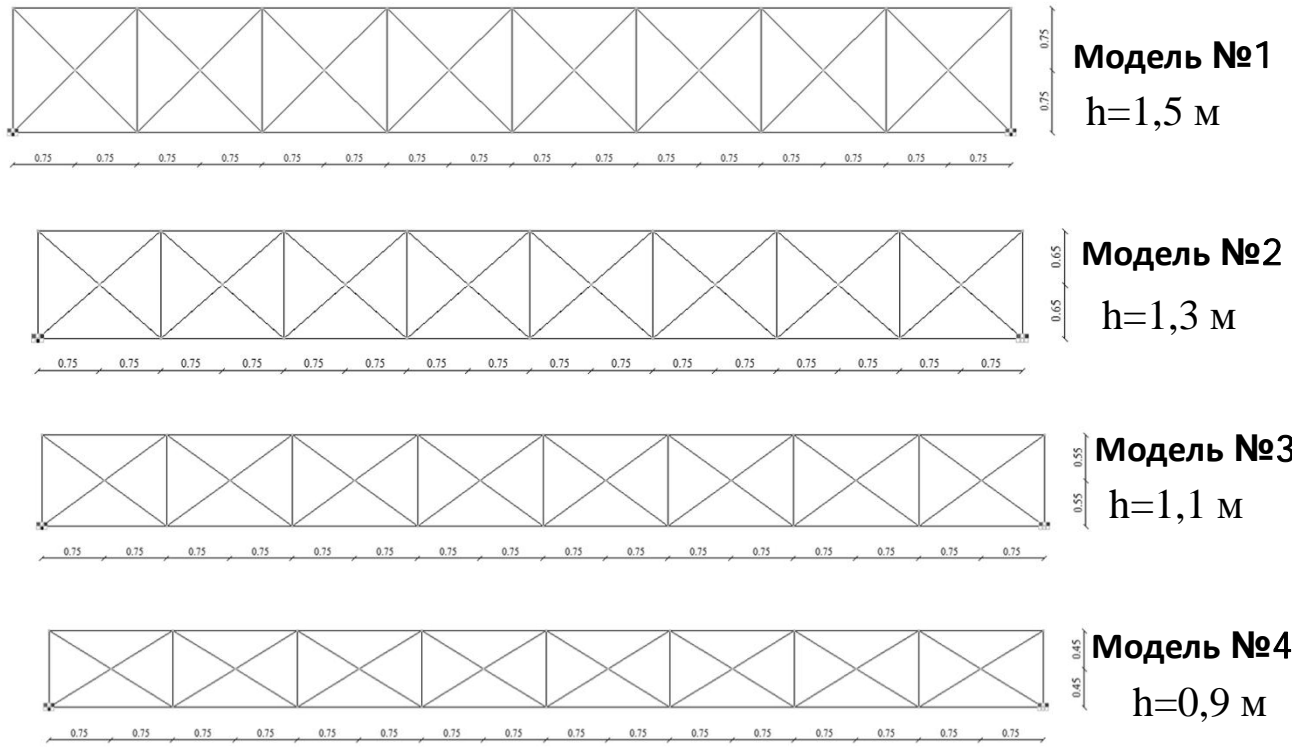
АЛГОРИТМ ВИКОНАННЯ ЧИСЛОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ



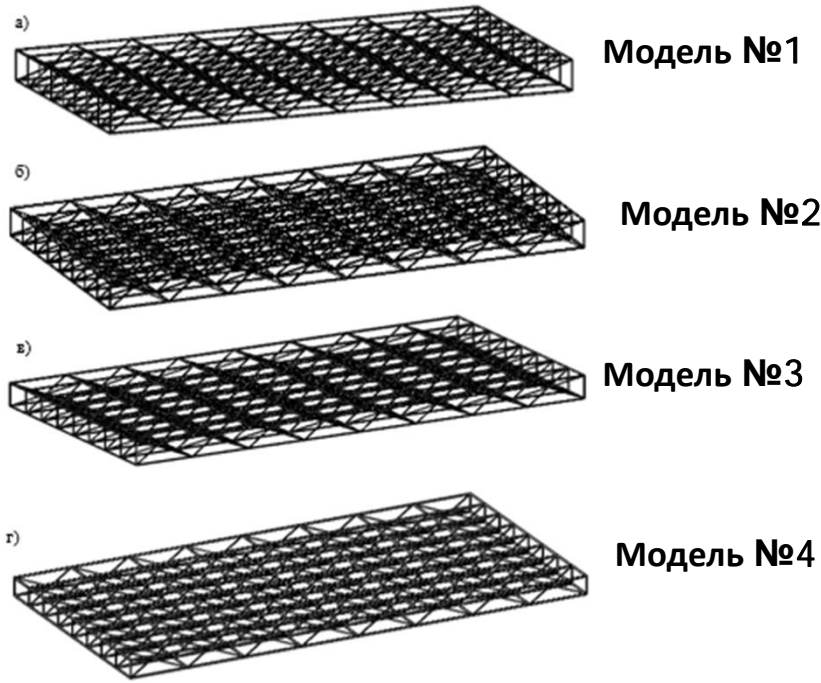
Таблиця 1. Варіанти розрахункових схем структурної плити 12х24 м в залежності від прийнятої товщини

№ варіанту	h/l	Товщина плити, [м]
1	$(1/16) \cdot 24$	1,5
2	$(1/18) \cdot 24$	1,3
3	$(1/22) \cdot 24$	1,1
4	$(1/24) \cdot 24$	0,9

Моделі структурної плити (вид в площині XOZ)



3 D моделі структурної плити

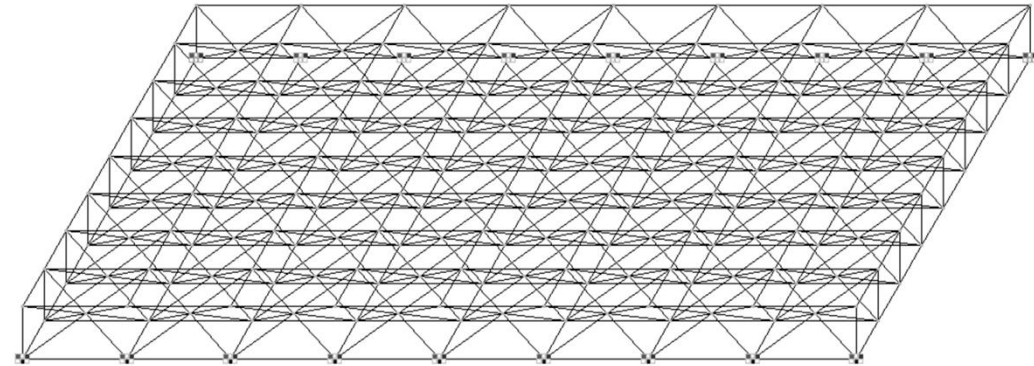
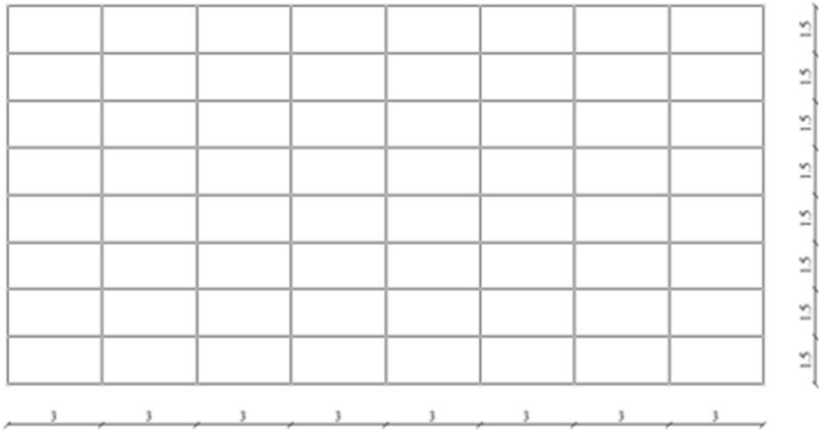


З метою визначення за параметром оптимальної висоти найбільш ефективного рішення структурної плити прийнято чотири варіанти плити, що відрізняються між собою лише товщиною (висотою) плити.

