

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

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
Будівельних конструкцій

/...../

підпис

«__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

На тему: «**Робота структурної плити в залежності від граничних умов**»

Виконав (ла)

(підпис)

Кулик В.Ю.

(Прізвище, ініціали)

Група

(Науковий)

керівник

(підпис)

Срібняк Н.М.

(Прізвище, ініціали)

Суми – 2024 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра: будівельних конструкцій

Спеціальність: 192 "Будівництво та цивільна інженерія"

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Кулик Владислав Юрійович

Тема роботи: Робота структурної плити в залежності від граничних умов

Затверджено наказом по університету № _____ від "___" _____ 2024р.

Строк здачі студентом закінченої роботи: "___" _____ 2024 р.

Вихідні дані до роботи:

Об'ємо-планувальне та конструктивне рішення загальноосвітньої школи.

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

Виконати огляд джерел щодо особливостей роботи та проектування структурних плит. Створити СЕ моделі структурних плит покриття з попереднім напруженням та без попереднього напруження. Оцінити вплив попереднього напруження в структурній плиті на параметри НДС. Підрахувати вагу моделей згідно прийнятих профілів стержнів. Сформулювати висновки.

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)

В.Ю. Кулик

(Прізвище, ініціали)

Анотація

Кулик Владислав Юрійович. Робота структурної плити в залежності від граничних умов – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота магістра за спеціальністю 192 «Будівництво та цивільна інженерія». – Сумський національний аграрний університет, Суми, 2024.

Робота складається із змісту, загальної характеристики роботи та її кваліфікаційних ознак, опису об'ємно-планувального та конструктивного рішення будівлі, огляду досліджень за обраною темою, розділів основної частини, висновків за результатами досліджень та формулювань перспектив досліджень (українською та англійською мовами).

Сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, методи наукового дослідження.

Результати досліджень надають можливість за результатами числових досліджень оцінити вплив улаштування попереднього натягу в нижньому поясі структурної плити покриття з розміром в плані 27,0x37,5 м.

Варіанти конструктивного вирішення плити, що розглядаються, відрізняються відсутністю та наявністю попереднього натягу способом влаштування в площині нижнього поясу плити попередньо напружених канатів.

Аналіз публікацій та досліджень встановив, що регулювання зусиль в елементах структурної плити є актуальною та важливою задачею, оскільки таке регулювання дозволяє «вирівнювати» осьові зусилля в стержнях верхнього, нижнього поясу та решітки. Оптимізація статичної роботи полягає в тому, що потрібно прагнути методами конструювання досягти рівномірного розподілення та якомога більшої рівності (за модулем) значень осьових зусиль в стержнях

верхнього (нижнього) поясу структурної плити покриття. Рівномірний розподіл передбачає також, одночасно, й зменшення цих зусиль за модулем.

В **основній частині** наведено опис двох скінченоелементних схем структурної плити покриття з розміром в плані 27,0x37,5 м. Плита є двохскатною та спирається на колони в чотирьох кутах. Перша схема не передбачає улаштування конструктивних елементів – зтяжок між кінцями похилих стержнів нижнього поясу. В схемі №2 такі елементи (у вигляді канатів) запроектовані.

Дві розрахункові схеми мають однакові параметри та відрізняються лише наявністю чи відсутністю зтяжок.

В результаті статичного розрахунку порівняно показники напружено-деформованого стану двох моделей.

За даними статичного розрахунку в модулі «Метал» згідно заданих параметрів конструювання за ДБН «Сталеві конструкції» прийнято нові профілі конструктивних груп стержнів конструкцій. За новими параметрами жорсткостей перерізів стержнів структурної плити обчислено вагу кожної моделі.

У **висновках** встановлено, що влаштування попередньо напружених елементів по нижньому поясу плити «розвантажує» конструкцію, зменшує величину зусиль стиску в стержнях верхнього поясу, зусиль розтягу нижнього поясу та знакоперемінних зусиль в стержнів решітки.

Ключові слова: структурна плита, регулятори зусиль, попереднє напруження, сталеві конструкції, матеріалоємність

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

Кулик В.Ю., Срібняк Н.М., Галушка С.А. Робота структурної плити в залежності від граничних умов // Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої Міжнародному дню студента (13-17 листопада 2023 р.) – Суми, 2023. С. 82

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

Структура роботи. Робота складається з основного тексту на 53 сторінках, у тому числі 13 таблиці, 46 рисунків. Текст роботи містить 7 розділів, що включають загальну характеристику роботи й висновки, список з 21 джерел, 2 додатків на 29 сторінках. Графічна частина складається з 25 слайдів мультимедійної презентації.

Abstract

Kulyk Vladyslav Yuriiovich. The behavior of the spatial structural grid plate depending on the boundary conditions – Master's qualification work with manuscript rights.

Master's qualification work in specialty 192 "Construction and civil engineering". – Sumy National Agrarian University, Sumy, 2024.

The work consists of the content, the general characteristics of the work and its qualification features, 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 research and formulations of research perspectives (in Ukrainian and English).

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

The **research results** make it possible to evaluate the influence of the pre-tensioning device in the lower belt of the structural slab of the covering with the plan size of 27.0x37.5 m based on the results of numerical studies.

Variants of the constructive solution of the slab under consideration differ in the absence and presence of pre-tension by means of arranging pre-tensioned ropes in the plane of the lower belt of the slab.

The two design schemes have the same parameters and differ only in the novelty or absence of puffs.

As a result of the static calculation, the indicators of the stress-strain state of the two models were compared.

According to the data of the analysis in the "Metal" module, in accordance with the specified design parameters according to the "Steel Constructions" DBN, new profiles of structural groups of structural rods were adopted. The weight of each model was calculated according to the new stiffness parameters of the cross-sections of the rods of the structural plate.

The **analysis of publications** and studies established that the adjustment of forces in the elements of the structural plate is an urgent and important task, since such an adjustment allows you to "equalize" the axial forces in the rods of the upper, lower belt and lattice. The optimization of static work consists in the fact that it is necessary to strive to achieve uniform distribution and as much equality as possible (modulo) of the values of axial forces in the rods of the upper (lower) belt of the structural slab by means of construction methods. Uniform distribution also implies, at the same time, a reduction of these efforts by the module.

In the **main part**, a description of two finite-element schemes of a structural slab covering with a plan size of 27.0x37.5 m is given. The slab is double-sloped and rests on columns in four corners. The first scheme does not provide for the arrangement of structural elements - fasteners between the ends of the inclined rods of the lower belt. In scheme #2, such elements (in the form of ropes) are designed.

In the **conclusions**, it was established that the arrangement of prestressed elements along the lower belt of the plate "unloads" the structure, reduces the magnitude of compressive forces in the rods of the upper belt, tensile forces of the lower belt and alternating forces in the bars of the grid.

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

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

Kulyk V.Iu., Sribniak N.M., Halushka S.A. The work of the structural plate depending on the boundary conditions // Materials of the All-Ukrainian scientific conference of students and postgraduates dedicated to the International Student Day (November 13-17, 2023) - Sumy, 2023. P. 82

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 53 pages, including 13 tables, 46 figures. The text of the work contains 7 chapters, including a general description of the work and conclusions, a list of 21 sources, 2 appendices on 29 pages. The graphic part consists of 25 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

Завдання.....	
Анотація.....	
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.....	
1.1 Актуальність теми	
РОЗДІЛ 2. БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
2.1 Конструювання сталевих структур	
2.2 Способи регулювання зусиль в структурах	
2.2.1 Метод регулювання зусиль за допомогою зтяжок	
2.2.2 Інші методи регуляції зусиль в стержнях структурної плити	
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 СКІНЧЕНОЕЛЕМЕНТНИХ СХЕМ В РАМКАХ ЧИСЛОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ.....	
5.1 Алгоритм проведення числового експерименту в ПК ЛІРА-САПР.....	
5.2 Спосіб регулювання напружено-деформованого стану елементів 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 Напружений стан після першого ітераційного розрахунку.....	
6.3 Нові перерізи за результатами 1-го ітераційного розрахунку.....	
РОЗДІЛ 7. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	
Література.....	

Додатки.....

Додаток 1.Тези доповіді на конференції

Додаток 2.Графічний матеріал (презентація)

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

1.1 Актуальність теми

Структурні плити, що характеризуються плоскісним рішенням чи криволінійною поверхнею, мають низку переваг. Ці переваги обумовлюються, насамперед, принципом структурних плит. Базовий, тобто формоутворюючий просторовий елемент, являє собою систему похилих й горизонтальних стрижнів. Ці стрижні розташовуються в межах базового елемента упорядковано та їх структура подібна до структури кристалів природнього походження – графіту чи алмазу.

Термін «кристал» – грецький. Воно походить від двох слів: холод і застигати та означає «застиглий на холоді». Кристалом греки називали гірський кришталь. У 1669 р. датський натураліст Нільс Стенон опублікував книгу «Про тверде, що природно міститься у твердому». При спостереженні різноманіття форм кристалів кварцу Стенон виявив вони загальне властивість – збереження величин гранних кутів. Кристали різної форми однієї й тієї ж речовини мають постійні кути між відповідними гранями.

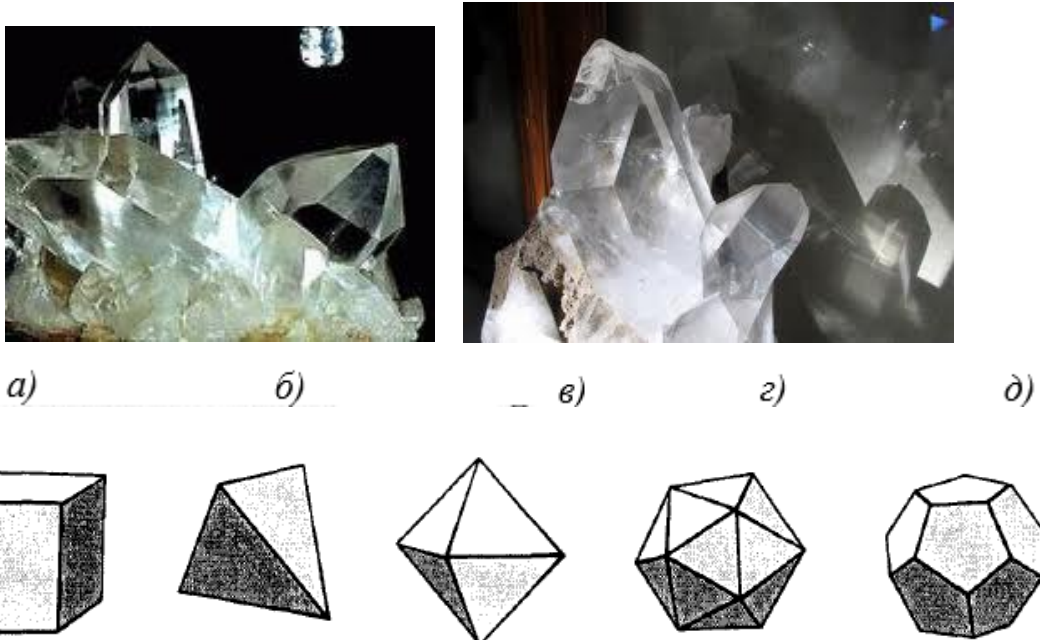


Рис. 1.1 Платонові багатогранники: тетраедр-а; куб або гексаедр-б, октаедр- в, додекаедр-г та ікосаедр-е

На рис. 1.1 зображено багатогранники, так звані «тіла Платона». Плоскі правильні багатокутники є гранями цих багатогранників. Розрізняють лише п'ять багатогранників.

Будь-які з цих багатогранників або їхні комбінації в просторі можуть слугувати базою чи, інакше кажучи, структуроутворюючим елементом.

Для створення тіла структурної плити цей базовий елемент необхідно мультиплікувати вздовж вісей X та Y потрібну кількість разів.

Найбільш часто в практиці проектування просторових плит в якості базового елемента застосовуються тетраедр, октаедр, куб.

Варіантів можливих конструктивних рішень структурних плит при певних заданих параметрах можна змоделювати досить багато. Знаходження оптимальної конструкції за певним заданим критерієм є актуальною та важливою пошуковим завданням.

Метою числового експерименту роботи є виявлення впливу попереднього напруження плити на розподіл зусиль в її елементах.

Для досягнення мети є необхідним вирішення **задач** дослідження:

- 1) сформулювати чинники, що впливають на перерозподіл та зміну зусиль в стержнях конструкції;
- 2) прийняти створення попередньо напружених стержнів як фактор регуляції зусиль в стержнях плити
- 3) створення за допомоги методу скінчених елементів на основі ПК ЛПРА-САПР двох скінченоелементних моделей структурної плити, що мають відмінність лише за одним параметром – відсутністю чи наявністю попереднього напруження.
- 4) призначити в першому наближенні параметри жорсткості для конструктивних груп стрижньових елементів двох варіантів плити. Вони приймаються однаковими.
- 5) провести статичний розрахунок, застосувавши жорсткості першого типу обох розрахункових моделей плити;

- 6) на основі даних статичного аналізу в постпроцесорі «Металеві конструкції» прийняти нові скориговані жорсткості (розміри перерізу) стержневих елементів плити;
- 7) визначити згідно нових призначених профілів трубчатих перерізів стрижньових елементів схем плит вагу кожної моделі плити..
Обрати модель, що характеризується найменшою матеріалоємністю;
- 8) сформулювати висновки та можливості подальших досліджень

Об'єкт дослідження – двоскатна структурна плита покриття з розмірами в плані 27,0x37,5 м, що відрізняється наявністю або відсутністю попереднього напруження, що виступає в якості регулятора зусиль.

Предметом дослідження є напружено-деформований стан моделей, що досліджуються, їх конструктивне рішення та матеріалоємність.

Практичне значення отриманих результатів

Результати числового експерименту надають можливість обрати з прийнятих варіантів структурної плити найбільш ефективний з точки зору матеріалоємності варіанту.

Апробація та публікація результатів роботи

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

Кулик В.Ю., Срібняк Н.М., Галушка С.А. РОБОТА СТРУКТУРНОЇ ПЛИТИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ГРАННИЧНИХ УМОВ // Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої Міжнародному дню студента (13-17 листопада 2023 р.) – Суми, 2023. С.82

РОЗДІЛ 2

БІБЛОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Конструювання сталевих структур

Практика сучасного будівництва нараховує чимало прикладів застосування структурних конструкцій у вигляді оболонок, складок, куполів. Однак, у переважній більшості випадків структурні конструкції застосовуються у вигляді стержньових плит. Ці конструкції виготовляються зі сталі, алюмінію, деревини, а іноді, навіть, з пластмас. Структури мають ряд переваг.

В [3] наведено ґрунтовне та різнопланове дослідження «просторових сіток» або структур.

Завдяки своїй ґратчастій структурі, плита здатна витримувати значні навантаження та є досить стійкою. Структурна плита — це, найпершим чином, просторова конструкція, яка здатна перекрити великі прольоти (≥ 100 м). Кожен елемент структурної плити працює тільки або на стискання або на розтягання. Це обумовлено тим, що навантаження конструкції відбувається на вузли верхнього поясу.

Структурні конструкції покриття, зазвичай, виготовляють із сталі. Але іноді, для виготовлення таких структурних плит застосовують ламіновану деревину, що характеризуються високою міцністю та за своїми властивостями не поступається сталі. В порівнянні із традиційними плоскими плитами, структурні плити є економічними за багатьма параметрами.



Рис. 2.1 Структурна плита покриття типу «Кисловодськ» обперта на чотири опори

Однією із головних переваг є *просторова робота структурних плит* якщо навантаження від покрівлі є рівномірно розподіленим по площі плити або має місце локальне завантаження плити, то не залежно від напрямку прикладення навантаження та його характеру, в роботу включаються всі стержні, тобто працює вся система загалом.

Структурні плити характеризуються також і *підвищеною надійністю в випадку раптових руйнувань*.

Рекомендована висота (товщина плити) становить $(1/32)l$. Такими плитами є можливість перекрити прольоти до 100 м. Можливо уніфікувати велику кількість, як стержнів, так і вузлів, тобто для конструктивних груп елементів прийняти однакові стержні та однакові вузли.

Різноманітні можливі варіанти структурних плит в плані наведено на рис.2.2.

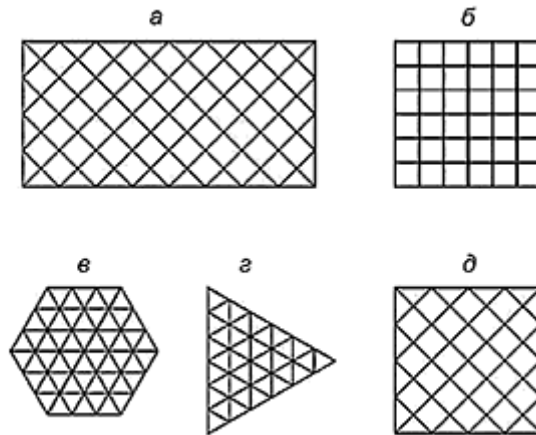


Рис.2.2 Перехресні стержньові системи перекриттів: а, б, д – з квадратними комірками; в, з – з трикутними комірками

Такі конструкції стержньових систем рекомендовано застосовувати для прольотів від 18,0 м до 60,0 м. Висоту (товщину) плити перехресної структури покриття призначають в інтервалі від 1/30 до 1/15 прольоту. Ця величина залежить від контуру в плані, умов обирання, вимог щодо жорсткості та деформативності конструкції. Розмір ячеек поясних сіток слід приймати в межах від $(1/15 \dots 1/7)l$ із врахуванням типу покрівельного настилу, щоб унеможливити застосування прогонів.