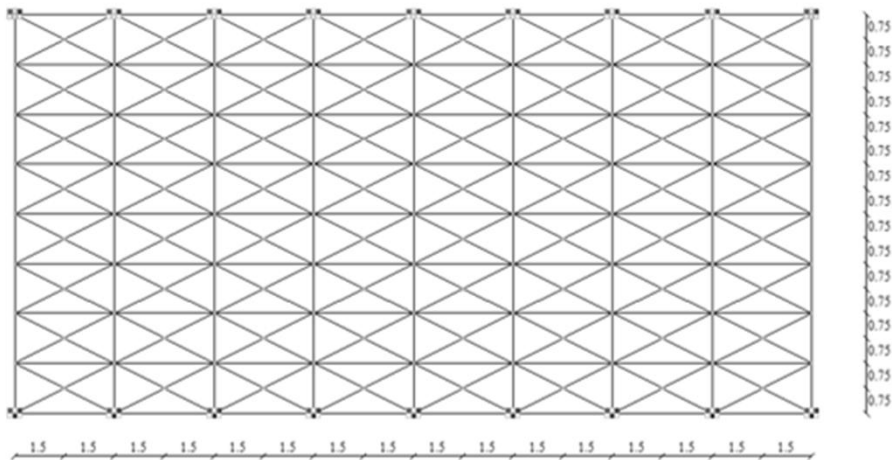
ГЕОМЕТРІЯ СТРУКТУРНОЇ ПЛИТИ

Ізометрія скінченоелементної схеми плити (площина ХУZ)

Ортогональна сітка верхнього та нижнього поясів (площина ХОУ)



Скінченоелементна модель плити в площині ХОУ



Просторова модель структурної плити

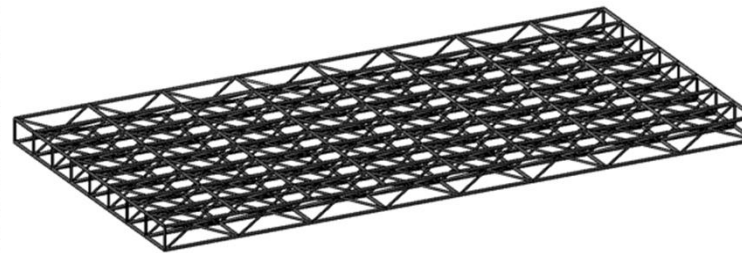
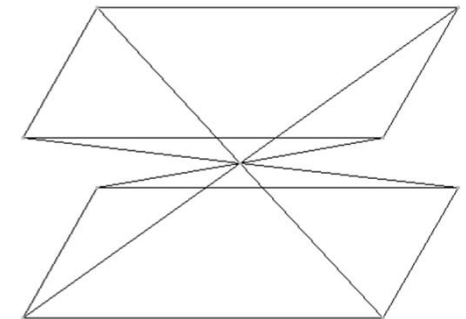


Рис. Базовий кристал, що утворює структурну плиту



УМОВИ СПИРАННЯ

Для всіх моделей структурної плити прийнято шарнірне спирання по двом довгим сторонам в 24,0 м плити на дві несучі стіни

З'єднання всіх елементів є шарнірним. Переріз для елементів всіх груп прийнято із труби безшовної гарячекатаної

КОНСТРУКТИВНІ ГРУПИ СТЕРЖНІВ

Всі елементи плити за конструктивною ознакою класифіковано в такі групи:

- стержні верхнього поясу;
- стержні нижнього поясу;
- стержні решітки

Попередньо, за першим наближенням, прийнято параметри жорсткості для цих груп стержнів. Всі елементи конструкції прийнято із сталі С235.

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖОРСТКОСТЕЙ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТРУКТУРНОГО ПОКРИТТЯ (ПРИ ІТЕРАЦІЙНОМУ РОЗРАХУНКУ №1)

Назва елементу	Поперечний переріз, см	E, т/м ²	R, т/м ³	μ	Сталь С235	q, т/м
1.Стержні верхнього поясу	Труба 114х20 ГОСТ 8732 - 78* 	2,1·10 ⁷	7,85	0,3	С235	0,046
2.Стержні нижнього поясу	Труба 114х20 ГОСТ 8732 - 78* 	2,1·10 ⁷	7,85	0,3	С235	0,046
3.Елементи решітки структурної плити	Труба 68х6 ГОСТ 8732 - 78* 	2,1·10 ⁷	7,85	0,3	С235	0,009 2

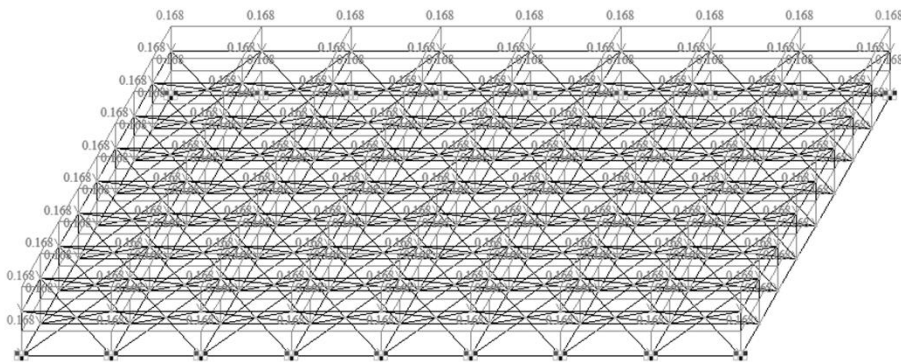
Параметри конструювання для конструктивних груп стержнів приймалися за РСН згідно норм ДБН В.2.6-198:2014. Сталеві конструкції.

НАВАНТАЖЕННЯ НА КОНСТРУКЦІЮ

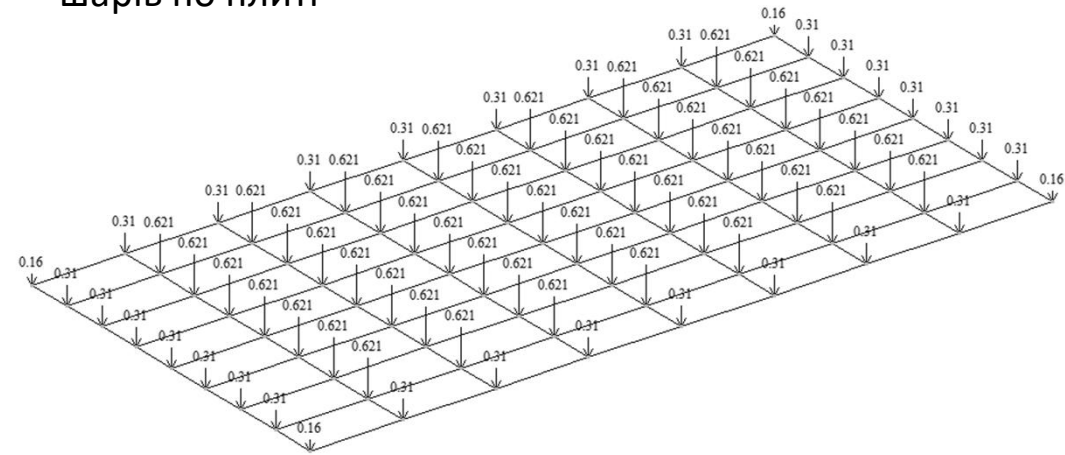
Прийнято три типи завантаження:

- Завантаження 1 (постійне, власна вага структури),
- Завантаження 2 (постійне, власна вага конструктивних шарів),
- Завантаження 3 (тимчасове снігове навантаження)