Серед рекомендацій до влаштування слід виділити такі рекомендації:

- структурні плити слід спирати на колони, розташовані по периметру, кроком від 6,0 до 12,0 м, без улаштування контурних ферм;
- передбачати розвантажувальні консольні звіси, довжина яких не повинна перевищувати 0,25 розміру основного прольоту (рис. 2.3, а) або в 5 разів висоту (товщину) плити;
- встановлювати додаткові опори всередині плану покриття, утворюючи непрорізну багатопрогонову систему, застосовуючи колони з розвиненими капітелями або просторові опори.

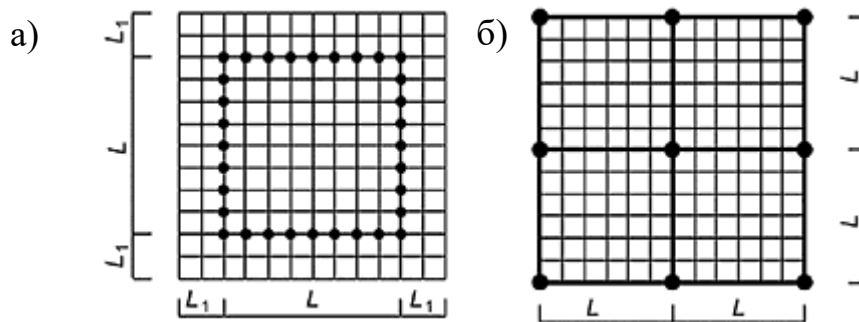


Рис. 2.3 Варіанти спирання перехресних систем покриття:
 великопрогонові будівлі з консольними звисами - а; багатопрогонові
 будівлі з сіткою колон 18х18 м або 24х24 м, з опиранням на колони по
 кутах кожного модуля-б

Іншою важливою перевагою є можливість доставки конструкції у розібраному вигляді (у вигляді уніфікованих одиниць) у важкодоступні райони будівництва, можливість виконувати монтаж на землі з наступним встановленням до проектного положення. Можливим є демонтаж всієї конструкції з подальшим її наступним складанням, можливим повторним використанням.

Структурами, зазвичай, називають системи стрижнів, що сходяться у вузлах і розташовані в просторі у строгому геометричному порядку.

Структурні плити складають з двох плоских, паралельних один одній поясних сіток, рознесених по висоті. Між поясними сітками (верхнім та нижнім поясам) влаштовують стійки й розкоси, що являють собою елементи решітки. Конструкція включає стрижневі піраміди з квадратною або трикутною основою, що повторюються відносно осей в плані.

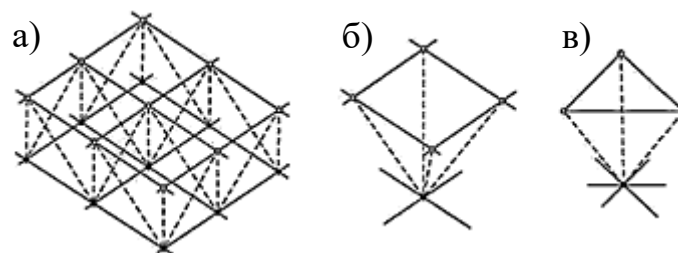


Рис. 2.4 Структурна плита: загальний вигляд - а; ячейка, що повторюється,
 з квадратною або трикутною основою - б, в

Найбільш характерні структурні стрижневі системи (схеми стрижневих структурних плит) наведено на рис. 2.5.

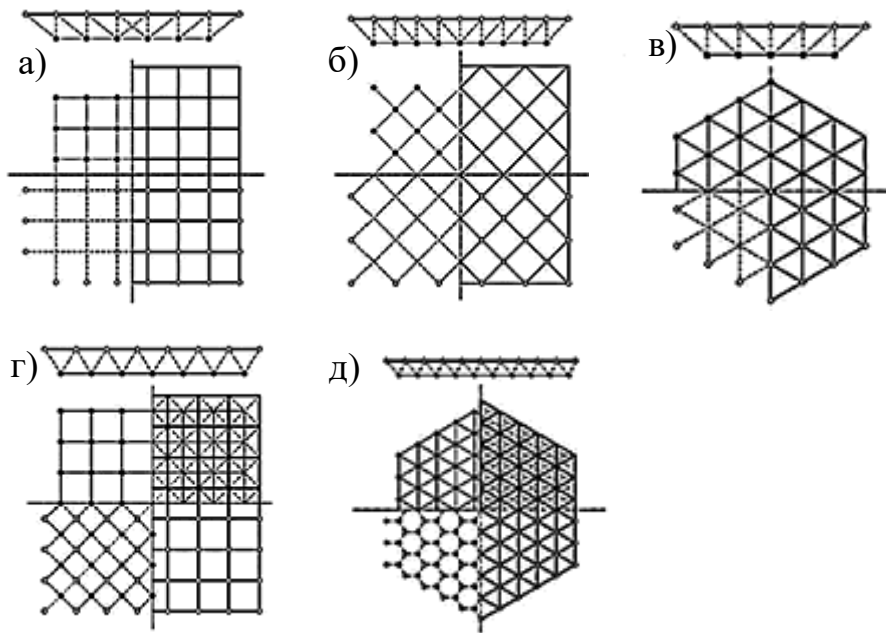


Рис. 2.5 Схеми стрижневих структурних плит: поясна сітка з ортогональними ячейками - а; поясна сітка з ортогональними ячейками - б; поясна сітка з трикутними ячейками -в; сітка з поясами, зрушеними на половину ячейки -г; змішана сітка, в якій одна складається з шестикутників, а інша – з трикутників -д

Верхня й нижня поясна сітка являють собою ортогональну плоску систему стержнів. Розкоси формують систему похилих просторові стержнів.

Інший варіант форми в плані поясних сіток – шестигранні (рис.2.5, в, Стрижнями для металевих структур приймають, труби, трубчасті елементи або, так звані, відкриті профілі, тобто кутники, швелери чи будь-який інший профіль, тобто елементи, виконані зі сталі, алюмінію або сплаву. Конструкції з'єднуються найрізноманітнішими вузлами різного типу. Вузлові рішення структурних конструкцій, що існують, за видами з'єднань, що в них застосовуються, можна розділити на три групи (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1- Класифікація вузлових сполучень конструкцій просторових структур

№ групи	Назва та характеристика групи
1.	<i>Зварювальні вузлові з'єднання, виготовлені на будівельному майданчику;</i>
2.	<i>Болтові вузлові з'єднання. До них відносяться вузлові з'єднання структурних конструкцій, що виключають зварювання як в заводських, так і монтажних умовах і дозволяють збирати структури зі стрижнів на болтах або інших збірних пристосуваннях</i>
3.	<i>Комбіновані вузлові з'єднання. До них відносяться з'єднання, в яких зварювання виконується в заводських умовах, а збірка вузла - в будівельних умовах на болтах. Характерним для цієї групи є розчленовування вузлового з'єднання на дві групи деталей. Перша приварюється в заводських умовах до кінців з'єднувальних стрижнів (болтові наконечники, клини, листові косинки і т. д.), а інша – у вигляді шайб, болтів і конекторів об'єднує кінці стрижнів в вузол.</i>

Традиційно в конструюванні структурних просторових плит використовується система «MERO» [2], що збирається з трубчастих стержнів і вузлових елементів, що вирішені в вигляді сталевих куль із глухими різьбовими отворами. В ці отвори вгвинчуються болти, нестандартної конструкції, що закріплені до торців трубчастих стрижнів (рис. 2.6).

Такі болти повинні мати змогу обертатися у місці з'єднання із трубою при монтажі, забезпечуючи герметичність внутрішньої порожнини труби. При експлуатації вузлові елементи сприймають значні осьові зусилля розтягу та стиску. Від моментів вигину, які виникають в узлах, при фізичному прогині споруди, що змонтована, виникає небезпека руйнування в місці вільної частини різьблення болтів зважаючи на концентрацію напружень [2].

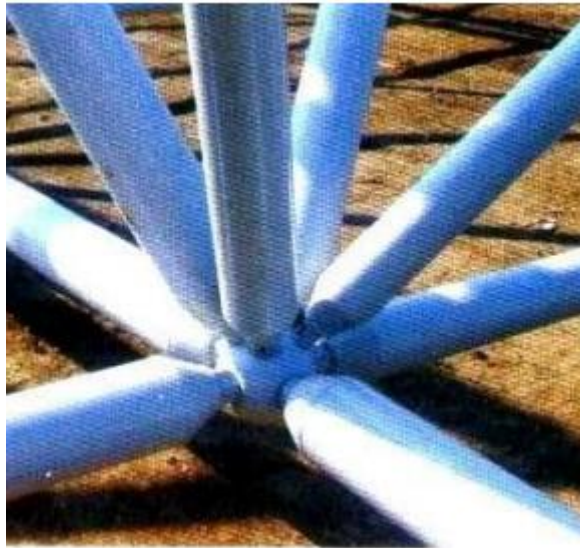
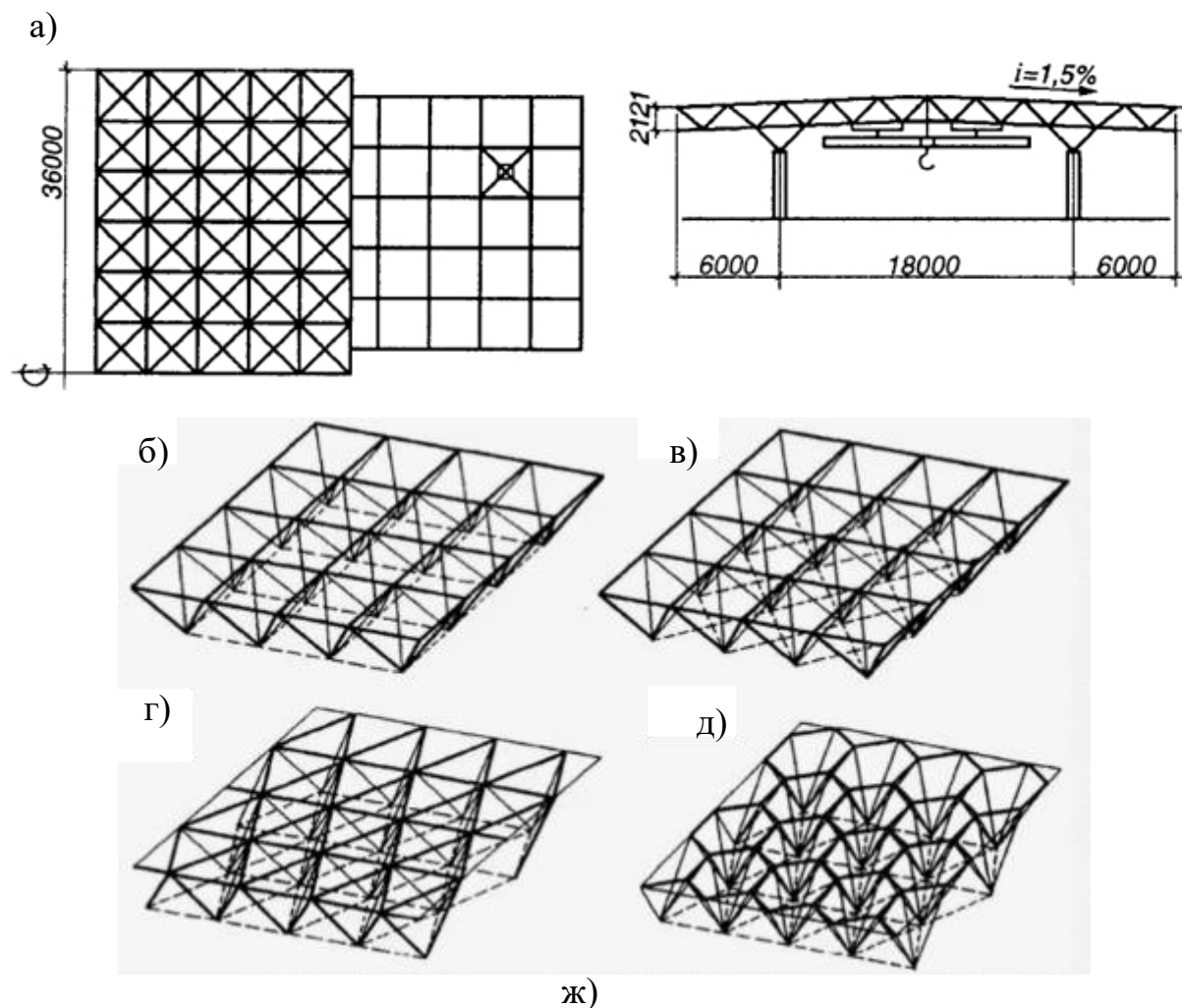


Рис.2.6 Вузол з'єднання системи «MERO»

Окрім систем з регулярною будовою (рис. 2.7,а-д) сіток застосовують конструкції з нерегулярною будовою, в якій є отвір (рис. 2.7, е). Такі системи називають розрідженими. Розріджені системи є менш жорсткими в порівнянні із конструкціями з регулярною структурою.



е)

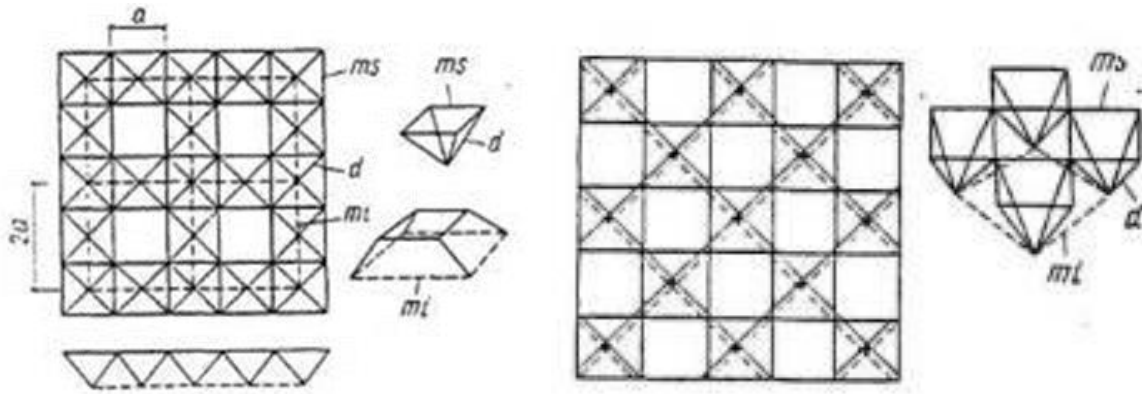


Рис. 2.7 Системи структурних плит з регулярною будовою (з решітчастих пірамід): система з квадратною основною поясів-а; з квадратною основою (пентаедрів чи «напівоктаедрів») -а, б, в; з трикутною основою (тетраедрів)-г; з шестикутною основою (гептаедрів) -д; з розрідженою нижньою поясною сіткою та частково розрідженою розкісною решіткою-е; ортогональні сітки поясів розгорнуті на 45° щодо один одного; розріджені розкісні грати -ж

Плити регулярної структури ефективні для перекриття прольотів з співвідношенням сторін 1:1,5. Звичайно ж, ідеально, як і взагалі перехресно ребристих конструкціях, ідеальна співвідношення 1:1. При більшому співвідношенні сторін плита починає працювати за балочною схемою у напрямку найменшого прольоту. Отже, найвигідніше є квадратна форма плити в плані й чим частіше розташовані опори по контуру, тим ефективнішою є конструкція. Можливі варіанти спирання структурної плити на опори наведено на рис. 2.8.

Зосереджена сила, яка діє на вузол структурної конструкції, й в тому числі опорна реакція, викликає осьове зусилля в першу чергу в стержнях, що примикають до вузла. Це дозволяє на відміну від інших конструктивних рішень реалізовувати спирання структур у будь-яких її вузлах.

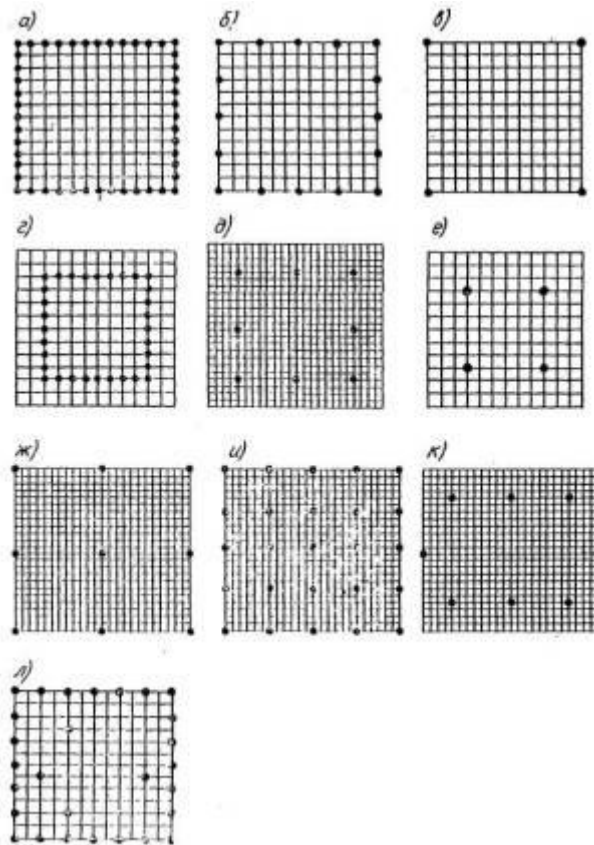


Рис. 2.8 Деякі можливі способи спирання плити на стійки; контурні - а, б, в; внутрішньоконтурні - г, д, е; змішані - ж, з, и, к; довільні - л

Спосіб розташування опор, їх кількість, відстань між опорами є тим фактором регуляції зусиль, який суттєво впливає на характер розподілу та величини осевих зусиль в усіх групах стержнів структурних плит.

В [1] виконано числове дослідження з метою визначення найефективнішої за параметром матеріалоемності моделі структурної плити в залежності від характеру розташування опорних стійок та їх кількості.

Визначення оптимальної форми базового формоутворюючого елементу ґратчатої структури плити наведено в [8].

Вдалих вибір схеми обпирання й вірне проектування опорної зони дозволяють підняти техніко-економічні показники конструкції із врахуванням технологічних й планувальних показників, будівлі, що проектується. Економічні за витратою матеріалів рішення за фактором розташування опор можуть бути одержані як при певному розташуванні опор по контуру, так і всередині контуру. Це може відбутися завдяки ефекту

розвантажуючих консольних звисів або регулювання завантаження на консолі, а також завдяки використанню опор з розвиненими опорними капітелями.

Конструктивна схема структурної плити характеризується такими параметрами: формою регулярної ячейки; видом профілю, що застосовується; вирішенням вузлових з'єднань й розділенням на відправні марки; способом обпирання й типом покрівельних конструкцій (вузлове, позавузлове, настил, прогони, плити).

2.2 Способи регулювання зусиль в структурах

2.2.1 Метод регулювання зусиль за допомогою зтяжок

Регулювання зусиль в елементах конструкції виконується з метою їх «вирівнювання», що дозволяє значним чином зменшити кількість типів стержнів та покращити показники ваги конструкції загалом.

Регулювання виконується шляхом створенням взаємно врівноважених всередині конструкції осьових зусиль, що у найбільш напружених стержнях обернені за знаком зусиллям від експлуатаційного навантаження, а менш напружених – можуть збігатися за знаком з зусиллями від експлуатаційного навантаження.

З-поміж ряду факторів, які можна назвати «регуляторами» зусиль в стержнях, слід виділити метод регулювання зусиль за допомогою зтяжок (рис.2.9).

На рис. 2.9 наведено схеми регулювання осьових зусиль в структурних плитах за допомогою зтяжок. Для структурних плит, що мають в плані обрис квадрату, зтяжки рекомендовано розташовувати хрестоподібно. Для плит, що мають прямокутну конфігурацію, та обперті в кутах, рекомендовано локалізація декількох паралельних зтяжок вздовж великого прольоту плити.

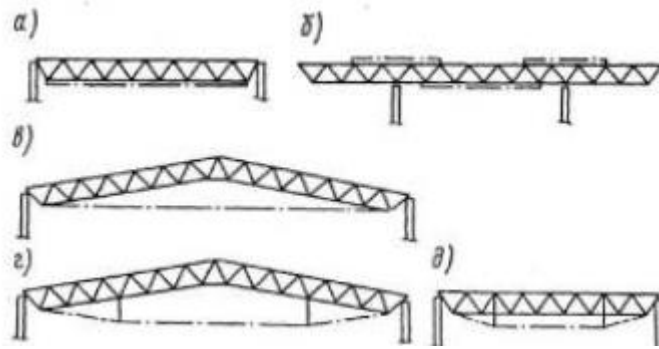


Рис. 2.9 Схеми регулювання зусиль за допомогою затяжок:

осі затяжок, що напружують, і поясних стрижнів, що збігаються - а, б

За допомоги кожної із затяжок одночасно напружуються декілька стержнів, що розташовані один за одним. При такому методі напруження регулювання осьових зусиль досягається переважно в розтягнутих поясах. Коли затяжки частково або повністю проходять поза структурою (рис. 2.9, в, г, д), то при їх натяжінні відбувається вирівнювання зусиль в усіх або у більшості стержнів структурної плити.

Для регулювання за допомогою затяжок зусиль в елементах структурної плити рекомендовано використовувати канати із високоміцного дроту або круглі стержні зі сталі підвищеної та високої міцності.

Цю методику регуляції зусиль приймемо в дослідженні й надалі.

2.2.2 Інші методи регуляції зусиль в стержнях структурної плити

Серед інших можливих методів регуляції зусиль в стержнях конструкції слід виокремити такі:

- *граничні умови конструкції* (спосіб локалізації колон (стійок), їх кількість, частота розташування (рис. 2.8); спосіб обпирання на стіни, якщо таке рішення передбачене проектом);
- влаштування *стержнів з відхиленням від геометричних параметрів*, що попередньо задані. Регулювання зусиль може відбуватися шляхом навмисного виготовлення певних окремих стержнів із відхиленням від геометричних розмірів. З цією метою стержні слід вибирати ті, «вилучення» котрих з конструкції не перетворює цю конструкцію в механізм. При примусовому

сполученні цих стержнів в вузлах структури, що досягається прикладенням певних зусиль або нагріванням, в ряді стержнів ї виникають зусилля, що є оберненими за знаком зусиллям, які виникають від експлуатаційного навантаження (рис.2.10).

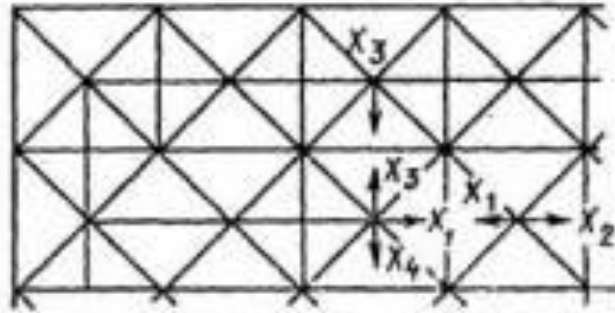


Рис. 2.10 Основна система під час регулюванні осьових зусиль способом улаштування деяких стержнів із відхиленням від первісних геометричних розмірів

- метод осідання опор. У прямокутних або квадратних в плані плитах з ортогональним розташуванням стержнів в поясах, шарнірно обпертих на декілька колон по кожному боку контуру, виникає значна різниця зусиль в поясах. Це призводить до збільшення витрати сталі. Отримати зусилля у поясах, що змінюються незначним чином є важливою задачею, яка досягається через примусове вирівнювання кривин вздовж вигнутих осей. Таке вирівнювання можна досягти осіданням опор (рис. 2.11).

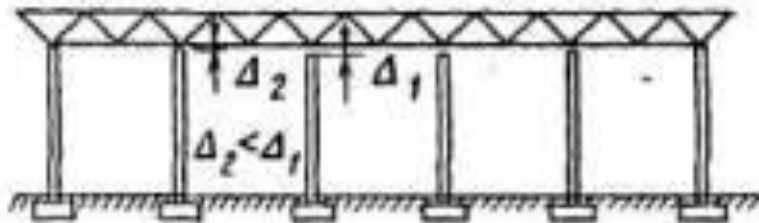


Рис.2.11 Вирівнювання зусиль в поясах сітках структурної плити шляхом осідання опор

Рекомендовано через зміну відміток спирання зменшити момент вигину в геометричному центрі за рахунок деякого збільшення моменту вигину поблизу зон спирання.

Економія металу, що має місце за рахунок осідання опор, залежить від характеру спирання, значення прольоту, висоти (товщини) структурної плити, топології стрижневої схеми (форми базового елемента) тощо.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

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

- 1) *метод збирання та аналізування даних* – оцінювання інформації щодо стержневих схем структур, з'єднань їх вузлів; ознайомлення з рекомендаціями щодо призначення оптимальних параметрів розрахунку, аналіз способів що є регуляторами зусиль в стержневих елементах структури, вивчення інших можливих параметрів, що впливають на зміни та характер перерозподілу зусиль в стержнях;
- 2) *метод скінчених елементів* – математичний метод, що використовується для створення розрахункових моделей в тому числі й будівельних конструкцій в ПК Ліра-САПР. Метод й застосовується для визначення напружено-деформованого стану моделей структурних плит, прийнятих до розрахунку;
- 3) метод конструювання сталевих елементів в постпроцесорі «Метал» ПК ЛІРА-САПР за нормами [5], оцінювання відсотку використання площі перерізу стержнів за 1ГС та 2ГМ норм [5];
- 4) аналітичний метод опрацювання даних розрахунків із застосуванням ПК Microsoft Excel.

РОЗДІЛ 4

ОБ'ЄМНО-ПЛАНУВАЛЬНЕ ТА КОНСТРУКТИВНЕ ВИРІШЕННЯ БУДІВЛІ

4.1 Об'ємно-планувальне рішення будівлі

Проект загальноосвітньої школи в м. Суми на 550 учнів має в плані складну конфігурацію. На рис. 4.1 наведено план будівлі загальноосвітньої школи на 550 учнів. Покриття структурної плити, що досліджується, проектується на будівлю спортивної зали розміром в плані 27,5x38 м

Приміщення спортивної зали має розміри в плані 27,0x37,5 м та розташоване в осях Е-Ж та 1-4. Висота приміщення зали становить 7,6 м.

Будівля є триповерховою. Загальна висота будівлі становить 11,2 м. Висота типового поверху становить 3,3 м.

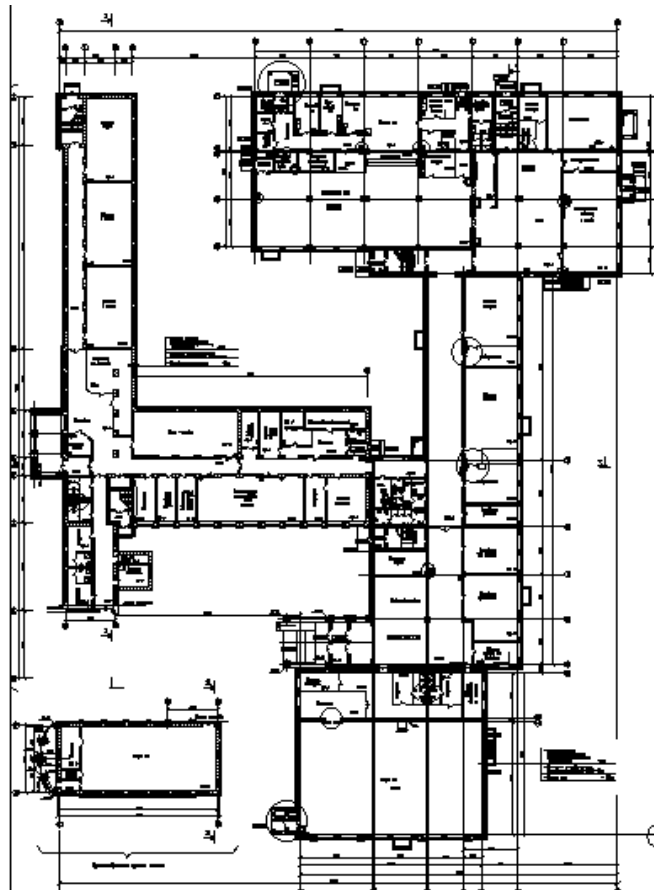


Рис.4.1 План будівлі на відм. 0,000

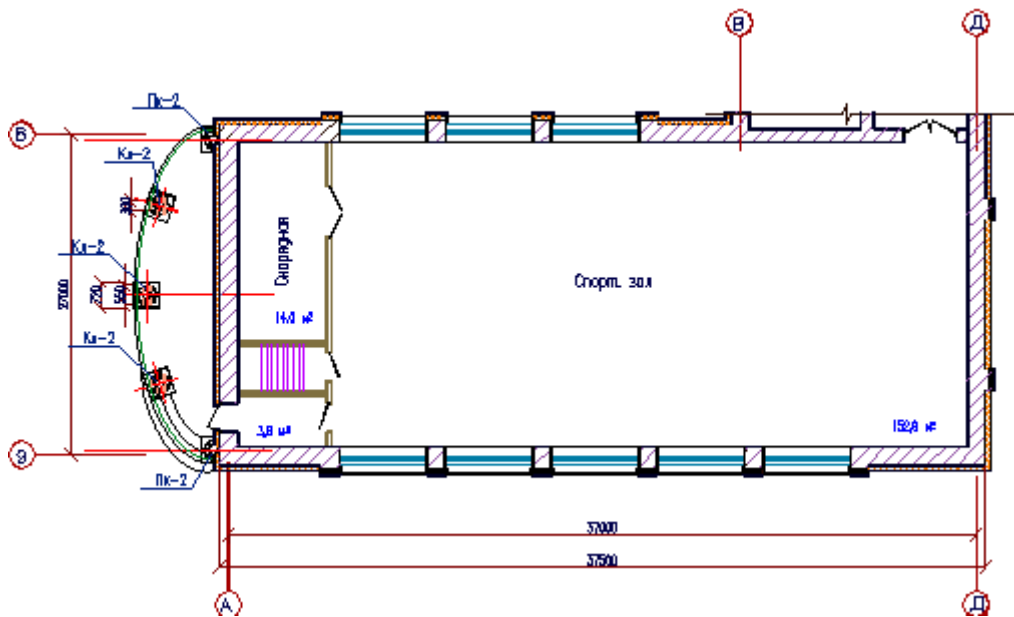


Рис. 4.2 План спортивної зали на відм. 0,000 в осях А-Д та 9-В

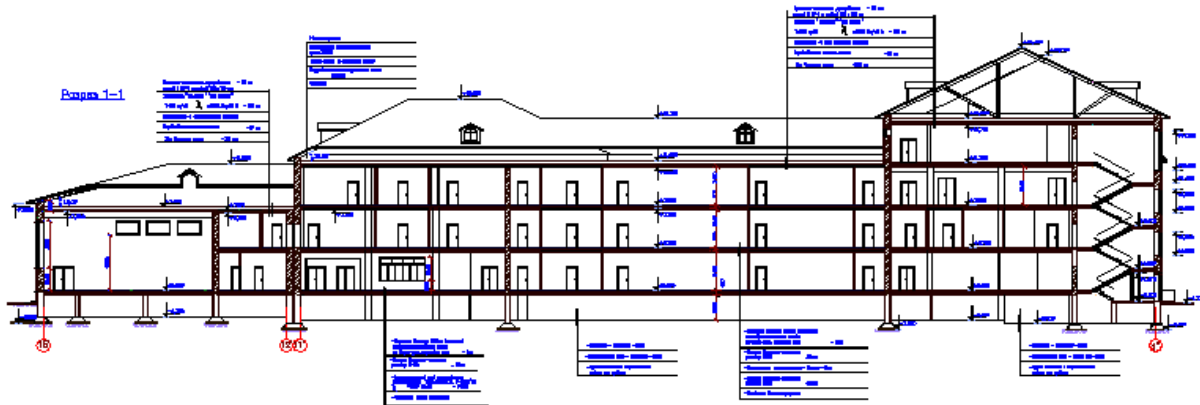


Рис.4.3 Розріз 1-1 будівлі

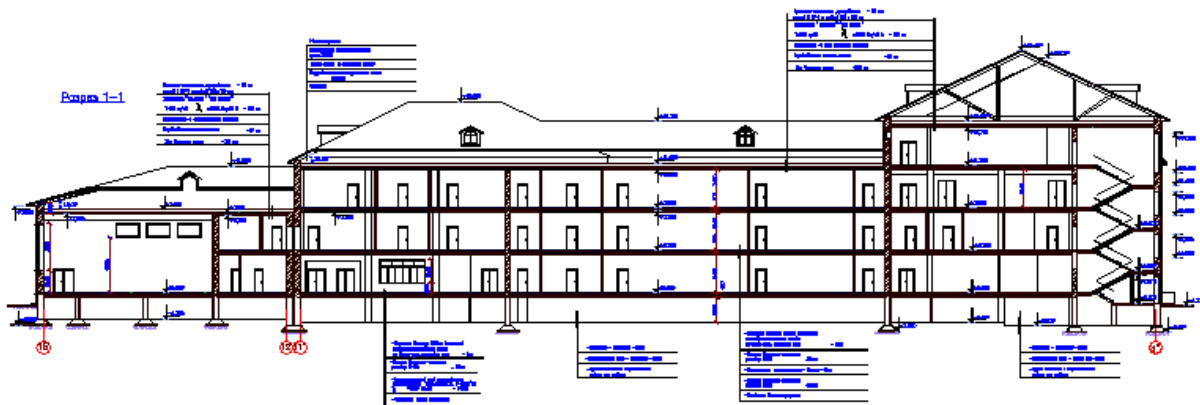


Рис.4.4 Розріз 2-2 будівлі

4.2 Конструктивне рішення будівлі

Будівля запроектована безкаркасною з несучими стінами із цегли. Товщина зовнішніх стін прийнята товщиною 510 мм. Типові поверхні перекрито збірними залізобетонними багатопорожністими плитами.

Фундаменти вирішено як збірні стрічкового типу та складаються із збірних блоків та збірних плит. Для будівлі в цілому прийнято систему похилих дерев'яних крокв й передбачено технічне горище.

В якості покриття спортивної зали, що стоїть як окрема будівля, прийнято сталеву структурну плиту із розмірами в плані 27,0x37,5 м.

Це конструктивне вирішення покриття дозволяє перекрити значний проліт спортивної зали в 37,5 м без застосування проміжних опор. Плита спирається на чотири колони, що розташовані в кутах конструкції.

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).