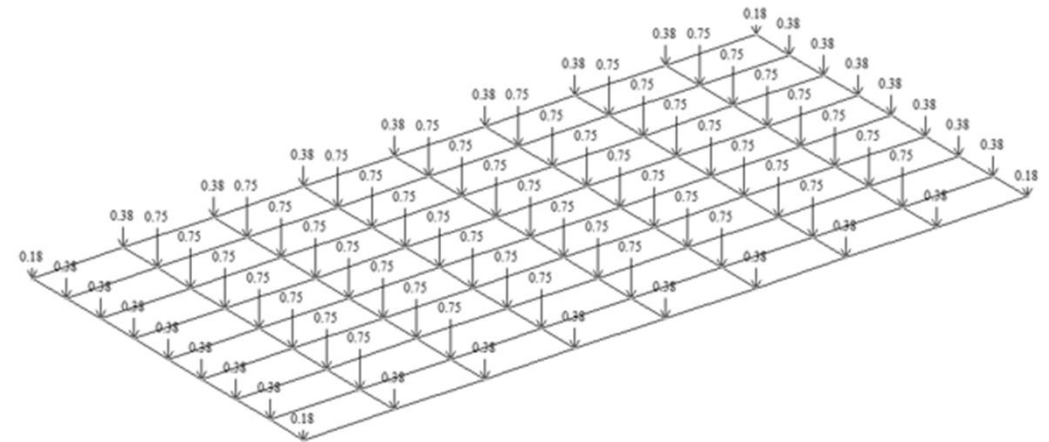
Завантаження 1 .Власна вага конструкції



Завантаження 2. Вага конструктивних шарів по плиті



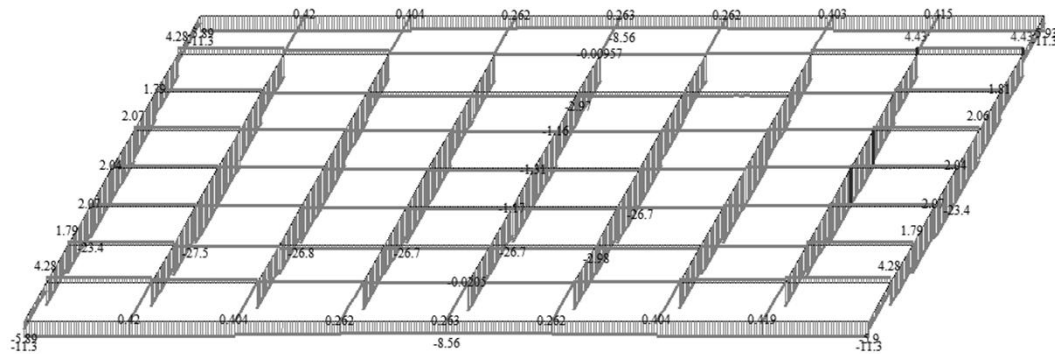
Завантаження 3. Вага снігу



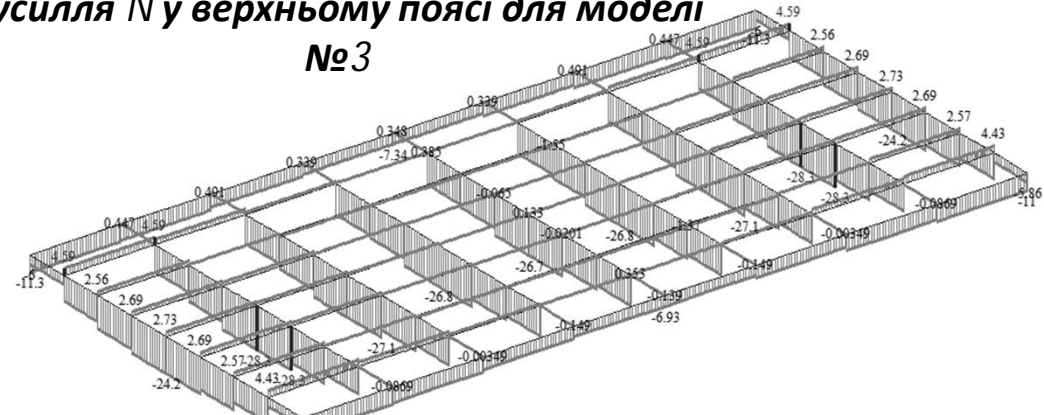
АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ СТАТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ

НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНІЙ СТАН ПІСЛЯ 1-ГО ІТЕРАЦІЙНОГО РОЗРАХУНКУ

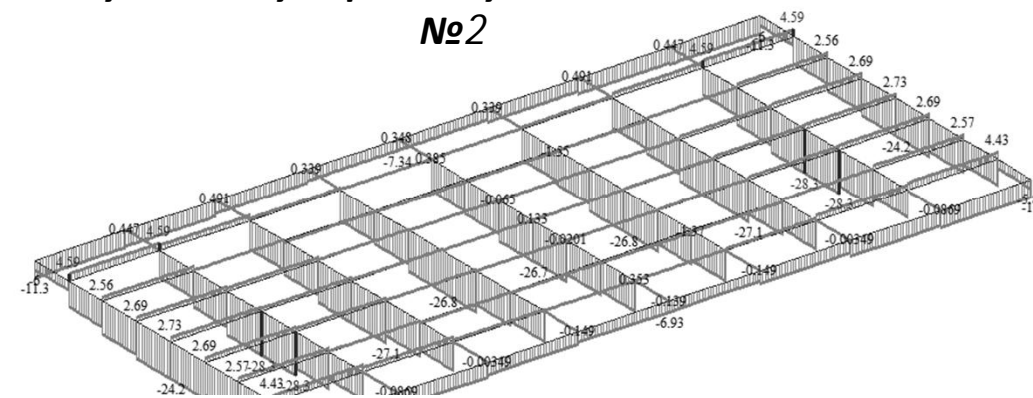
Зусилля N у верхньому поясі для моделі №1



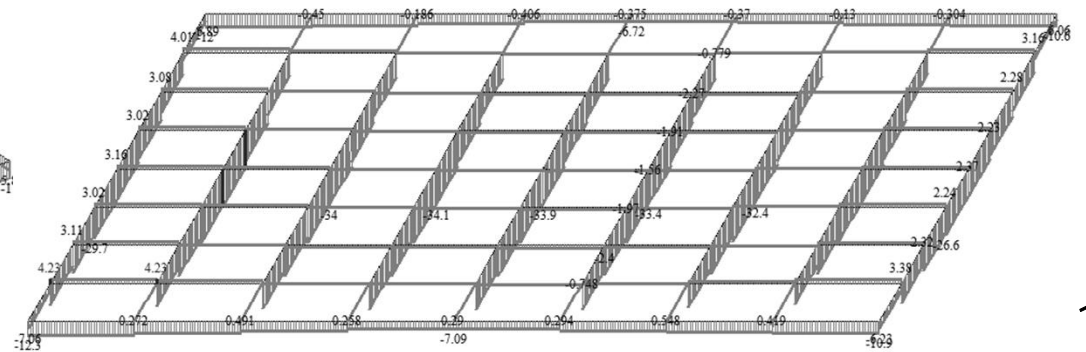
Зусилля N у верхньому поясі для моделі №3



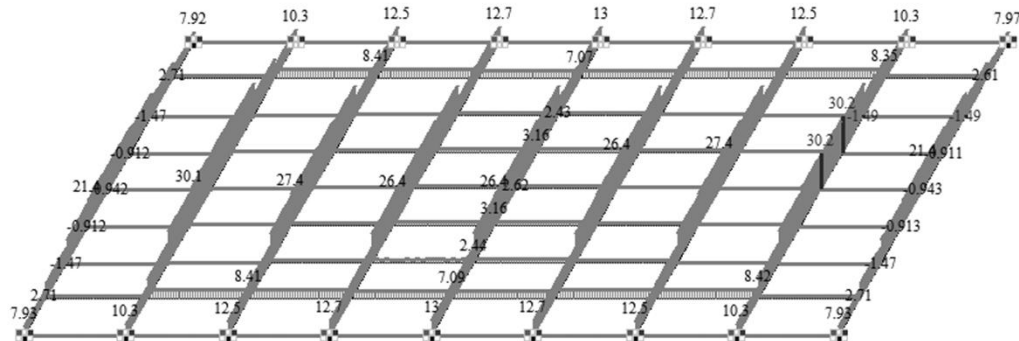
Зусилля N у верхньому поясі для моделі №2



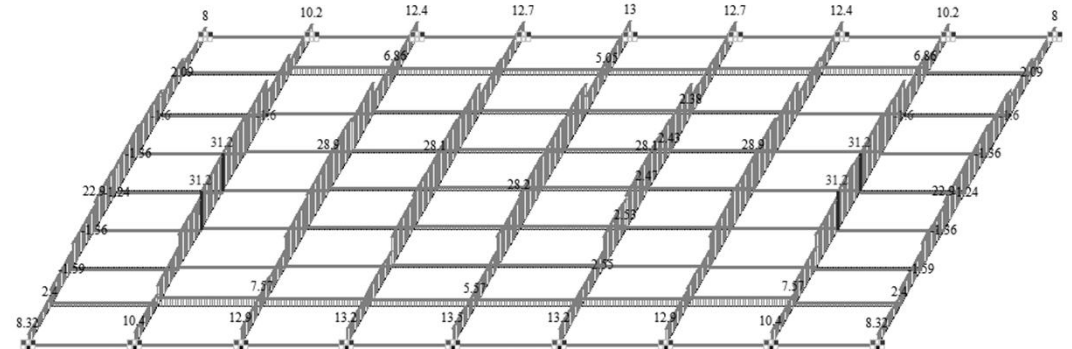
Зусилля N у верхньому поясі для моделі №4



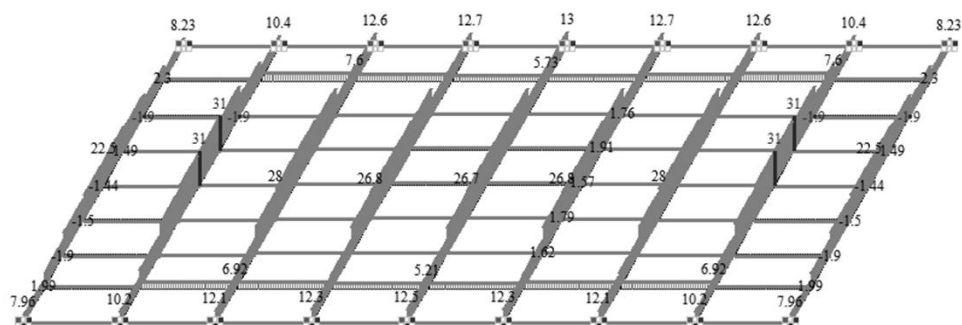
Зусилля N у нижньому поясі для моделі №1