Залізобетонні збірні плитні конструкції набули актуальності актуальними в період масового будівництва – (70-80-х рр. ХХ ст.) й завдячуючи, у тому числі досить розвинутій базі, з виробництва збірного залізобетону. Але легкі структурні сталеві плити покриття нині виступають гарною альтернативою масивним й важким залізобетонним несучим конструкціям покриття. Структурні просторові конструкції покриття можуть застосовуватися при реконструкції будівель громадського призначення, й, зокрема, навчальних закладів середньої освіти.

РОЗДІЛ 5

МОДЕЛЮВАННЯ СКІНЧЕНОЕЛЕМЕНТНИХ СХЕМ В РАМКАХ ЧИСЛОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

5.1 Алгоритм проведення числового експерименту в ПК ЛІРА-САПР

На рис.5.1 наведено алгоритм виконання числового експерименту.

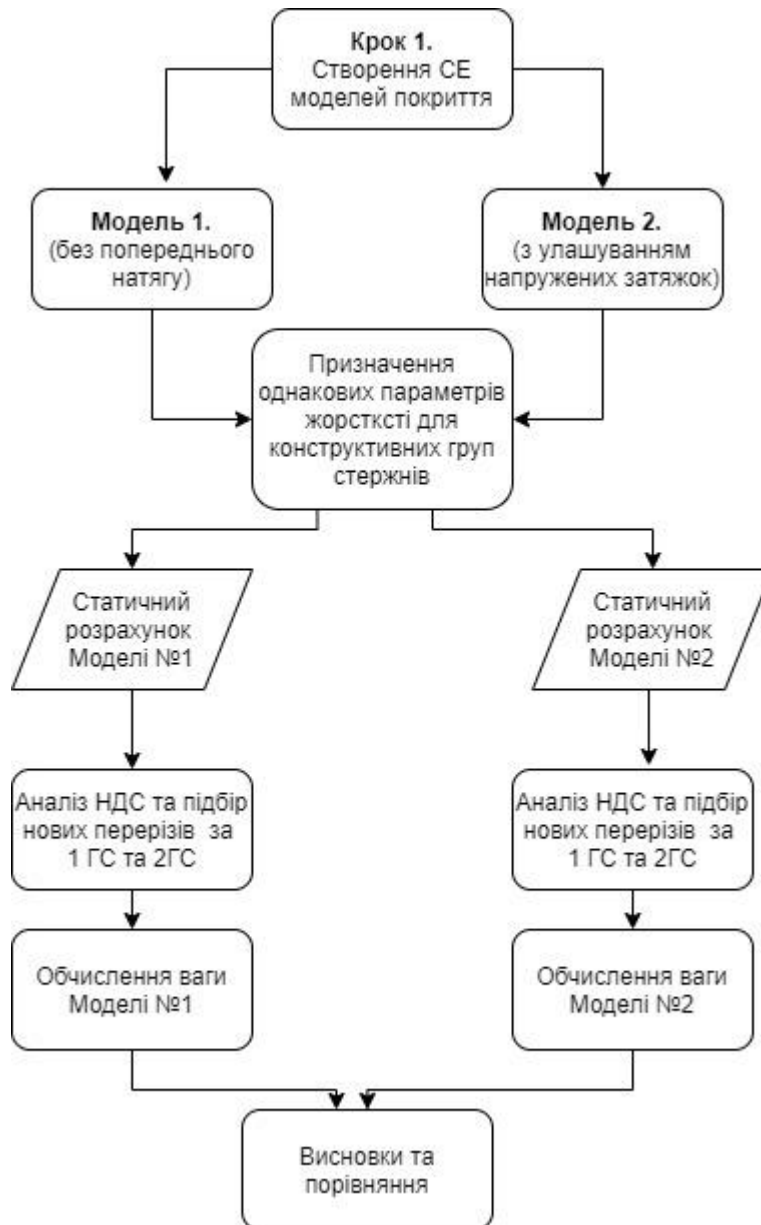


Рис. 5.1 Алгоритм виконання числового експерименту

В межах проведення числового експерименту планується здійснити такі етапи:

- За допомогою ПК Ліра-САПР змодельовати дві схеми структурної плити покриття з двома похилими скатами. Кута нахилу площини становить 15° . Розмір конструкції в плані $27,0 \times 37,5$ м. Одна модель запроєктована без затяжок по нижньому поясу, інша – із затяжками у вигляді попередньо напружених та паралельно розташованих канатів по нижньому поясу;
- В розрахункових моделях виокремлено чотири конструктивних групи стержнів: стержні верхнього поясу, стержні нижнього поясу, елементи решітки, колони;
- На першому етапі розрахунку конструктивним групам елементів призначено перетини профілю із труб (табл. 5.1);
- Виконується статичний розрахунок для обох моделей структурних плит;
- За результатами статичного розрахунку та використовуючи постпроцесор «Металеві конструкції» ПК Ліра-САПР 2024 за умовами міцності та деформативності (умовами 1 ГС та 2ГС) підбираються в автоматизованому режимі нові параметри трубчатих перерізів для усіх конструктивних груп стержнів плитної конструкції;
- Виконується другий ітераційний статичний розрахунок для двох моделей структурної плити із новими параметрами перетинів стержнів та оцінюється відсоток використання нових перерізів стержнів за I та II групами граничних станів;
- Обчислюється вага кожної схеми плити за результатами конструювання після 1-го ітераційного розрахунку.
- Визначається я найбільш ефективного рішення плити з-поміж двох її варіантів, які досліджувалися.

5.2 Скінченоелементна модель структурної плити

В якості конструкцій, які досліджується, прийнято плити просторової стержнєвої конструкції (рис.5.2, а, в). Плита запроєктована двохскатною з

кутом нахилу площини 15° . Розмір конструкції в плані $27,0 \times 37,5$ м. Плита характеризується перпендикулярною (ортогональною) сіткою верхнього та нижнього поясів з розміром плоскої ячейки поясу $1,5 \times 3,0$ м - рис. 5.3.

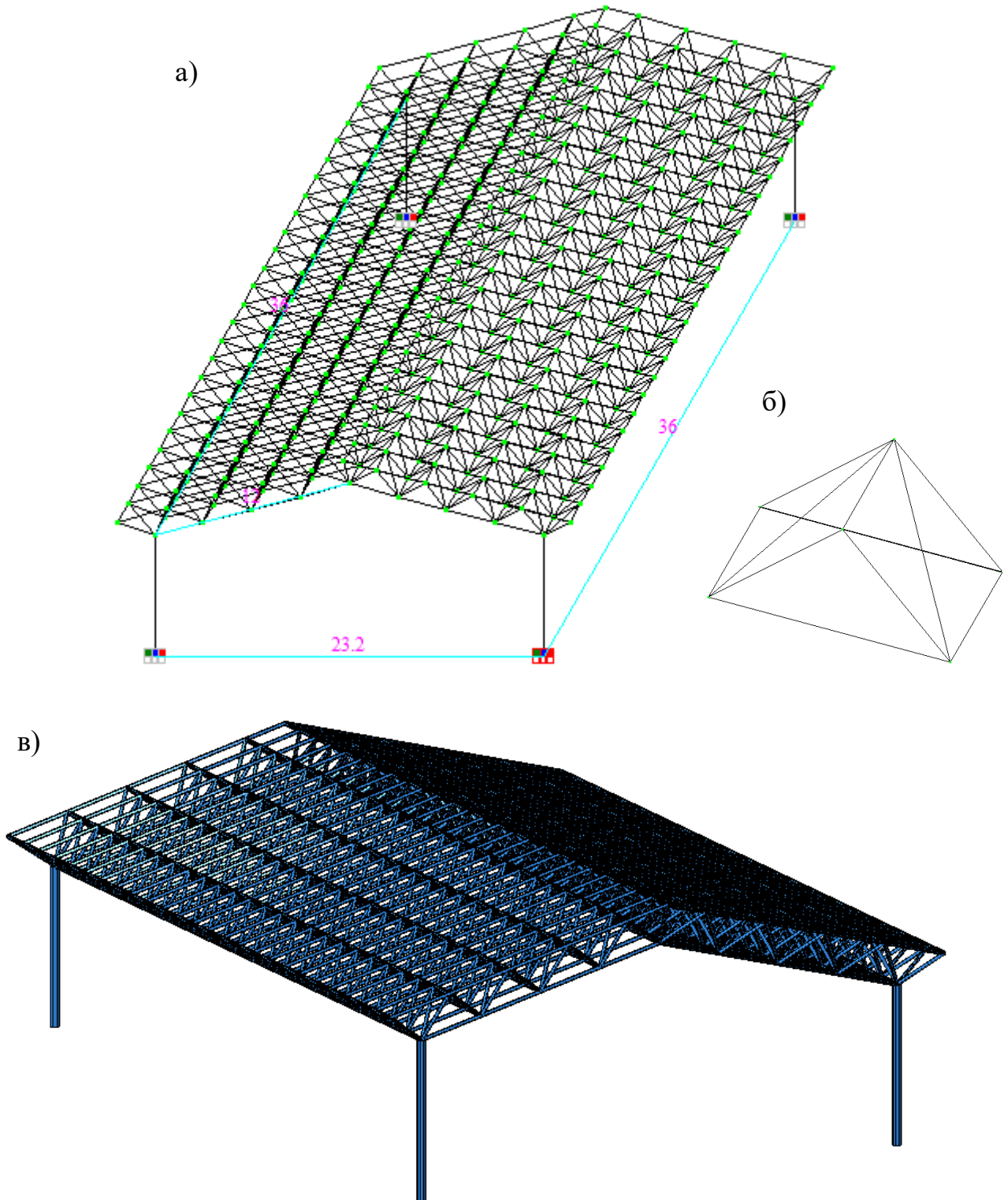


Рис. 5.2 Скінченоелементна модель структурної плити-а; базовий елемент, що формоутворює структуру -б; просторова модель конструкції - в

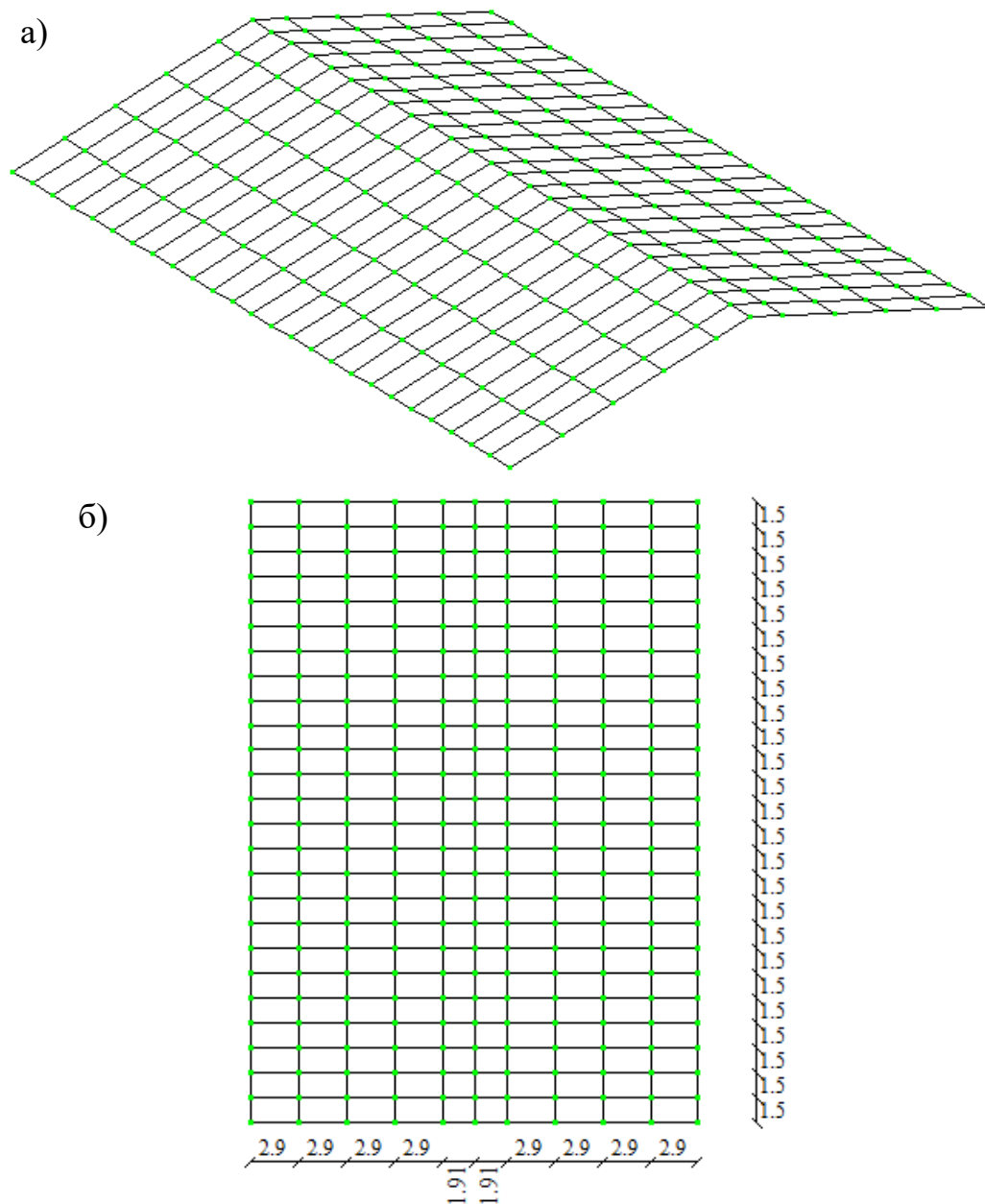


Рис. 5.3 Ізометричний вигляд верхнього (нижнього) поясу структурної плити -а; вигляд верхнього (нижнього) поясу в площині XOY -б

Вузли верхнього та нижнього поясів з'єднані розкосами. За базовий елемент прийнято кристал за формою піраміди, наведеної на рис. 5.2,б. Піраміда з прямокутною основою 1,5х3,0 м (рис. 5.2, б), є базовим формоутворюючим елементом конструкції плити. Структура утворюються мультиплікуванням базового елемента (кристалу) відносно осей горизонтальної площини – «X» та «Y».

5.2 Спосіб регулювання напружено-деформованого стану елементів структурної плити

Регулювання напружено-деформованого стану несучої конструкції покриття може бути одним із завдань управління статичною поведінкою несучих будівельних конструкцій, що є окремим напрямком в будівельній механіці. Передумови та суть методу описано в п.2.2.1 та на рис. 2.9.

Застосування попереднього напруження з використанням затяжок дає можливість збільшити проліт, який перекривається, «вирівняти» зусилля в елементах та зменшити витрату сталі на конструкцію.

Вибір конструктивних моделей структурних плит, що мають затяжки, та сил попереднього напруження рекомендується виконувати з врахуванням максимального ефекту від попереднього напруження.

Задача пошуку оптимальної з витрат матеріалів (сталі) структурної плити із затяжками при певній заданій конфігурації можна привести до наступних двох етапів:

- 1) знаходження зусиль в затяжках, при яких витрати матеріалів на конструкцію буде мінімальною;

- 2) вибір матеріалу затяжок, перерізу цих елементів, сил попереднього напруження, за яких забезпечуватиметься умова нерозривності деформацій при заданих зусиллях в затяжках.

Оскільки, як було вказано вище, для плит, що мають прямокутну конфігурацію, та обперті в кутах, рекомендовано локалізація декількох паралельних затяжок вздовж великого прольоту плити.

Отже приймемо систему паралельно розташованих затяжок, що влаштовані по нижньому поясу з кроком в 3,0 м (рис.5.4). За допомогою фаркопфі в цих стержнях створюється попередній натяг до зусилля приблизно 80-90 кН.

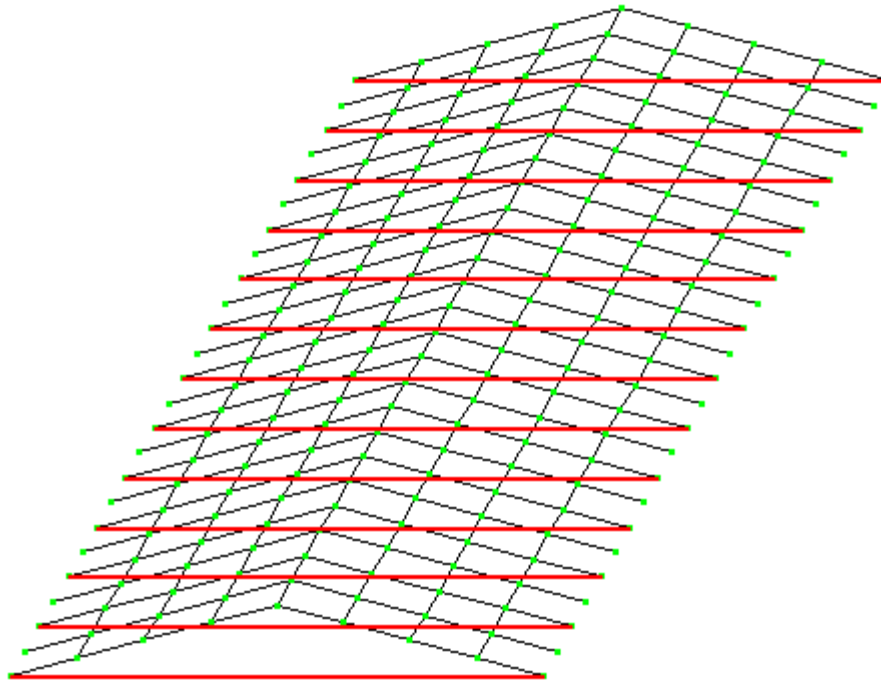


Рис. 5.4 Розташування зтяжки по нижньому поясу стержнів структурної плити

Моделювання попереднього натягу в стержнях може бути реалізовано двома способами в ПК Ліра-САПР:

- 1) використання для моделювання зтяжки спеціального двовузлового фізично нелінійного скінченного елемента попереднього натягу (СК208) «форкопф» й призначення для такого елемента спеціального навантаження – «сили натягу»;
- 2) використання для моделювання зтяжки СК10 – фізично лінійного просторового універсального стержня й призначення для такого елемента рівномірного температурного навантаження.

Основною відмінністю способів є те, що в першому варіанті застосовується фізично нелінійний елемент, а в другому – фізично лінійний.

Останній спосіб є досить поширеним в практиці проектування. Зусилля натягу пучка канатів, що повинно бути задано:

$$P=417 \text{ кН}$$

При цьому зусиллі напруження в канатах дорівнює:

$$\sigma_p = \frac{P}{A_k \cdot n} = 200,5 \text{ МПа}$$

Обчислимо температурний коефіцієнт деформації для завдання температурного навантаження на канат в ПК Ліра-САПР.

Температурний коефіцієнт розширення:

$$\alpha_t = \frac{\Delta l}{l \cdot \Delta t} = \frac{\varepsilon_{кр}}{\Delta t}$$

Деформація арматури від напруження:

$$\varepsilon_{кр} = \frac{\sigma_p}{E_{кр}} = \frac{\Delta l}{l}$$

$$\sigma_p = 200,5 \text{ МПа}$$

$$E_k = (2 \cdot 10^5) \text{ МПа}$$

$$\Delta t = 1$$

$$P = 80 \text{ кН}$$

$$\varepsilon_{кр} = \frac{\sigma_p}{E_{кр}} = 0,001003$$

Отже, у діалогове вікно прикладення рівномірного температурного навантаження на стержень слід ввести параметри: температуру нагрівання T , коефіцієнт температурного розширення матеріалу A (коефіцієнт лінійного теплового розширення α , $^{\circ}\text{C}^{-1}$) (рис. 5.5)

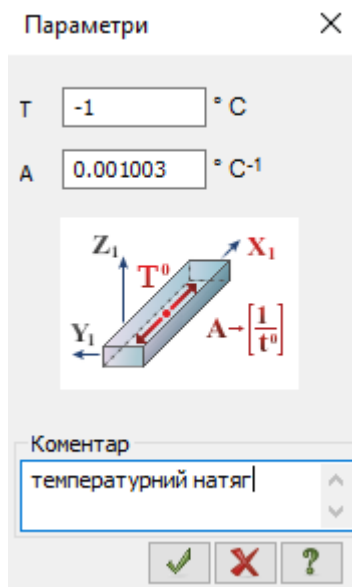


Рис.5.5 Діалогове вікно прикладення рівномірного температурного навантаження на стержень

На рис. 5.6 наведено дві схеми плити покриття, що досліджується, – без попереднього напруження (рис.5.6, а та із застосуванням попередньо натягнутих елементів – рис.5.6, б).

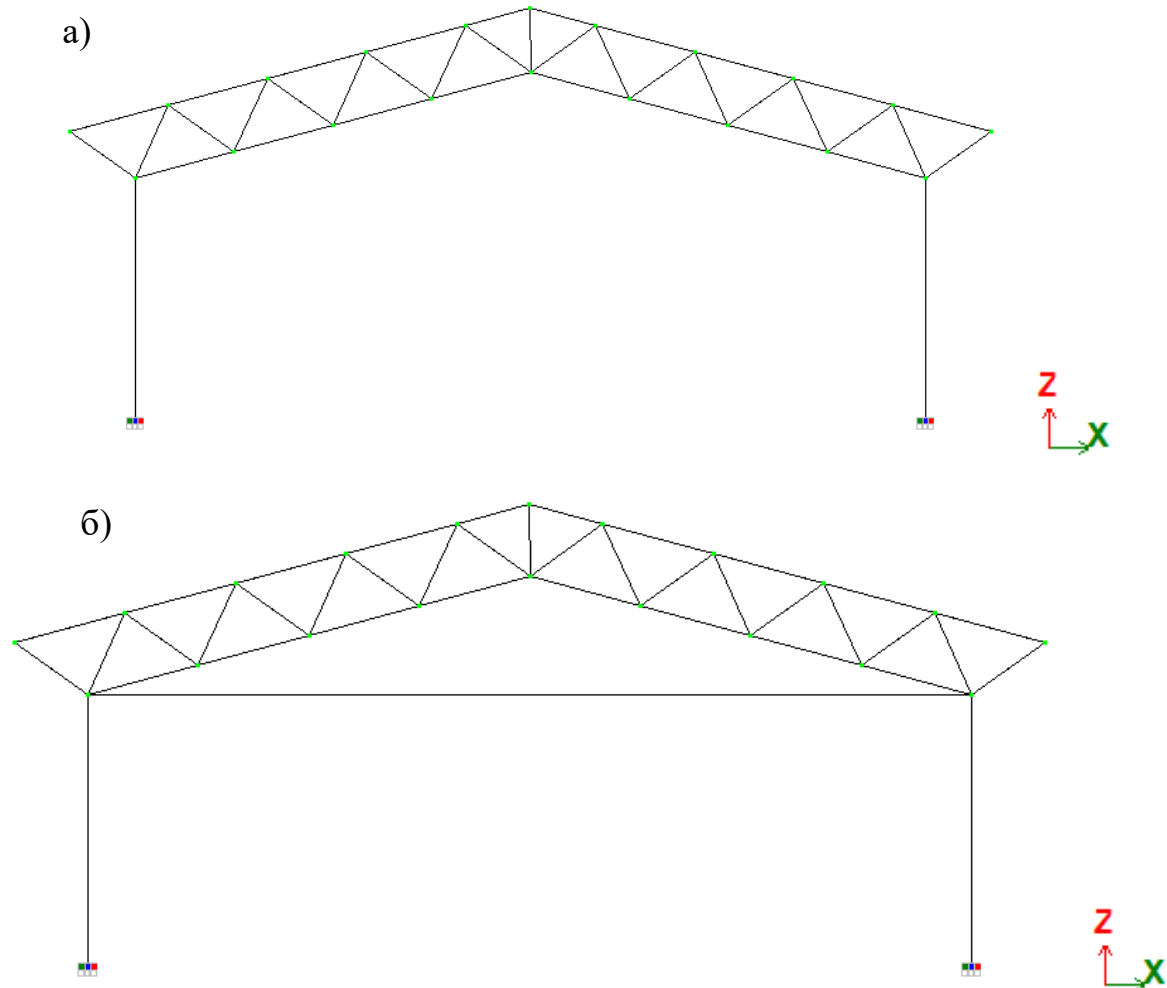


Рис.5.6 Моделі плити в площині XOZ: модель №1 без затяжки -а; модель №2 із затяжкою -б

5.3 Граничні умови, що прийнято для моделей. Параметри жорсткості елементів

Для всіх моделей структурної плити прийнято спирання в чотирьох кутах на колони. Спирання здійснюється на колони по нижньому поясу. (див. рис. 5.6).

З'єднання всіх стержньових елементів є шарнірним. Переріз для елементів всіх груп прийнято із труби безшовної гарячекатаної за [6]. Всі

елементи плити за конструктивною ознакою згруповано за типами: стержні верхнього поясу;

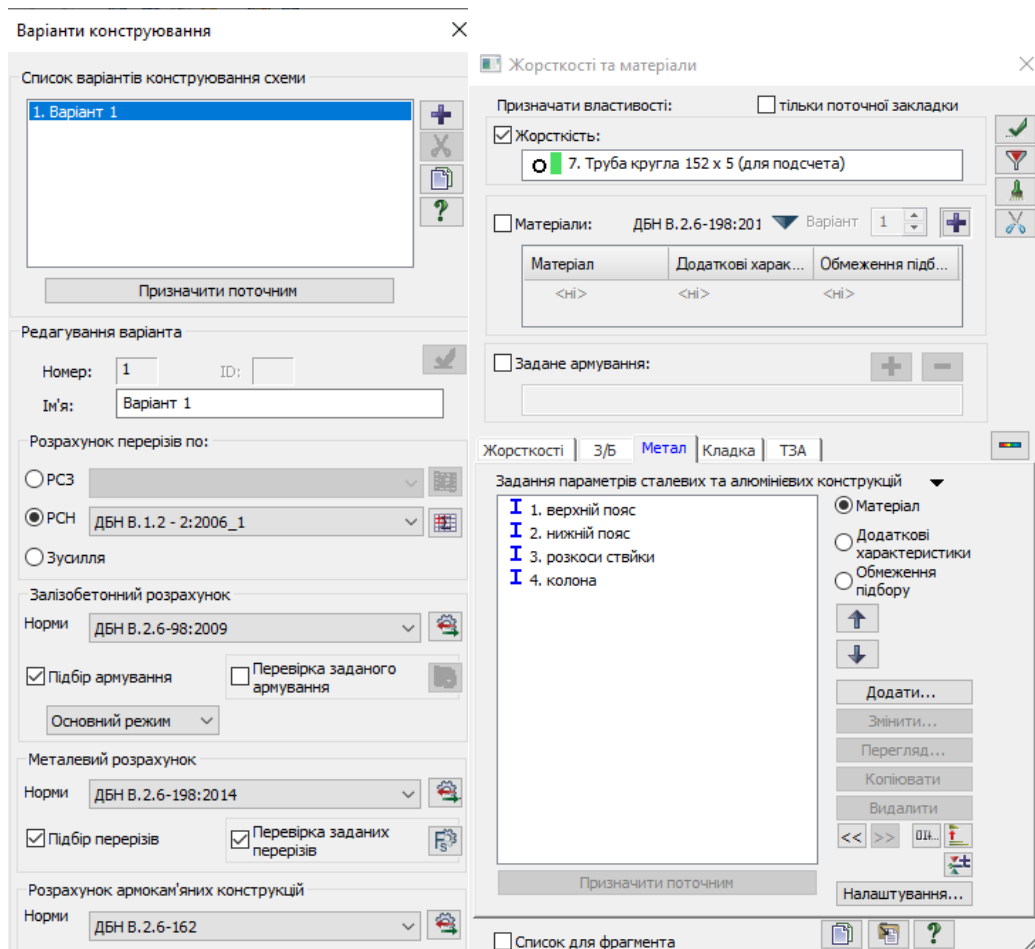
- стержні нижнього поясу;
- стержні решітки

Попередньо, згідно першого наближення, прийнято параметри жорсткості для цих груп стержнів. Всі елементи конструкції прийнято із сталі С235. Характеристики жорсткості наведено в таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Характеристики жорсткостей конструктивних елементів структурного покриття (при ітераційному розрахунку №1)

Назва елемента	Поперечний переріз, см	$E, \text{т/м}^2$	$R_s, \text{т/м}^3$	μ	Сталь С235	$q, \text{т/м}$
1.Стержні верхнього поясу	Труба 180х20	$2,1 \cdot 10^7$	7,85	0,3	С235	0,046
2.Стержні нижнього поясу	Труба 180х20 (ГОСТ 8732 - 78*)	$2,1 \cdot 10^7$	7,85	0,3	С235	0,046
3.Елементи решітки	Труба 152х30 (ГОСТ 8732 - 78*)	$2,1 \cdot 10^7$	7,85	0,3	С235	0,0092
4. Колони	Труба 146х5	$2,1 \cdot 10^7$	7,85	0,3	С235	0,0519
5. Затяжки (схема №2)	Канат 8,6 (ТК конструкції 1х19(1+6+12) Профілі відповідають нормам: ГОСТ 3063-80)	$1,703 \cdot 10^7$	7,85	0,3		0,00037

Для автоматизованого підбору перерізів надалі стержням було призначено параметри конструювання – спосіб підбору елементів за методикою РСН та нормами проектування [5].



а)

б)

Рис.5.7 Вікно варіантів конструювання-а; вікно призначення параметрів металевих конструкцій -б

Під час призначенні матеріалів для конструктивних груп елементів було прийнято типологічно для стержнів верхнього та нижнього поясів – елемент верхнього чи нижнього поясу ферми, а для елементів решітки – типологічно елемент решітки ферми.

Розрахунок сталевих конструкцій відбувався в пружній стадії роботи матеріалу.

5.4 Навантаження на конструкцію

Основними навантаженнями, що діють на структурну плиту, є власна вага самої сталевієї плити, власна вага всіх конструктивних шарів покрівлі, та снігове навантаження. Як показали дослідження [8] вітровим

навантаженням на плиту можна нехтувати, оскільки зусилля від вітрового навантаження дорівнюють близько 1% й їх вплив на напружено-деформований стан конструкції не є суттєвим.

Будівля проектується зводиться в місті Суми, то величина снігового навантаження згідно норм [9] становить $0,167 \text{ т/м}^2$.

Оскільки ухил площин верхнього поясу структури становить 15° , тобто $\alpha < 30^\circ$, то розподіл снігового покриву приймаємо як рівномірний по всьому покриттю.

Прийнято три види завантаження:

- *Завантаження 1* (тип-постійне, власна вага плити),
- *Завантаження 2* (постійне, це власна вага покрівельних конструктивних шарів);
- *Завантаження 3* (тимчасове, навантаження від снігу)– див.

рис.5.8.

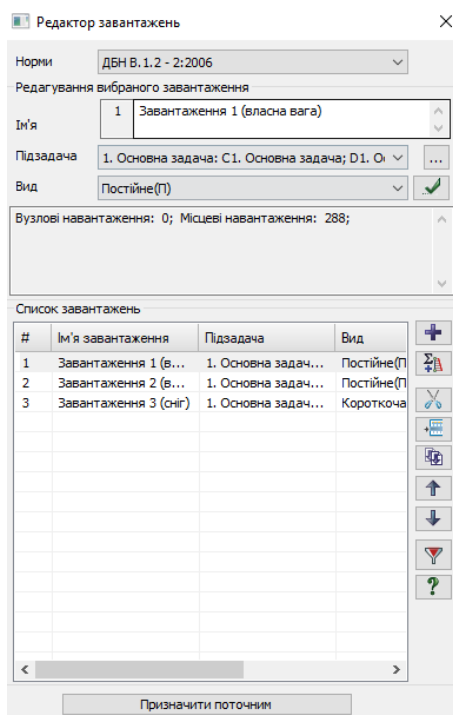


Рис. 5.8 Вікно призначення навантажень на структурну плиту

В таблиці 5.2 приведено збір навантажень на 1 м^2 структурної сталевий плити.

Таблиця 5.2 - 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	Наплавляємий 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

З метою аналізу прогинів плити було створено комбінації завантажень. Ці комбінації враховували постійні характеристичні та довготривалі навантаження. Так як в розрахунковій схемі було застосовано розрахункові навантаження, то постійні навантаження було враховано із коефіцієнтом $1/1,05=0,925$. Для виділення довготривалої частки снігового (тимчасового) навантаження треба помножити її характеристичне значення на понижуючий коефіцієнт (частку тривалості). Тому, для снігового

завантаження враховували коефіцієнт $(1/1,14)=0,877$. Тому, комбінація Завантажень з метою аналізу прогинів є наступною:

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

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

На рис. 5.9 наведено всі види завантажень вузлів верхнього поясу завантаження згідно прийнятих типів навантажень.

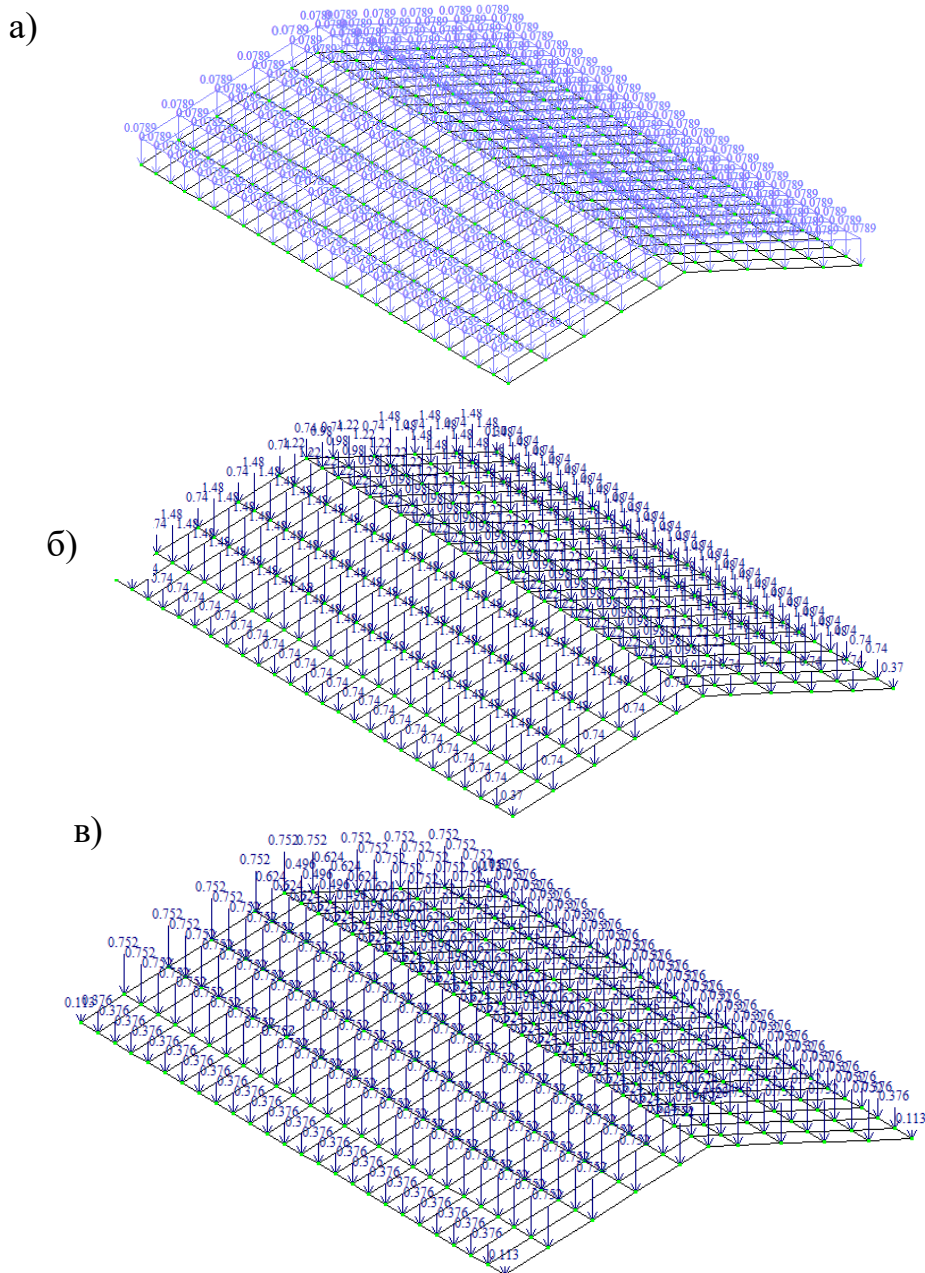


Рис. 5.9 Навантаження на СЕ модель плити: власна вага конструкції -а; навантаження в узлі верхнього поясу в Завантаженні 1 -б; навантаження в узлі верхнього поясу в Завантаженні 2 -в

РОЗДІЛ 6

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ СТАТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ

Порівняння результатів статичного розрахунку, виконаного в системі ЛІР-ВІЗОР дозволить виявити більш раціональну схему з-поміж двох, що розглядаються, за критерієм осьових зусиль стиску-розтягу та величиною максимальних деформацій структури.