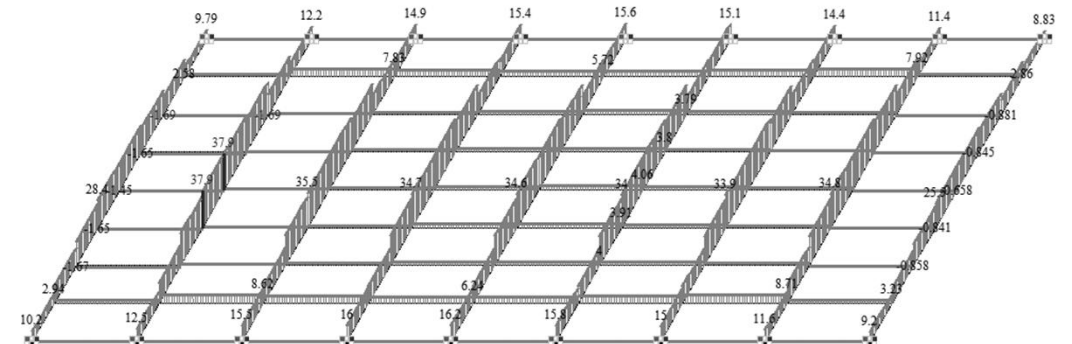
Зусилля N у нижньому поясі для моделі №3



Зусилля N у нижньому поясі для моделі №2



Зусилля N у нижньому поясі для моделі №4



Епюри прогинів fz [мм] стержнів верхнього поясу від РСН2 після 1-ї ітерації для схеми №1 №1

2.РСН10(ДБН В.1.2 - 2:2006_1)
Епора переміщень Z1
Одиниці виміру - мм

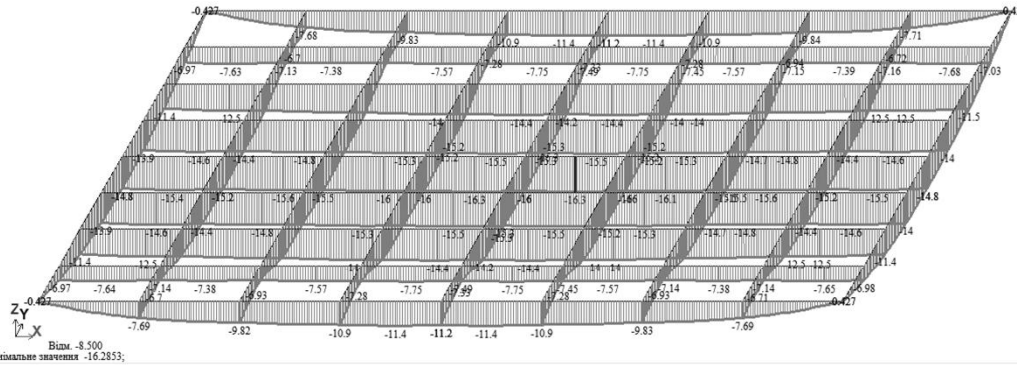


Рис. Деформована схема №1 плити (товщиною 150 см) після 1-го ітераційного розрахунку

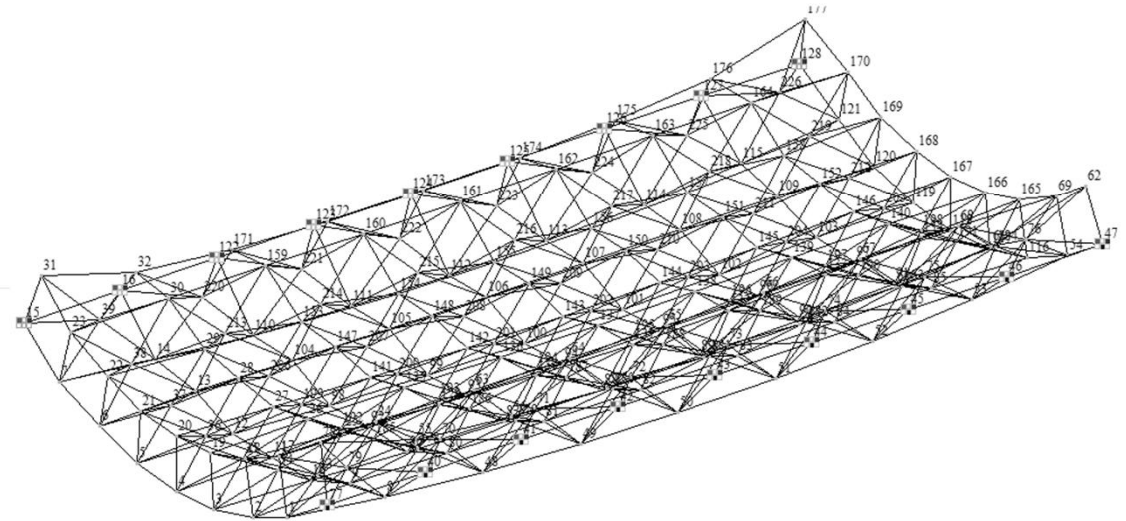
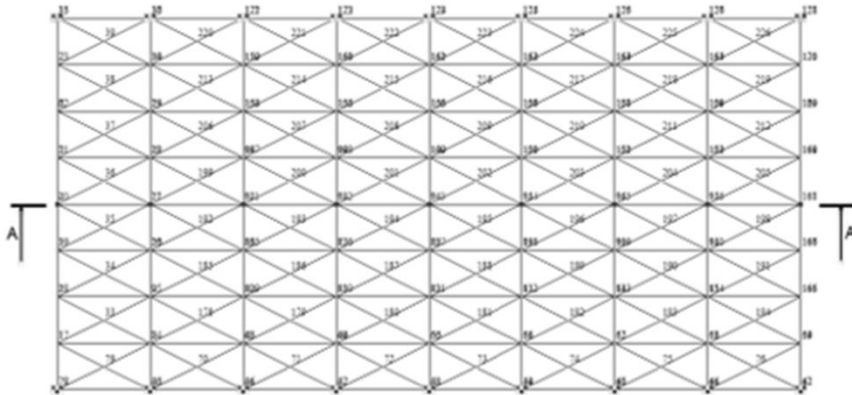


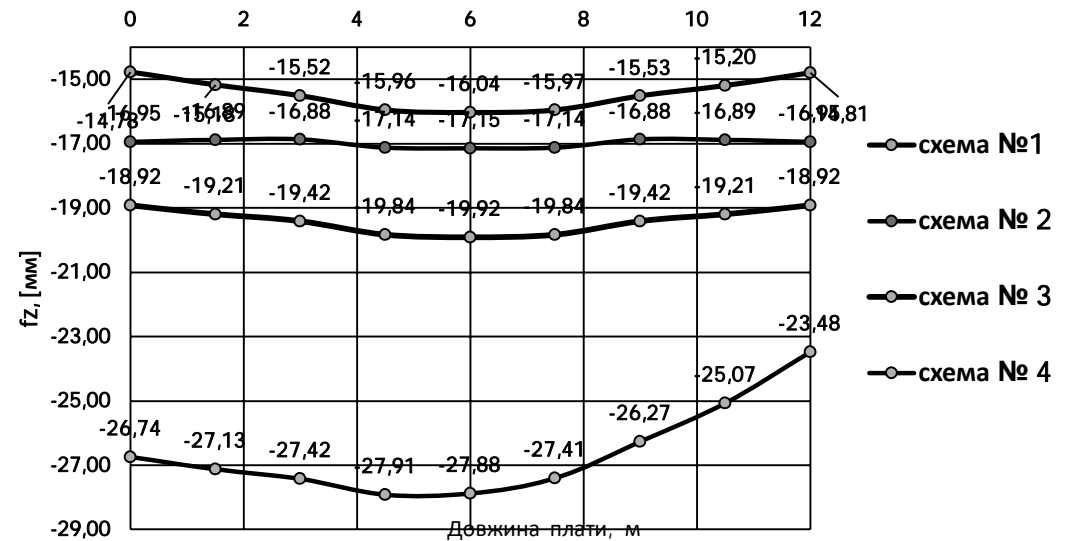
Рис. Розрахунковий переріз 1-1 для аналізу величин переміщень вузлів



Таблиця . Переміщення вузлів f_z після 1-го ітераційного розрахунку

Проліт, м	Переміщення вузлів, f_z [мм]			
	Схема № 1	Схема № 2	Схема № 2	Схема № 4
0	-14,78	-16,95	-18,92	-26,74
1,5	-15,18	-16,89	-19,21	-27,13
3	-15,52	-16,88	-19,42	-27,42
4,5	-15,96	-17,14	-19,84	-27,91
6	-16,04	-17,15	-19,92	-27,88
7,5	-15,97	-17,14	-19,84	-27,41
9	-15,53	-16,88	-19,42	-26,27
10,5	-15,20	-16,89	-19,21	-25,07
12	-14,81	-16,95	-18,92	-23,48

Графіки переміщень вздовж осі Z в перерізі 1-1 після 1-го ітераційного розрахунку



Після другого ітераційного розрахунку (розрахунку з новими жорсткостями, прийнятими в результаті перевірок за першою та другою групами граничних станів) деформативність моделей плит з різними товщинами зростає. Так із рисунку очевидно, що максимальні вертикальні прогини плити за схемою №1 (товщина 150 мм) є меншими ніж гранично допустиме значення:

$$f_{max} = 43,7 < 48 \text{ мм}$$

Для схеми №2 показник максимального прогину є майже рівним величині гранично допустимого прогину. Для схем №3 (товщина $h=1,1$ м) та схеми №4 (товщина 0,9 м) максимальний прогин перевищує гранично допустимий прогин.

Таким чином, умова достатньої жорсткості для схем №2,3 та 4 не забезпечена, отже конструктивне вирішення таких моделей не може бути прийнятним за результатами перевірки за другою групою граничних станів.

В таблиці наведено переміщення f_z в схемах плити після 1-го та 2-го ітераційних розрахунків в поздовжньому перерізі 1-1.

НОВІ ПАРАМЕТРИ ЖОРСТКОСТЕЙ ЕЛЕМЕНТІВ КОНСТРУКЦІЇ ЗА РЕЗУЛЬТАТАМИ 1-ГО ІТЕРАЦІЙНОГО РОЗРАХУНКУ

На основі зусиль, обчислених при жорсткостях 1-го типу були обчислено зусилля та деформації всіх моделей плит. На основ цих результатів статичного розрахунку автоматизовано в модулі «Металеві конструкції» з урахуванням параметрів конструювання та згідно призначених параметрів матеріалу було перераховані нові розміри трубчатих перерізів елементів моделей структур.

Таблиця . Жорсткості елементів верхнього поясу після ітераційного розрахунку №1

№ схеми	№ типу перерізу	Сталь	Профіль труби	Вага 1м.п. профілю, т	Довжи на стержнів поясу, м	Вага, т
1	1	C235	ТБ102 х 4	0,00849859	324	2,75
2	1	C235	ТБ102 х 3,5	0,00849859	324	2,75
3	24	C235	ТБ102х4	0,00849859	324	2,75
4	8	C235	ТБ127х4	0,0121285	324	3,93

Таблиця . Жорсткості елементів нижнього поясу після ітераційного розрахунку №1

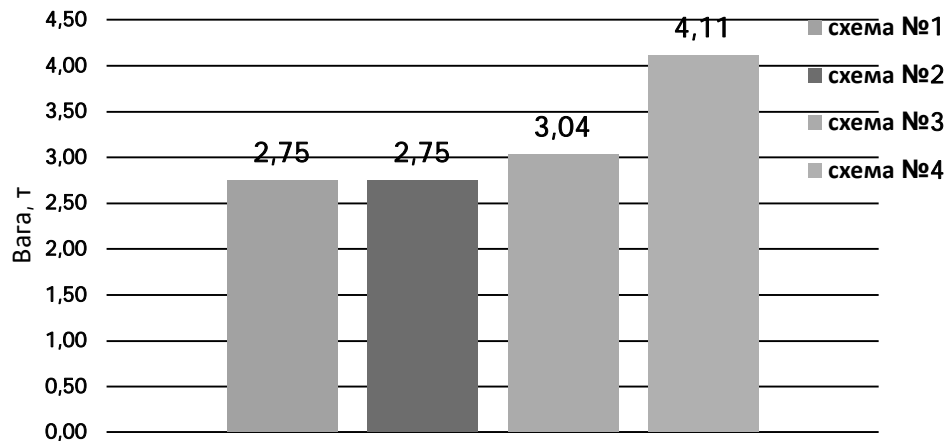
№ схеми	№ типу перерізу	сталь	Профіль труби	Вага 1м.п. профілю, т	Довжи на стержнів поясу, м	Вага, т
1	52	C235	ТБ102 х 3,5	0,00849859	324	2,75
2	27	C235	ТБ102 х 3,5	0,00849859	324	2,75
3	61	C235	ТБ89х4,5	0,00937371	324	3,04
4	6	C236	ТБ108х5	0,0126955	324	4,11

Таблиця . Жорсткості елементів решітки після ітераційного розрахунку №1

№ схеми	№ типу перерізу	Сталь	Профіль труби	Вага 1м.п. профілю, т	Довжи на стержнів поясу, м	Вага, т
1	88	C235	ТБ83х3,5	0,00685926	495,48	3,40
2	102	C235	ТБ83х3,5	0,00685926	484,2	3,32
3	105	C235	ТБ76х3	0,00539867	470,36	2,54
4	138	C235	ТБ89х3,5	0,00737694	461,64	3,41

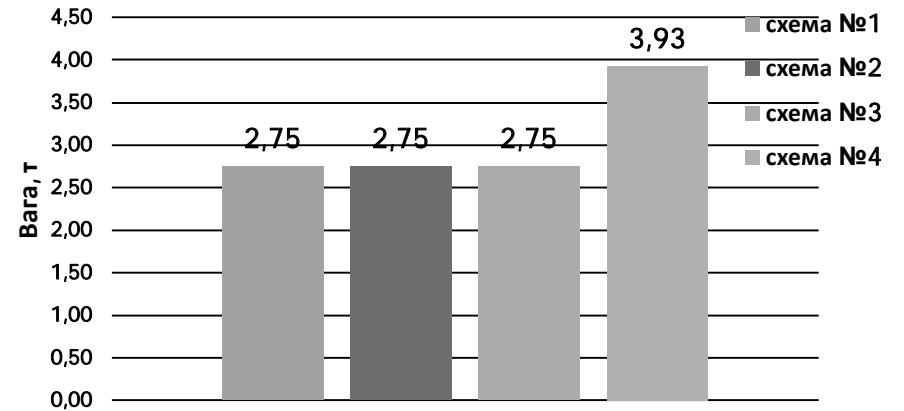
Для кожної групи конструктивних елементів як уніфікований, єдиний профіль було прийнято **максимальні діаметр профілю труби, запропонований в модулі «Металеві конструкції»**. Згідно нових профілів труби було підраховано вагу кожної конструктивної моделі. Підрахунок ваги конструктивних груп стержнів графічно зображено на діаграмах.

Вага нижнього поясу



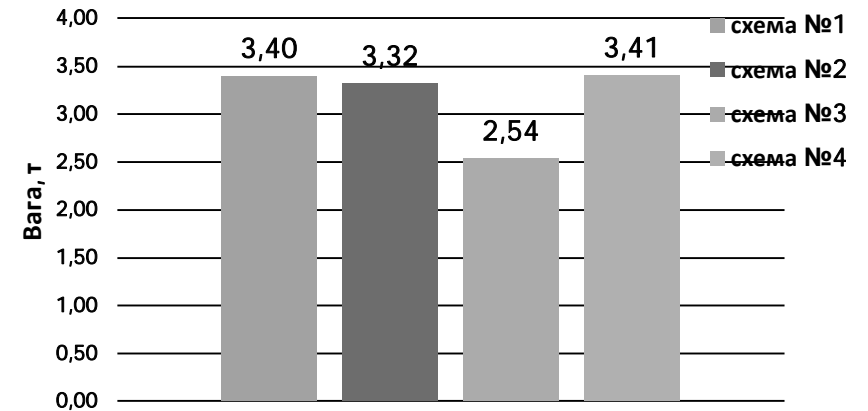
б)

Вага верхнього поясу



в)

Вага розкосів та стійок



Таблиця 1. – Вага схеми плити №1

№ схеми	№ типу перерізу	Сталь	Профіль труби	Вага 1м.п. профілю, т	Довжина стержні в поясу, м	Вага, т
Верхній пояс	1	С235	ТБ102 х 4	0,00849859	324	2,75
Нижній пояс	52	С235	ТБ102 х 3,5	0,00849859	324	2,75
Розкоси	88	С235	ТБ83х3,5	0,00685926	495,48	3,40
					Всього:	8,91

Таблиця 2. – Вага схеми плити №2

№ схеми	№ типу перерізу	Сталь	Профіль труби	Вага 1м.п. профілю, т	Довжина стержні в поясу, м	Вага, т
Верхній пояс	1	С235	ТБ102 х 3,5	0,00849859	324	2,75
Нижній пояс	27	С235	ТБ102 х 3,5	0,00849859	324	2,75
Розкоси	102	С235	ТБ83х3,5	0,00685926	484,2	3,32
					Всього:	8,83

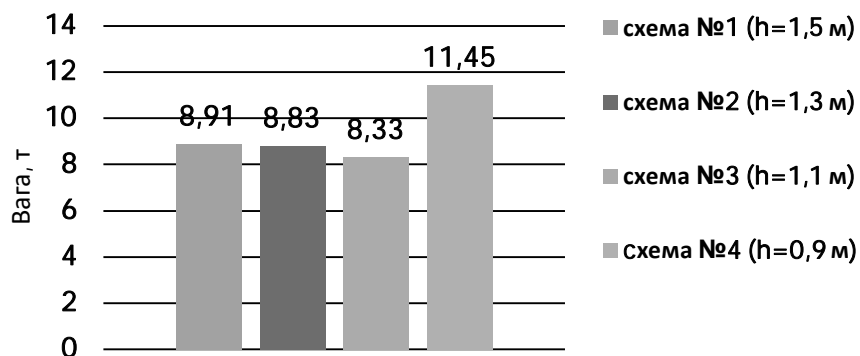
Таблиця 3. – Вага схеми плити №3

№ схеми	№ типу перерізу	сталь	Профіль труби	Вага 1м.п. профілю, т	Довжина стержні в поясу, м	Вага, т
Верхній пояс	24	С235	ТБ102х4	0,00849859	324	2,75
Нижній пояс	61	С235	ТБ89х4,5	0,00937371	324	3,04
Розкоси	105	С235	ТБ76х3	0,00539867	470,36	2,54
					Всього:	8,33

Таблиця 4. – Вага схеми плити №4

№ схеми	№ типу перерізу	сталь	Профіль труби	Вага 1м.п. профілю, т	Довжина стержні в поясу, м	Вага, т
Верхній пояс	8	С235	ТБ127х4	0,0121285	324	3,93
Нижній пояс	6	С236	ТБ108х5	0,0126955	324	4,11
Розкоси	138	С235	ТБ89х3,5	0,00737694	461,64	3,41
					Всього:	11,45

Вага моделей структурної плити згідно нових форм перерізу, підібраних після 1-го ітераційного розрахунку



Найменша вага буде у моделі плити з висотою в 1,1 м. Найбільшою вагою характеризується модель №4 з висотою 0,9 м. Різниця у вазі цих плит з найменшою та найбільшою вагою становить 1,37 рази.