6.1 Деформований стан після першого ітераційного розрахунку

При жорсткостях скінчених елементів, прийнятих в першому наближенні (табл. 5.1), виконаємо статичний розрахунок двох розрахункових схем за методикою розрахункового сполучення навантажень.

Оцінювати показники напружено-деформованого стану моделей будемо від розрахункового сполучення навантажень від найбільш несприятливої їх комбінації.

На рис. 6.1 наведено мозаїка переміщень вузлів вздовж осі Z від РСН2 для схем, що досліджуються.

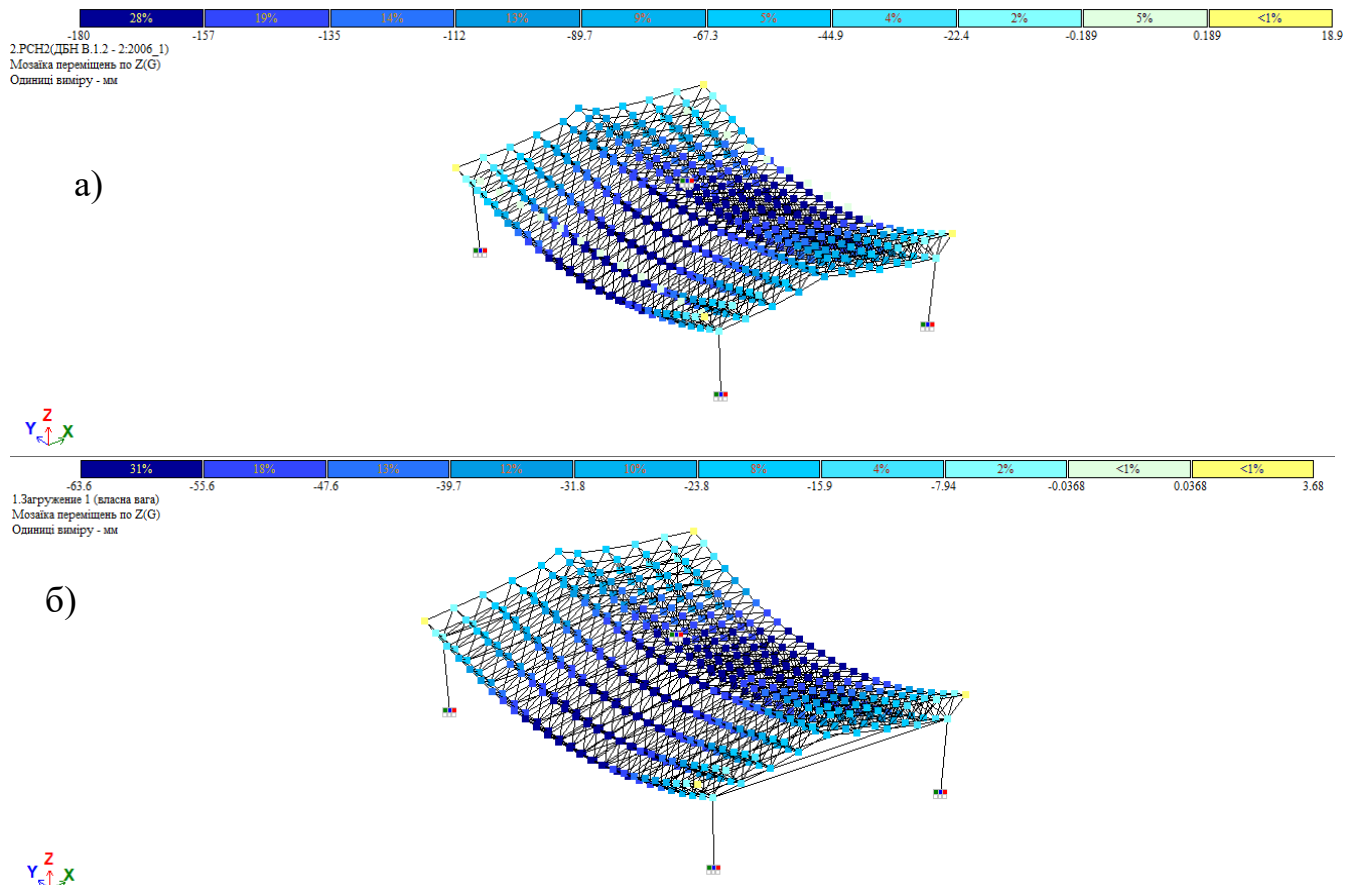


Рис. 6.1 Мозаїка переміщень вузлів по осі Z та деформована схема: для схеми №1-а; для схеми №1-б

В таблиці 6.1 наведено максимальні переміщення f_z вузлів скінченоелементної схеми.

Таблиця 6.1. Максимальні переміщення f_z вузлів скінченоелементної схеми від РСН2

Переміщення	Схема №1		Схема №2	
f_z , [мм]	-144	15	-124	7,11
	-180	18,9	-154	8,87
	-176	18,6	-151	8,7

6.2 Напружений стан після першого ітераційного розрахунку

На рис. 6.2 наведено максимальні переміщення вузлів f_z в скінченоелементних схемах структурної плити від РСН2.

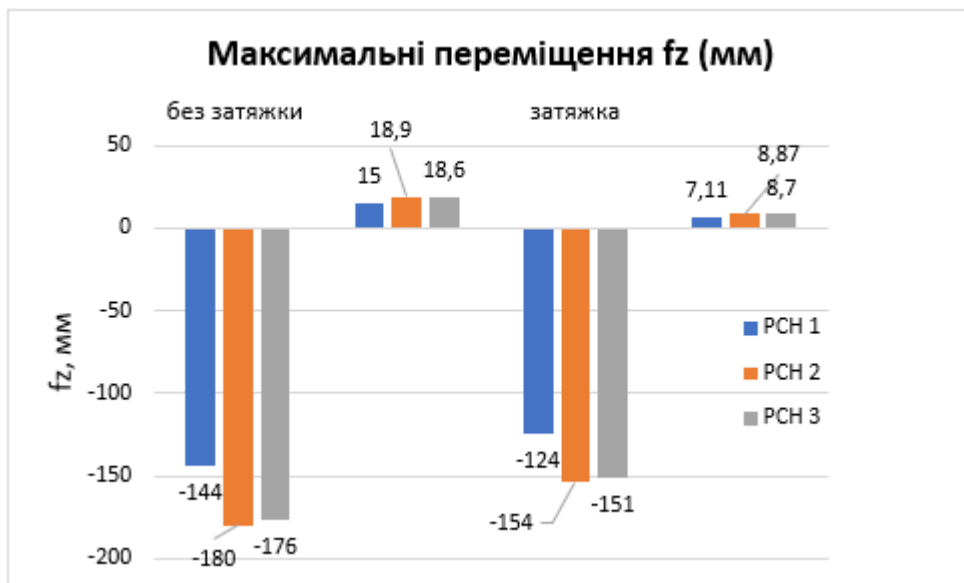
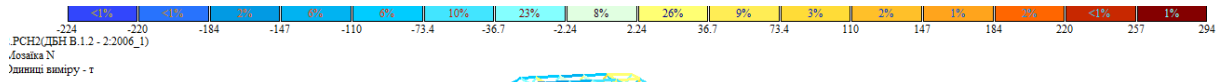


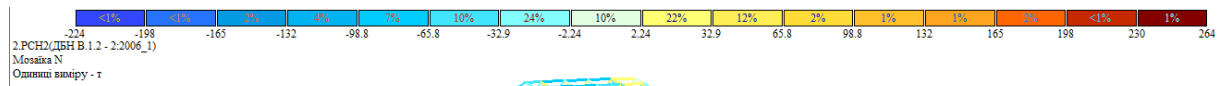
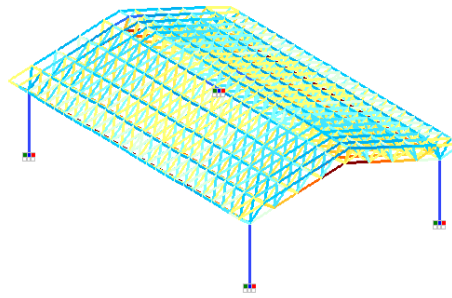
Рис. 6.2 Максимальні переміщення вузлів f_z в скінченоелементних схемах структурної плити від РСН2

Так із табл. 6.1 та діаграм на рис. 6.2 можна побачити, що максимальний вертикальний прогин будівельної системи із затяжкою, що регулює зусилля в стержнях (схема №1), в 1,17 рази є меншим в системі, де регулятор зусиль відсутній (схема №2).

На рис. 6.3 наведено мозаїку осьових зусиль N системи від РСН2.



a)



б)

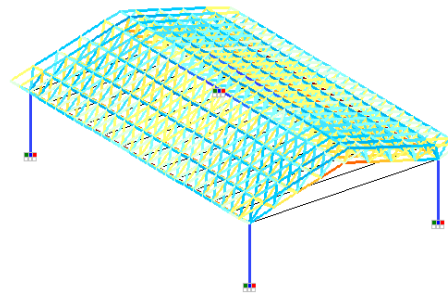
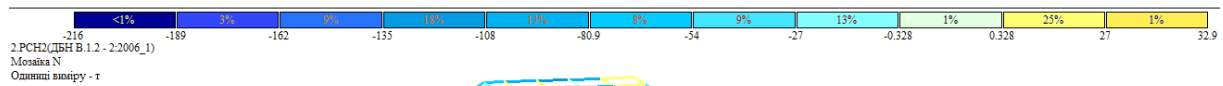
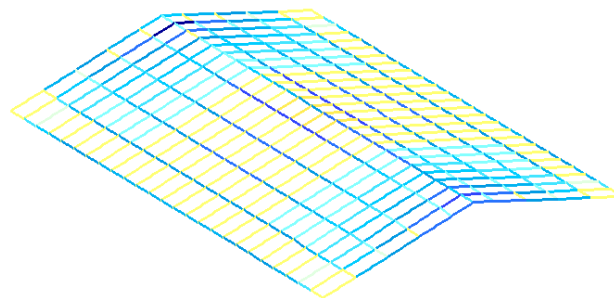


Рис. 6.3 Мозаїка зусиль у стержнях від РСН2: для моделі №1-а; для моделі №2-б

На рис.6.4 -6.5 наведено мозаїку сили N для всіх конструктивних груп стержнів моделей від РСН2.



a)



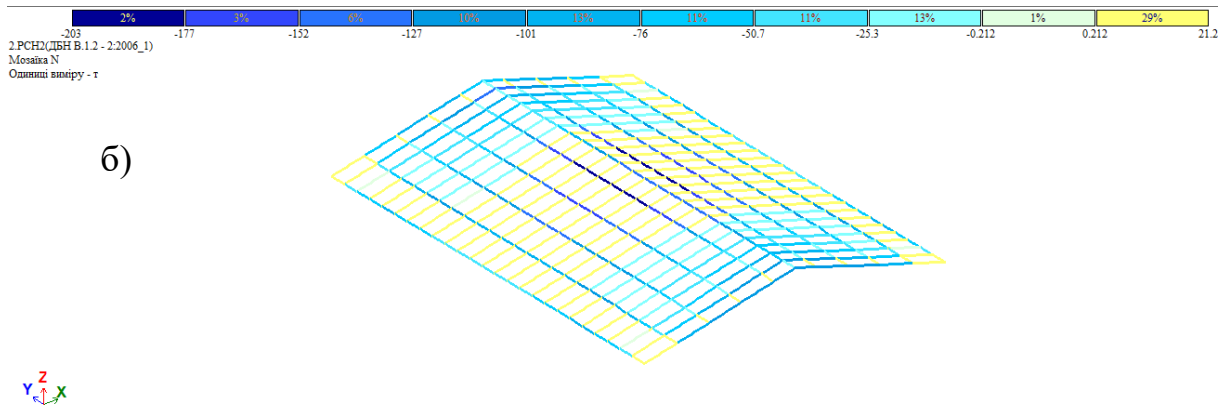


Рис.6.4 Мозаїка зусилля N в елементах верхнього поясу для моделі №1 (а) та моделі №2 (б) від PCH2

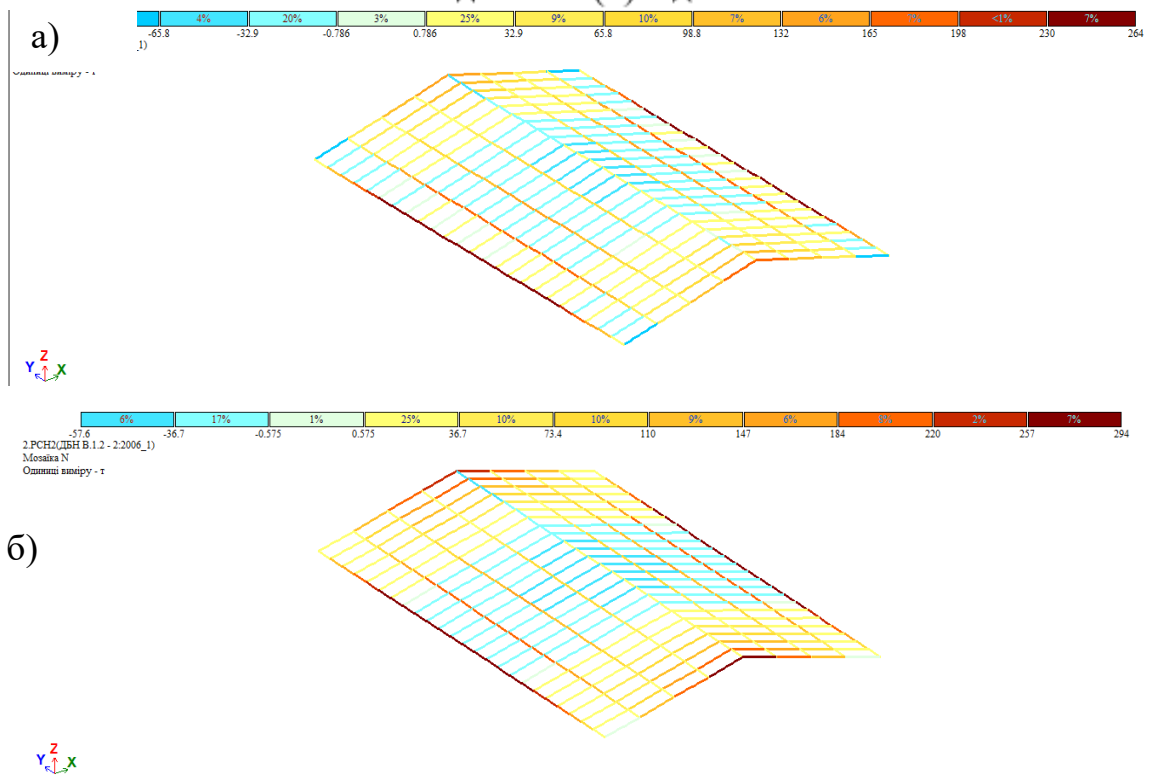
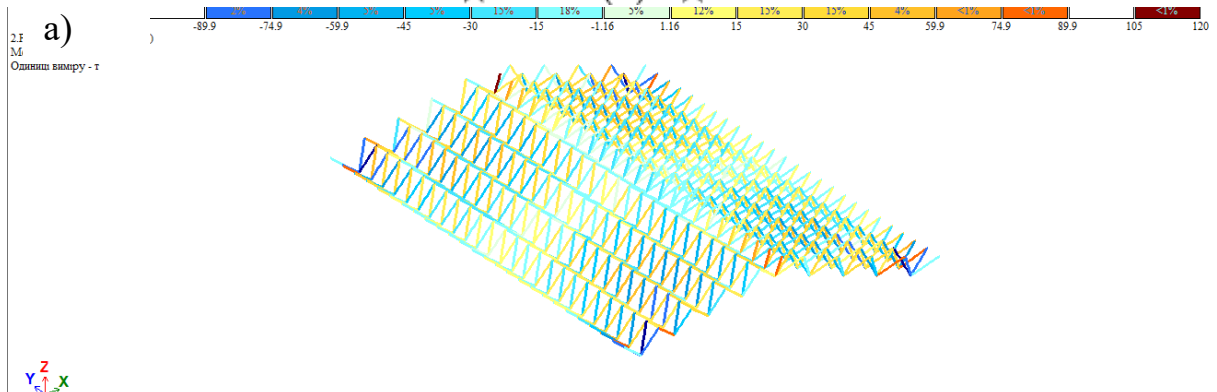