Отже, за критерієм матеріалоемності, найбільш ефективною з-поміж варіантів, що досліджувалися, є модель плити за схемою №3.

ІТЕРАЦІЙНИЙ РОЗРАХУНОК №2

За результати підбору нових перерізів елементів плити.

Було призначено нові параметри жорсткості для елементів розрахункових схем.

Було виконано 2-й ітераційний статичний розрахунок моделей плити із **новими параметрами жорсткостей**.

Розрахунок було виконано з метою перевірки % використання перерізу за 1ГС та 2ГС.

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПІСЛЯ ІТЕРАЦІЙНОГО РОЗРАХУНКУ №1 ТА ІТЕРАЦІЙНОГО РОЗРАХУНКУ №2

Згідно ДСТУ «Прогини та переміщення» обчислимо максимальний граничний вертикальний прогин для структурної плити, як для горизонтальної несучої конструкції:

$$f_u = \frac{l}{250} = \frac{24000}{250} = 96 \text{ мм} \quad (1)$$

Максимальні переміщення вузлів розрахункових моделей за результатами 1-го та 2-го ітераційних розрахунків

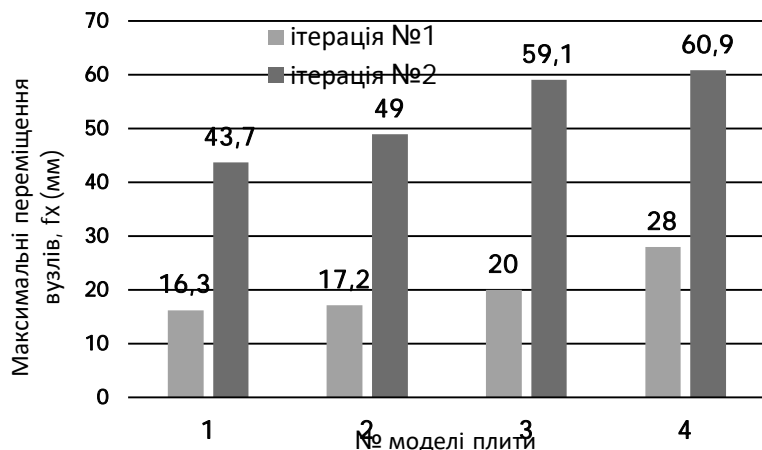


№ схеми	Максимальні переміщення		Товщина плити, h [м]
	f_z , мм		
	Ітераційний розрахунок №1 f_z , [мм]	Ітераційний розрахунок №2 f_z , [мм]	
1	16,3	43,7	1,5
2	17,2	49	1,3
3	20	59,1	1,1
4	28	60,9	0,9

Значення максимальних вертикальних прогинів як при першому типі призначених жорсткостей, так і при другому типі жорсткостей стержнів плити, прийнятих внаслідок підбору за умовами 1-ї та 2-ї груп граничних станів, **не перевищують гранично допустимого значення прогину плити.**

Очевидно, що розрахунок з перевіркою та підбором перерізів оптимізував жорсткість перерізу стержнів всіх конструктивних груп елементів плити й отримано нові збільшені значення прогинів.

Максимальні переміщення вузлів fZ в CE схемах



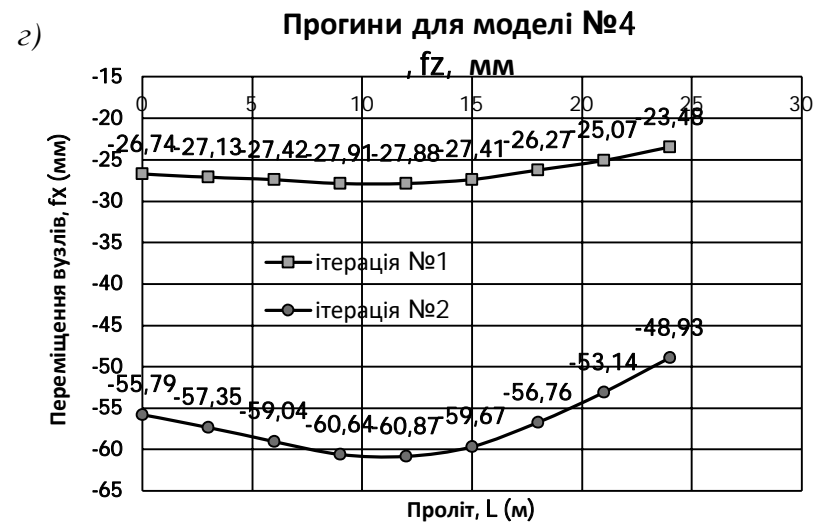
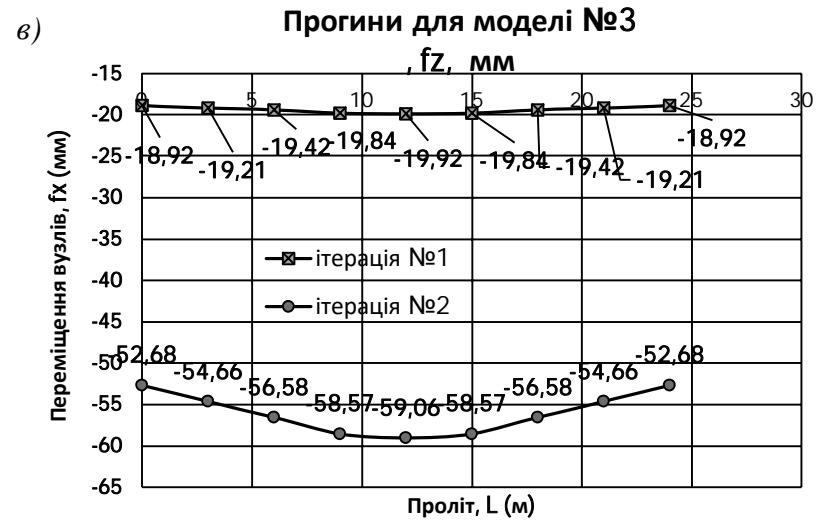
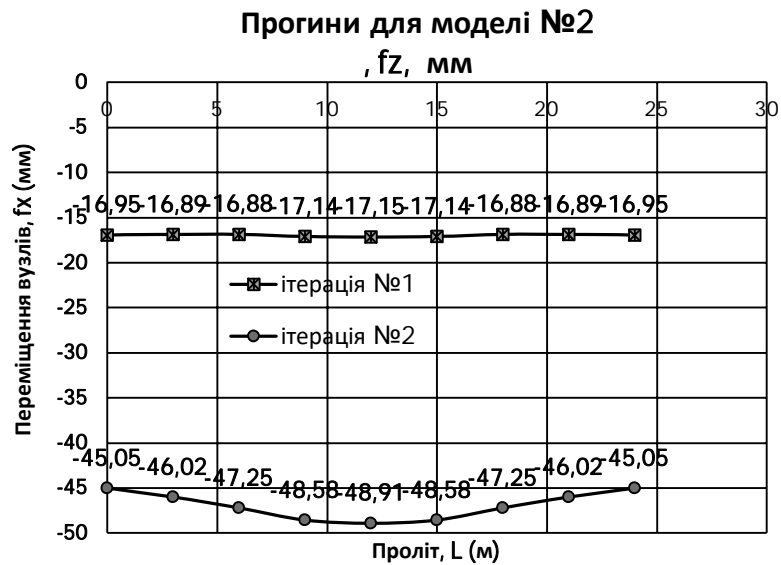
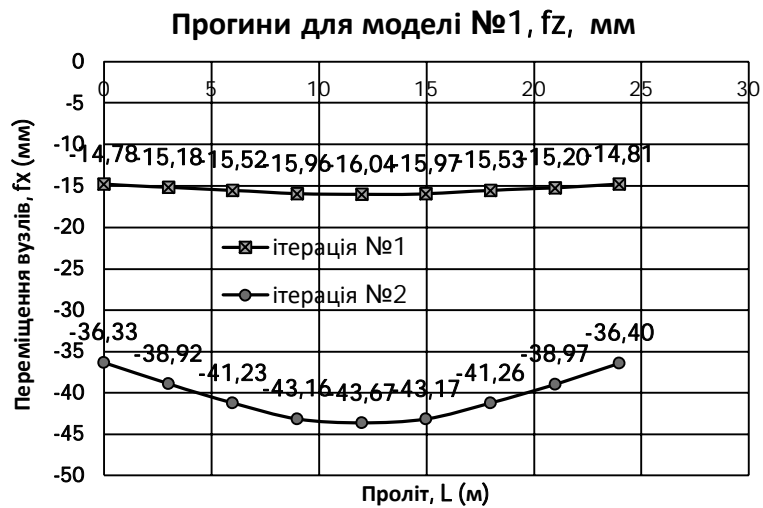
Таблиця . Переміщення fZ після 1-го та 2-го ітераційних розрахунків в перерізі 1-1

Про літ, м	Схема №1		Схема №2		Схема №3		Схема №4	
	Ітерація 1	Ітерація 2	Ітерація 1	Ітерація 2	Ітерація 1	Ітерація 2	Ітерація 1	Ітерація 2
0	-14,78	-36,33	-16,95	-45,05	-18,92	-52,68	-26,74	-55,79
3	-15,18	-38,92	-16,89	-46,02	-19,21	-54,66	-27,13	-57,35
6	-15,52	-41,23	-16,88	-47,25	-19,42	-56,58	-27,42	-59,04
9	-15,96	-43,16	-17,14	-48,58	-19,84	-58,57	-27,91	-60,64
12	-16,04	-43,67	-17,15	-48,91	-19,92	-59,06	-27,88	-60,87
15	-15,97	-43,17	-17,14	-48,58	-19,84	-58,57	-27,41	-59,67
18	-15,53	-41,26	-16,88	-47,25	-19,42	-56,58	-26,27	-56,76
21	-15,20	-38,97	-16,89	-46,02	-19,21	-54,66	-25,07	-53,14
24	-14,81	-36,40	-16,95	-45,05	-18,92	-52,68	-23,48	-48,93

Найменша вага буде у моделі плити з висотою в 1,1 м. Найбільшою вагою характеризується модель №4 з висотою 0,9 м. Різниця у вазі цих плит з найменшою та найбільшою вагою становить 1,37 рази.

Отже, за критерієм матеріалоемності, найбільш ефективною з-поміж варіантів, що досліджувалися, є модель плити за схемою №3.

Але аналіз переміщень вузлів моделей плити виявив, що лише максимальний прогин плити за моделлю №1 **не перевищує гранично допустимий прогин в 4,8 см**. Максимальні прогини в моделях №№ 2,3,4 перевищують гранично допустиме значення. Отже в моделях №№2,3,4 умова перевірки за другою групою граничних станів не виконується й **модель №3, що має найменшу вагу, не може бути прийнята оптимальною**.



Максимальні значення осьового зусилля N в стержнях верхнього поясу

№ схеми	Зусилля, N [т]		Різниця, %
	ітерація №1	ітерація №2	
1	-27,5	-27,9	1,45
2	-28,3	-12,5	126,4
3	-28,5	-15,42	84,8
4	-34,8	-18,6	87

Максимальні значення осьового зусилля N в стержнях решітки

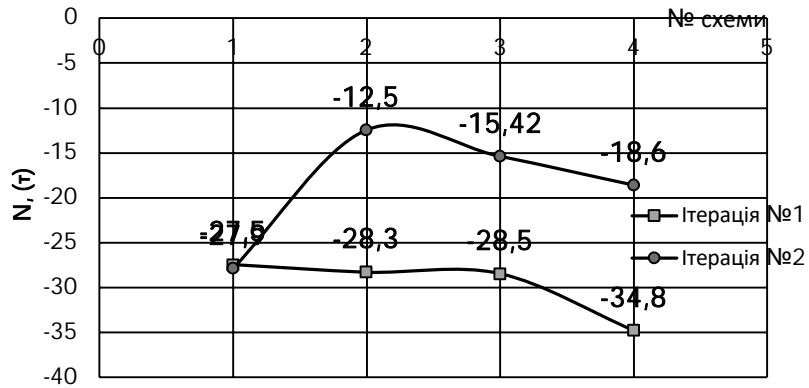
№ схеми	Зусилля, N + [т]		Зусилля, N- [т]		Різниця +, %	Різниця-, %
	ітерація №1	ітерація №2	ітерація №1	ітерація №2		
1	14,1	11,9	-18,8	-19,8	18,5	5,3
2	13,7	5,46	-18,8	-8,9	150,9	111,2
3	12,8	6,47	-18,2	-10	97,8	82
4	14,3	6,7	-21,2	-10,9	113,4	94,5

Максимальні значення осьового зусилля N в стержнях нижнього поясу

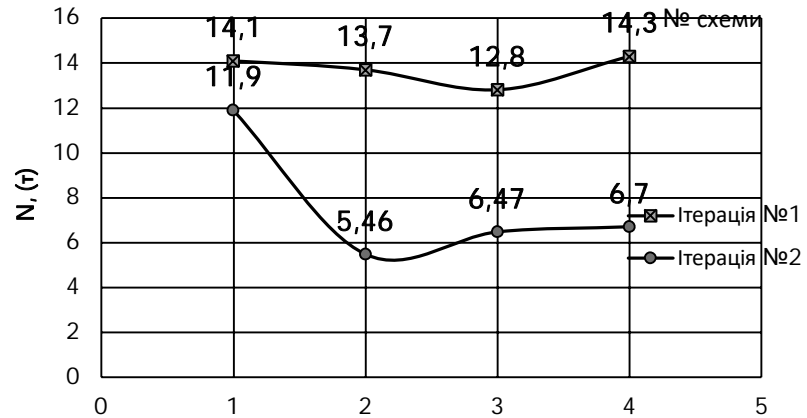
№ схеми	Зусилля, N [т]		Різниця, %
	ітерація №1	ітерація №2	
1	30,18	27,7	8,95
2	31	13,2	134,8
3	31,2	15,8	97,5
4	37,9	19	99,5

АНАЛІЗ ЗУСИЛЬ В СТЕРЖКНЕВИХ ЕЛЕМЕНТАХ СЕ МОДЕЛЕЙ

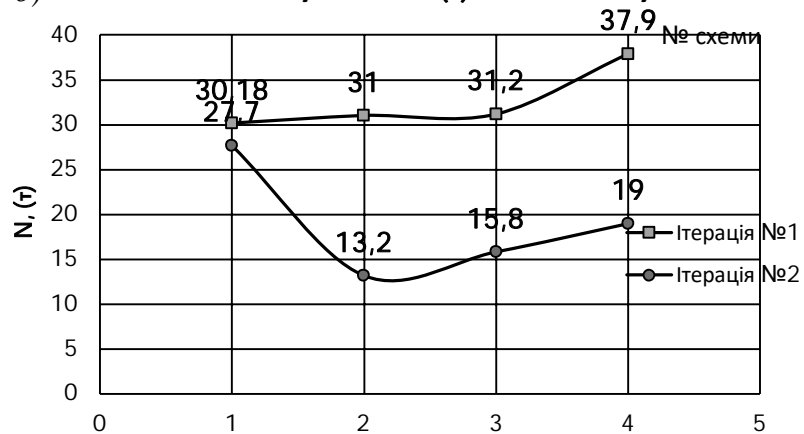
а) Максимальні зусилля N (τ) в верхньому поясі



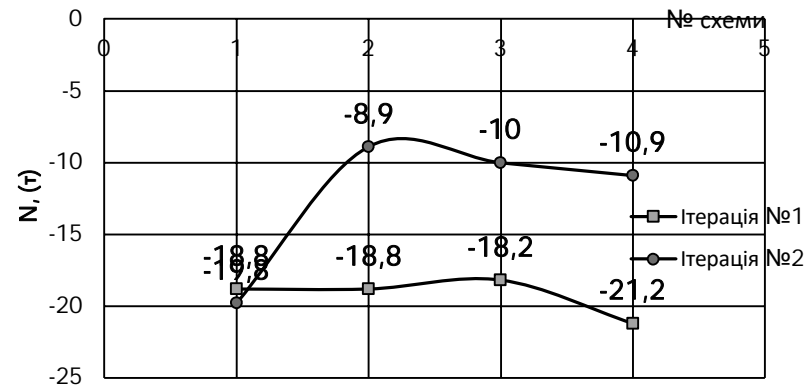
в) Максимальні зусилля $N + (\tau)$ в розкосах



б) Максимальні зусилля N (τ) в нижньому поясі



г) Максимальні зусилля $N - (\tau)$ в розкосах



АНАЛІЗ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ПЕРЕРІЗІВ СТЕРЖНІВ МОДЕЛЕЙ ПЛИТ ПІСЛЯ 1-ГО ТА 2-ГО ІТЕРАЦІЙНИХ РОЗРАХУНКІВ

Максимальне використання (%) перерізів стержнів верхнього поясу

№ схеми	% _{max} використання перерізу			
	ітерація №1	ітерація №2	ітерація №1	ітерація №2
	1ГС		2ГС	
1	20,6	99,9	30,9	30,3
2	21,2	113	30,9	30,1
3	21,4	103	30,9	30,3
4	26	97,9	30,9	24,1