Рис.6.5 Мозаїка сили N в елементах верхнього поясу для моделі №1 (а) та моделі №2 (б) від PCH2



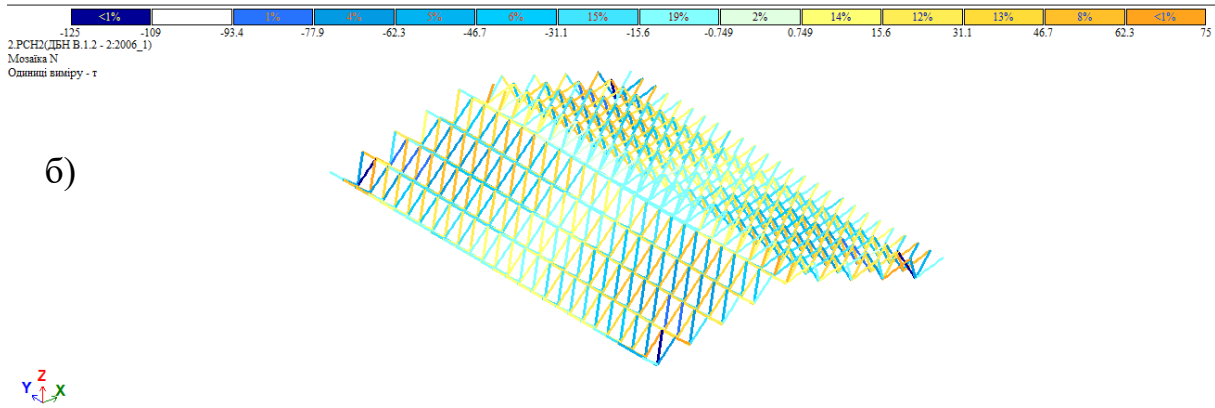


Рис.6.6 Мозаїка зусилля N в елементах решітки для моделі №1 (а) та моделі №2 (б) від РСН2

В таблицях 6.2-6.5 наведено максимальні осьові зусилля N від РСН2 для всіх конструктивних груп елементів.

Таблиця 6.2. Максимальні зусилля N в стержнях верхнього поясу

№ РСН	Схема №1		Схема №2	
	РСН 1	-172	26,1	-163
РСН 2	-216	32,9	-203	21,2
РСН 3	-212	32,2	-199	20,8

Таблиця 6.2. Максимальні зусилля N в стержнях верхнього поясу

№ РСН	Схема №1		Схема №2	
	РСН 1	-172	26,1	-163
РСН 2	-216	32,9	-203	21,2
РСН 3	-212	32,2	-199	20,8

Таблиця 6.3. Максимальні зусилля N в стержнях нижнього поясу

№ РСН	Схема №1		Схема №2	
	РСН 1	-45,9	236	-62,9
РСН 2	-27,6	294	-78,7	264
РСН 3	-56,4	288	-77,1	258

Таблиця 6.4. Максимальні зусилля N в стержнях решітки плит

№ РСН	Схема №1		Схема №2	
РСН 1	-93	95,8	-93,4	91,1
РСН 2	-117	120	-117	115
РСН 3	-114	118	-115	113

Таблиця 6.5. Максимальні зусилля N в колонах

№ РСН	Схема №1		Схема №2	
РСН 1	-93	95,8	-93,4	91,1
РСН 2	-117	120	-117	115
РСН 3	-114	118	-115	113

На рис. 6.7 – 6.9 наведено графічне зображення даних із таблиць 6.2-6.5- діаграми максимальних зусиль N (розтягу й стиску) в конструктивних групах стержнів від РСН2.

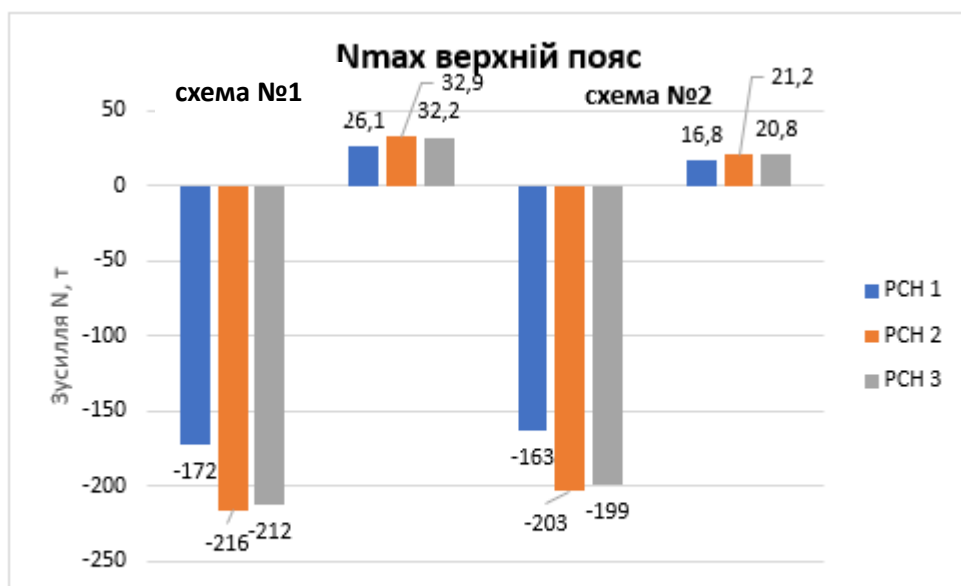


Рис.6.7 Максимальні зусилля N в стержнях конструктивної групи «верхній пояс»

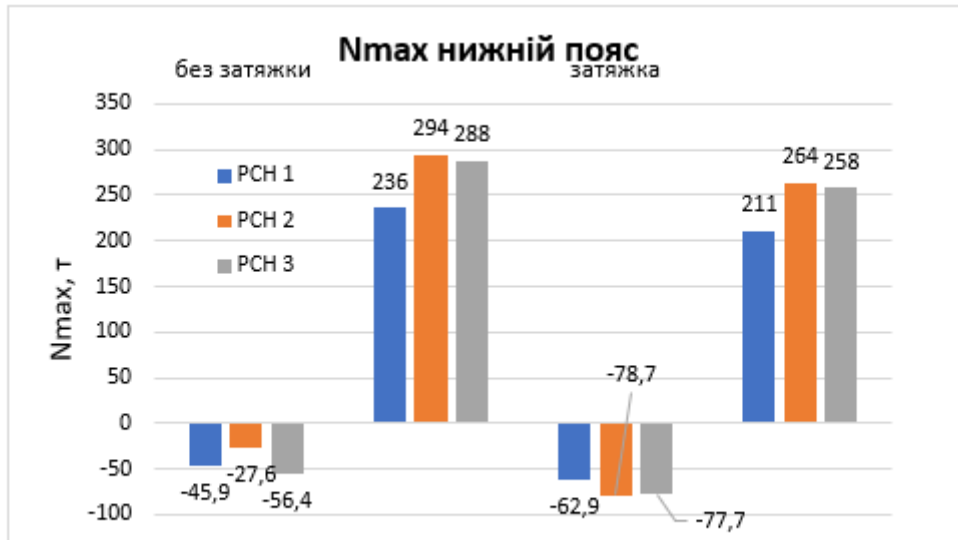


Рис. 6.8 Зусилля N в стержнях конструктивної групи «нижній пояс»

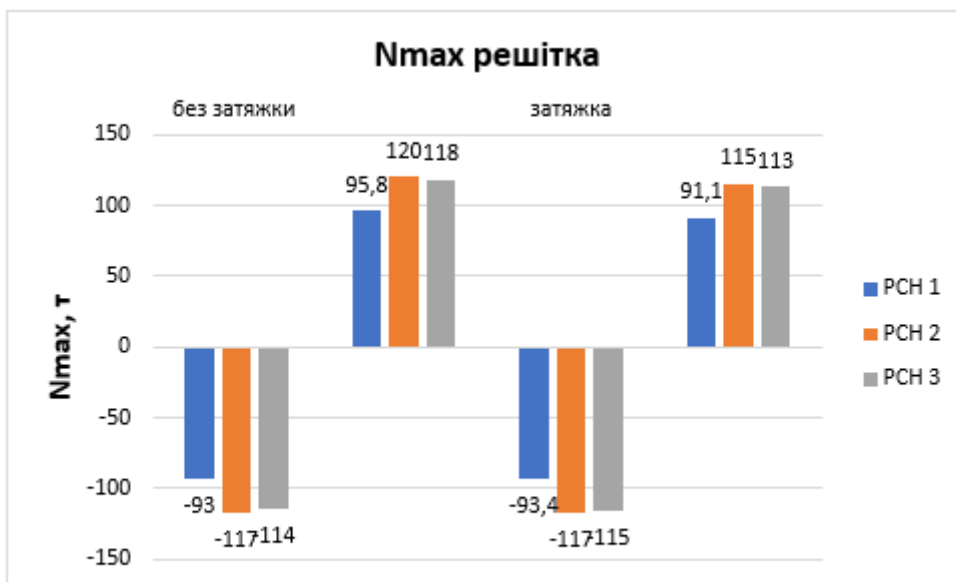
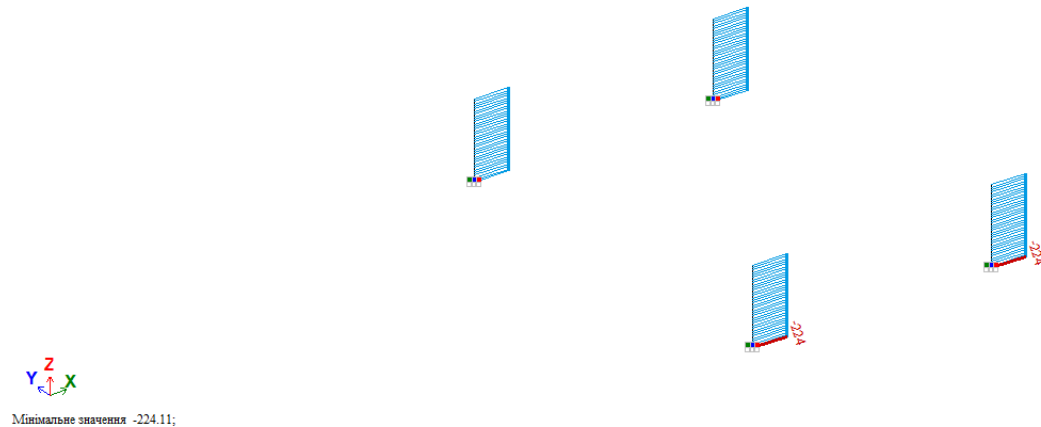


Рис. 6.9 Зусилля N в стержнях конструктивної групи «розкоси»

На рис. 6.10 наведено епюри зусиль стиску N в колонах від РСН 2 для обох схем.



Мінімальне значення -224.11;

Рис. 6.10 Епюри зусиль стиску N в колонах від РСН 2 для обох схем
($N_{max}=224$ т)

Коефіцієнт стійкості – це параметр, який показує, наскільки система стійка до збурень чи змін зовнішніх умов. Коефіцієнт стійкості може бути позитивним числом. Якщо він має від’ємне значення, то система є нестійкою.

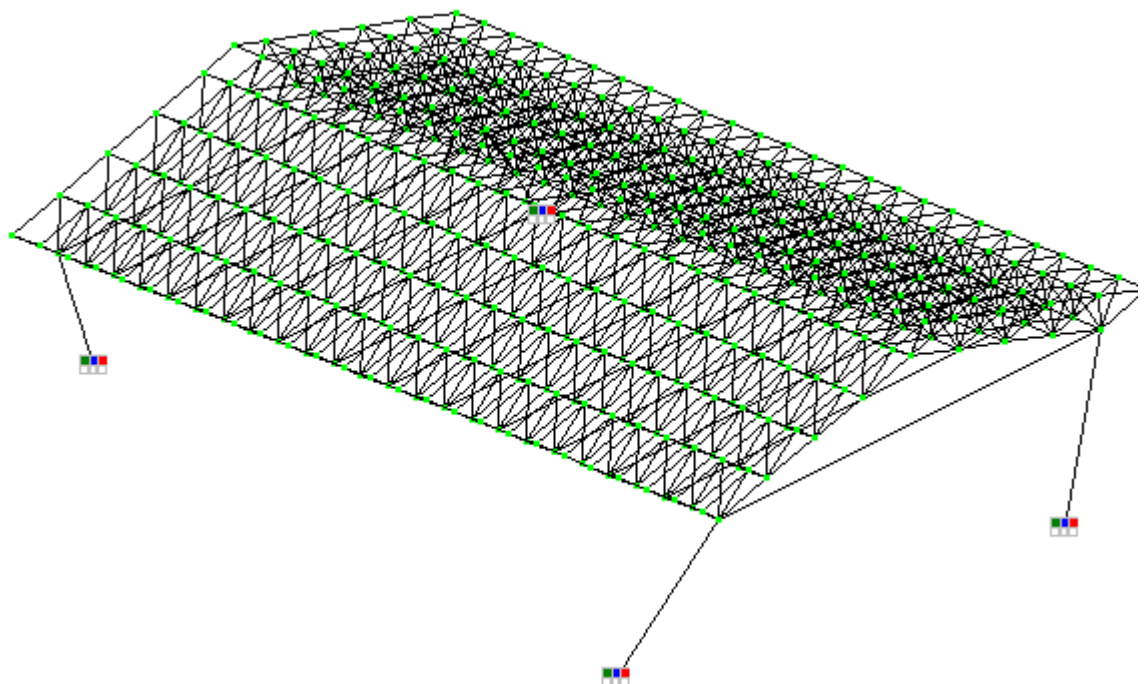


Рис.6.11 Форма втрати стійкості для моделі №1

Коефіцієнт запасу стійкості для моделі без затяжки становить $k=1,28$, а для моделі №2 - $k=1,16$. Отже, попередньо напружена схема є на 10% менш стійкою, аніж схема без попереднього напруження. Але, в обох випадках цей коефіцієнт >1 , тобто обидві системи є достатньо стійкими.

6.3 Аналіз використання несучої здатності перерізів конструктивних груп стержнів

На рис. 6.12-6.19 наведено мозаїки використання несучої здатності перерізу (%) для конструктивних груп стержнів за першою та другою групами граничних станів.