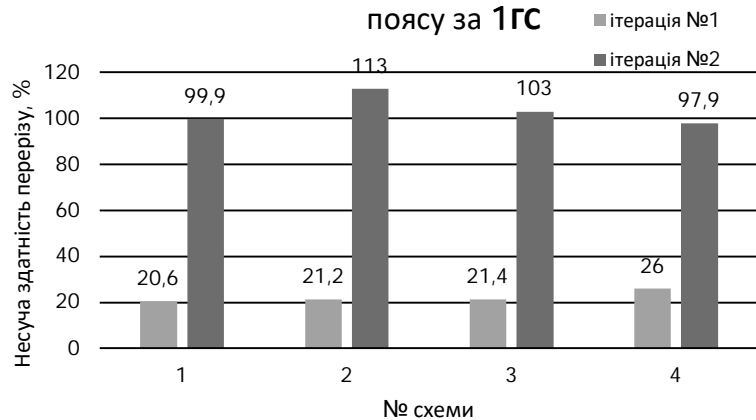
Максимальне використання (%) перерізів стержнів нижнього поясу

№ схеми	% _{max} використання перерізу			
	ітерація №1	ітерація №2	ітерація №1	ітерація №2
	1ГС		2ГС	
1	21,8	100	30,9	30,1
2	22,4	113	30,9	30,1
3	22,6	105	30,9	35,1
4	27,4	97,3	30,9	24,1

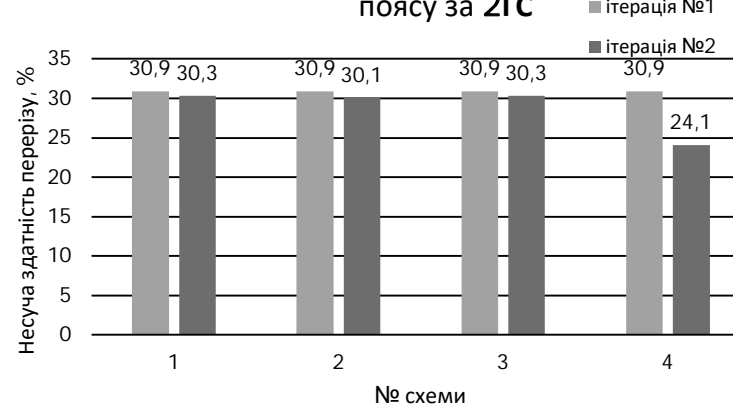
Максимальне використання (%) перерізів стержнів решітки

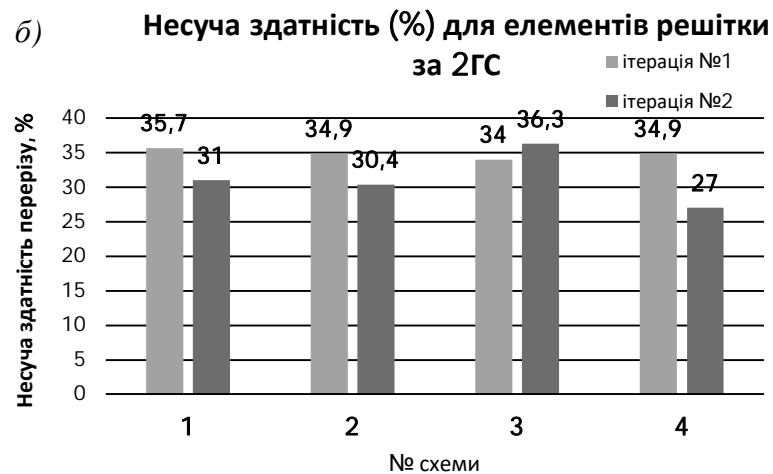
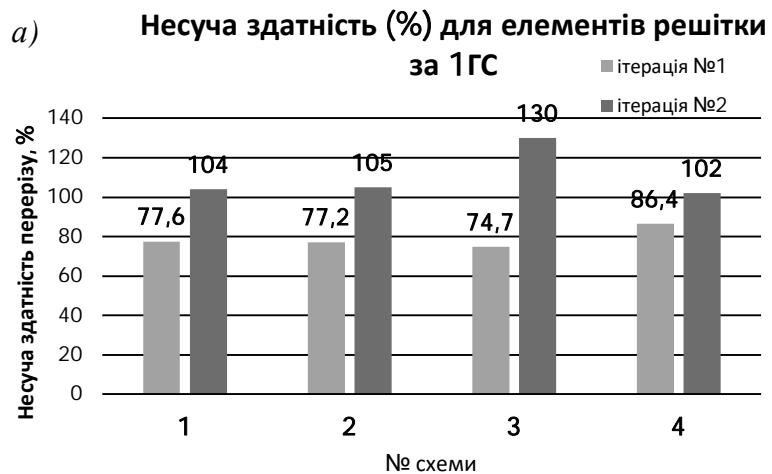
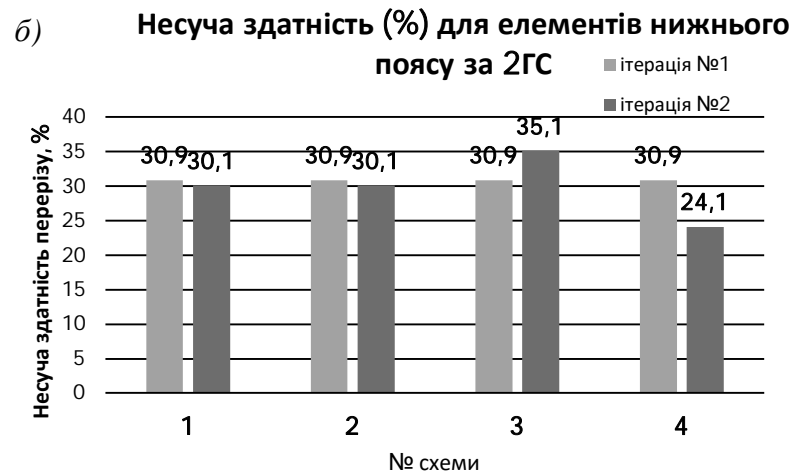
№ схеми	% _{max} використання перерізу			
	ітерація №1	ітерація №2	ітерація №1	ітерація №2
	1ГС		2ГС	
1	77,6	104	35,7	31
2	77,2	105	34,9	30,4
3	74,7	130	34	36,3
4	86,4	102	34,9	27

а) Несуча здатність (%) для елементів верхнього поясу за 1ГС



б) Несуча здатність (%) для елементів верхнього поясу за 2ГС





ВИСНОВКИ

1. Плита, що є результатом просторого поєднання стержнів за різними способами є ефективною стержневою несучою конструкцією, що відрізняється рядом переваг в порівнянні із залізобетонними плитами суцільного перерізу чи несучою системою покриття із регулярно розташованих плоских ферм та прогонів по ним.
2. Структурна плита є біонічною конструкцією, оскільки принцип її побудови базується на будові природних кристалів. Відомо, що найбільш ефективні за характером статичної роботи є ті конструкції, формоутворення яких здійснено за принципами живої природи [3].
3. Для структурних плит існують так звані «регулятори зусиль» – параметри конструктивної схеми, що значними чином впливають на її напружено-деформований стан. Товщина плити є тим параметром, зміна якого обумовлює зміну величини осьових зусиль в конструктивних групах стержнів плити.
4. Дослідження моделі плити, регулятором в якій було прийнято змінну товщину (висоту плит), виявило найбільш ефективну модель з-поміж можливих за критерієм металоємності (найменшої ваги). Всі варіанти товщини плити були прийняті в рекомендованому діапазоні щодо можливої товщини плити $((1/16) l \div (1/24) l)$ з градацією 0,2 м.

ВИСНОВКИ

5. Конструкцією з найменшою вагою, тобто найменш матеріалоємною, виявилася плита за схемою №3 з товщиною 1,1 м. Її вага є на 37,5% меншою від ваги плити за схемою № 4, яка має найбільшу вагу.
6. Аналіз переміщень вузлів моделей плити виявив, що лише максимальний прогин плити за моделлю №1 не перевищує гранично допустимий прогин в 4,8 см. Максимальні прогини в моделях №№ 2,3,4 перевищують гранично допустиме значення. Отже в моделях №№2,3,4 умова перевірки за другою групою граничних станів не виконується й **модель №3, що має найменшу вагу, не може бути прийнята оптимальною.**
7. Зважаючи на умову достатньої жорсткості оптимальним конструктивним вирішенням буде **модель №1**. Різниця у вазі моделі № 1 (8,9 т) та моделі №3 (8,33 т) з найменшою вагою становить 6,8%.
8. Для моделі №1 максимальна ступінь використання площ перерізів стержнів за умовою міцності та стійкості становить 104%, а за умовою жорсткості – 31%.
9. Як **перспективу подальших** досліджень слід передбачити декілька подальших ітераційних розрахунків для моделі №1, що мають на меті підвищити % використання перерізів стержнів за 2-ю групою граничних станів та зменшити вагу плити.

**ДЯКУЮ ЗА
УВАГУ**