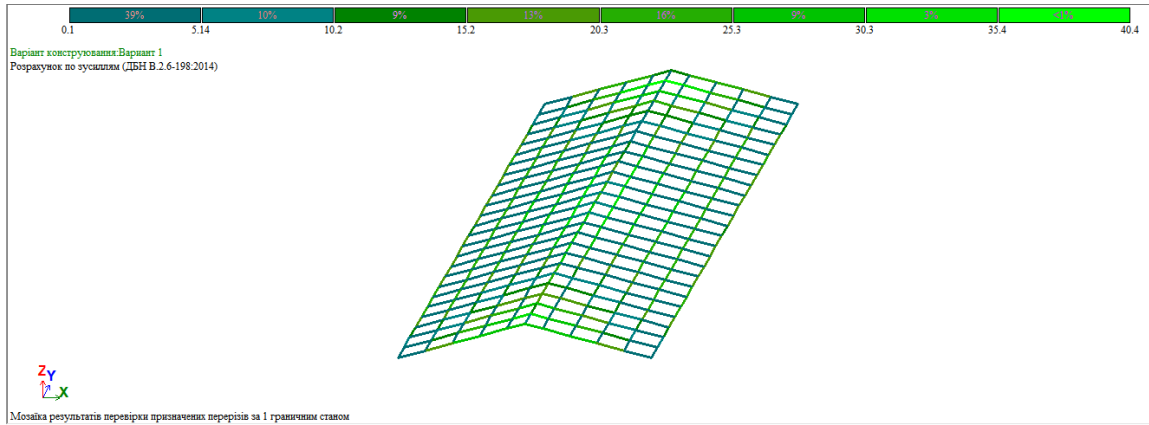


Рис.6.12 Мозаїка результатів розрахунку за ІГС металевих елементів з поперечним перерізами, що призначені у вихідних даних, % несучої здатності (верхній пояс, схема №1)

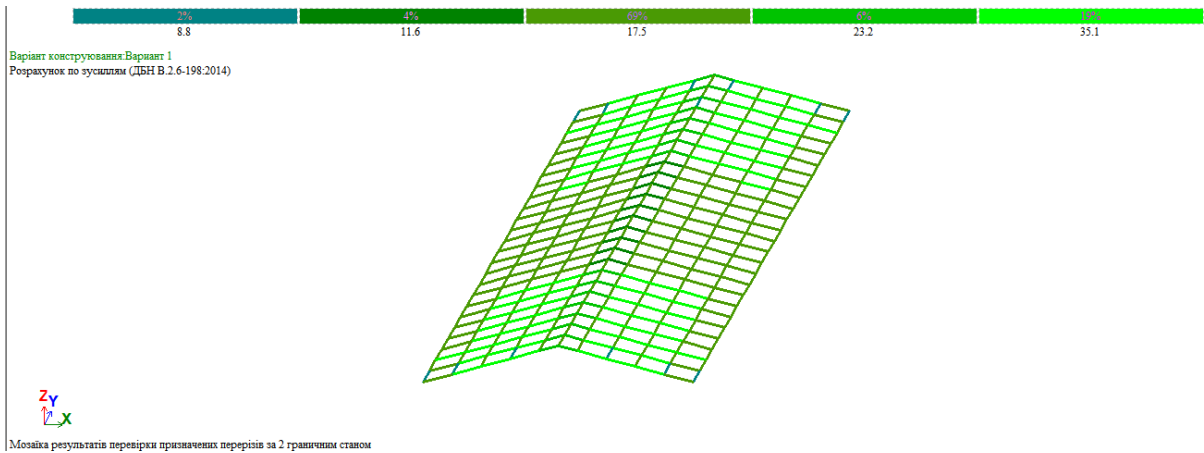


Рис. 6.13 Мозаїка результатів розрахунку за 2ГС металевих елементів з поперечним перерізами, що призначені у вихідних даних, % несучої здатності (верхній пояс, схема№1)

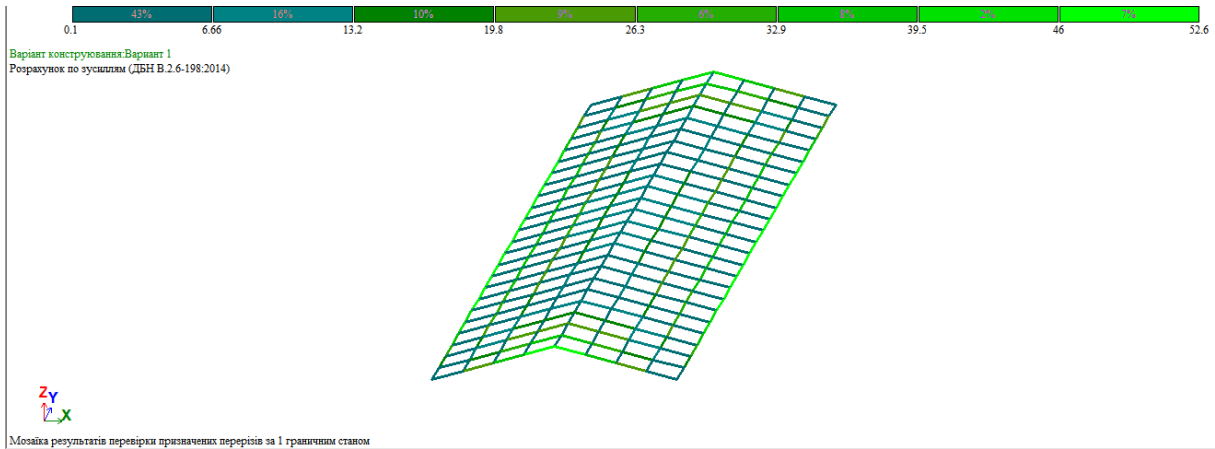


Рис. 6.14 Мозаїка результатів розрахунку за 1ГС металевих елементів з поперечним перерізами, що призначені у вихідних даних, % несучої здатності (нижній пояс, схема№1)

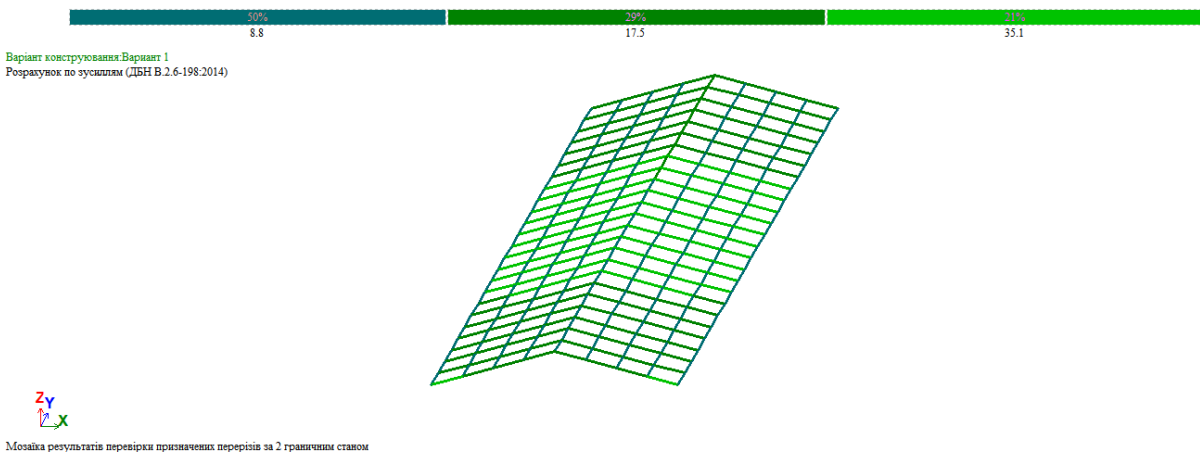


Рис. 6.15 Мозаїка результатів розрахунку за 2ГС металевих елементів з поперечним перерізами, що призначені у вихідних даних, % несучої здатності (нижній пояс, схема№1)

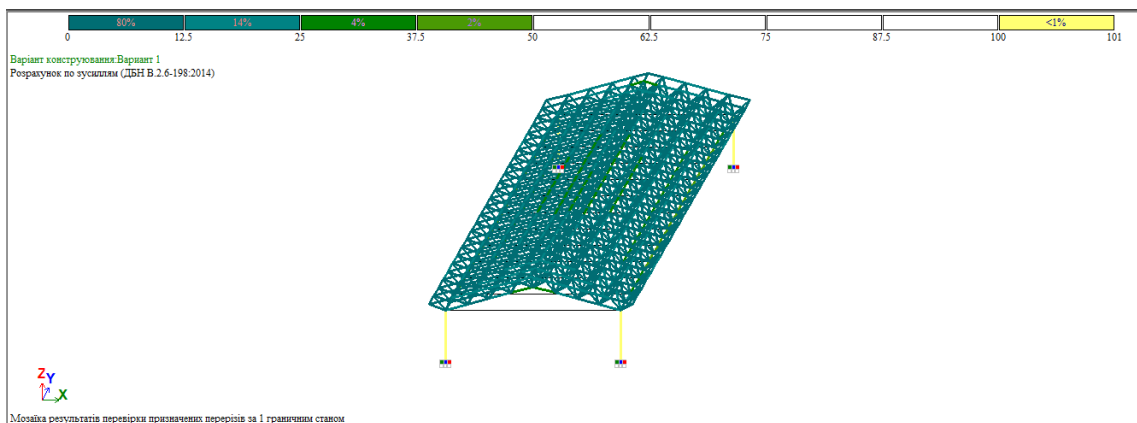


Рис. 6.16 Мозаїка результатів розрахунку за 1ГС металевих елементів з поперечним перерізом, що призначені у вихідних даних, % несучої здатності всіх груп конструктивних стержнів, схема №2)

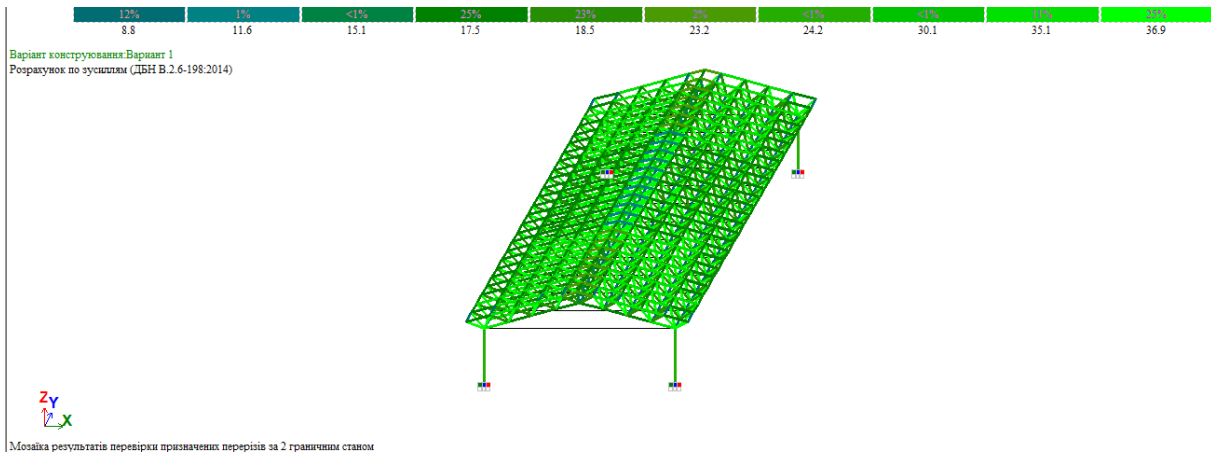


Рис. 6.17 Мозаїка результатів розрахунку за 2ГС металевих елементів з поперечним перерізом, що призначені у вихідних даних, % несучої здатності всіх груп конструктивних стержнів, схема №2)

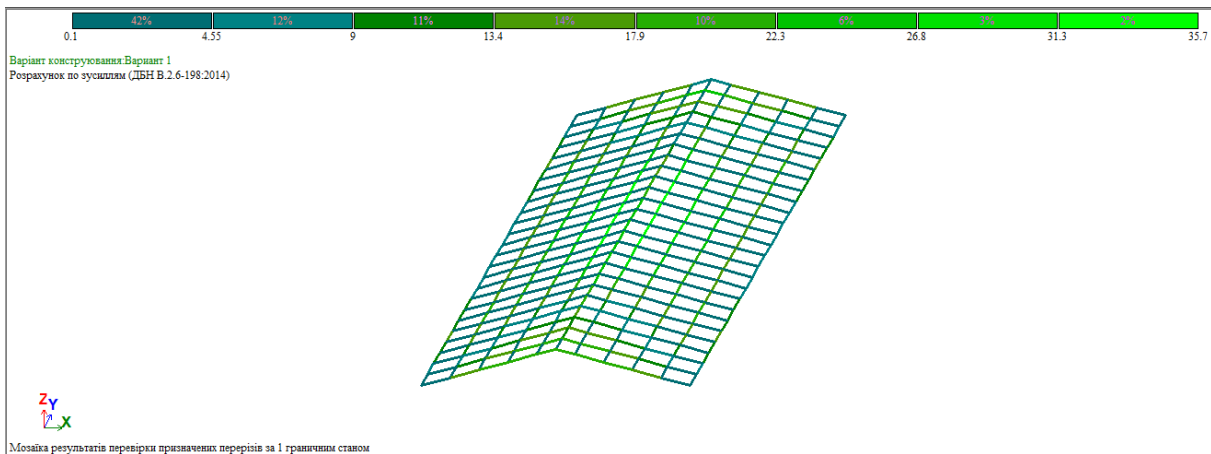


Рис. 6.18 Мозаїка результатів розрахунку за 1ГС металевих елементів з поперечним перерізами, що призначені у вихідних даних, % несучої здатності (верхній пояс, схема №2)

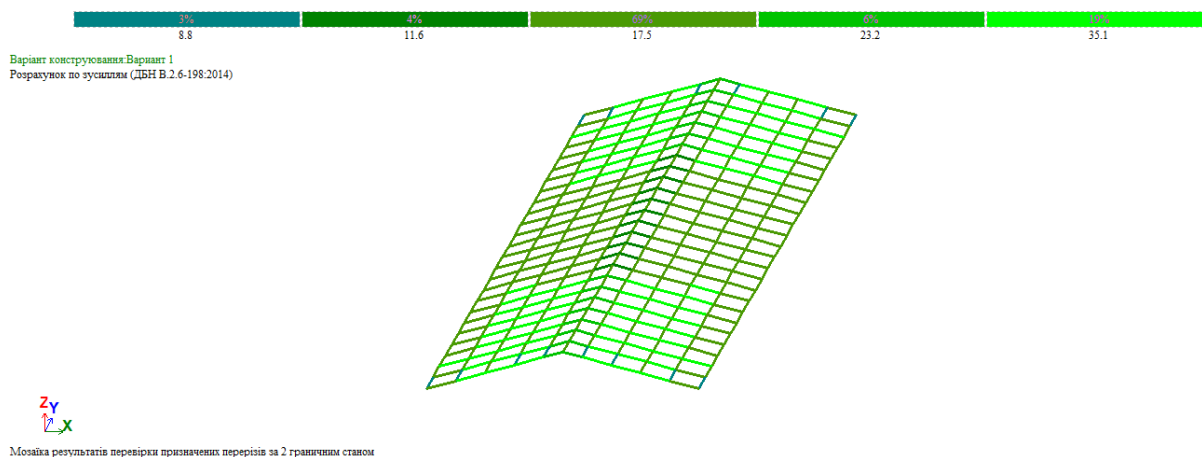


Рис. 6.19 Мозаїка результатів розрахунку за 2ГС металевих елементів з поперечним перерізами, що призначені у вихідних даних, % несучої здатності (верхній пояс, схема №2)

В таблиці 6.6 наведено максимальний відсоток використання перерізу після першого ітераційного статичного розрахунку.

Таблиця 6.6 – Максимальне використання, (%)перерізу після 1-ї ітерації

Назва конструктивної групи стержнів	1 ГС		2 ГС	
	Схема №1	Схема №2	Схема №1	Схема №2
Верхній пояс	40,4	35,7	35,1	35,1
Нижній пояс	52,6	52,6	35,1	35,1
Решітка	20,2	20,2	36,9	36,9
Колони	119	119	24,2	24,2

6.3 Аналіз використання несучої здатності перерізів конструктивних груп стержнів

В таблицях 6.7-6.8 за результатами статичного розрахунку після 1-ї ітерації наведено результати підбору нових профілів елементів конструктивних груп елементів структури.

Прийнято максимальний профіль для певної групи конструктивних груп стержнів за результатами розрахунку модуля «Металеві конструкції» ПК ЛІРА-САПР (табл. 6.7- 6.10).

Діапазон зусиль для кожної групи елементів структурної плити (верхній пояс, нижній пояс, елементи решітки) було розділено на дві групи- від «0» до «середнього значення» в діапазоні зусиль (шкалі зусиль), та від «середнього значення зусилля» до «максимального значення». Для цих двох груп за результатами підбору перерізів прийнято максимальні профілі для прийнятих груп зусиль (табл. 6.7- 6.10).

Таблиця 6.7 Підбір елементів верхнього поясу після ітераційного розрахунку №1

№ схеми	№ типу перерізу	Сталь	Профіль труби	Вага ім.п. профілю, т	Довжина стержнів поясу, м	Вага, т
1	1	C235	ТБ 203x6,5	0,031486	264	8,31
	2	C235	ТБ 152x4,5	0,016362	950,5	15,55
2	1	C235	ТБ 180x5	0,02157	264	5,69
	2	C235	ТБ 140x4,5	0,015031	951	14,29

Таблиця 6.8 – Підбір елементів нижнього поясу після ітераційного розрахунку №1

№ схеми	№ типу перерізу	сталь	Профіль труби	Вага ім.п. профілю, т	Довжина стержнів поясу, м	Вага, т
1	1	C235	ТБ 219x8	0,041612	138	5,74
	2	C235	ТБ 168x5	0,016362	786	12,86
2	1	C235	ТБ 194x5,5	0,025557	138	3,53
	2	C235	ТБ 152x4,5	0,016362	786	12,86
	затяжка	C235	Канат 8,6	0,000373	301,3686	0,11

Таблиця 6.9 – Підбір решітки після ітераційного розрахунку №1

№ схеми	№ типу перерізу	Сталь	Профіль труби	Вага 1м,п, профілю, т	Довжина стержнів поясу, м	Вага, т
1	1	C235	ТБ 159x4,5	0,017139	196,96	3,38
	2	C235	ТБ 108x4	0,010255	2278,4	23,36
2	1	C235	ТБ 152x5	0,018119	196,96	3,57
	2	C235	ТБ 108x4	0,010255	2278,4	23,36

Таблиця 6.10 – Підбір колон після ітераційного розрахунку №1

№ схеми	№ типу перерізу	Сталь	Профіль труби	Вага 1м,п, профілю, т	Довжина стержнів поясу, м	Вага, т
1	78,79	C235	ТЕ 426x6	0.0621216	28,8	1,789
2	80,81	C235	ТЕ 426x5,5	0.0570126	28,8	1,642

Узагальнюючи дані таблиць 6.7 – 6. 8 обчислено загальну вагу кожної конструктивної групи стержнів для схем №№1 та 2, що досліджуються.

Таблиця 6.11 – Підрахунок ваги моделей

Назва групи конструктивних елементів	Модель №1	Модель №2	Різниця, %
Верхній пояс	23,86	19,99	19,4
Нижній пояс	18,60	16,50	12,7
Розкоси	26,74	26,93	0,07
Вага структурної плити без врахування ваги колон:	69,2	63,42	9,1
Колони	1,79	1,64	8,96
Всього:	70,99	65,06	9,12

Так, найменших змін у вазі зазнали елементи решітки (0,07%), вага цих елементів для обох схем залишилася незмінною.

На 19,3% зменшилася вага верхнього поясу в моделі, що має попереднє напруження, на 12,7% зменшилася вага елементів нижнього поясу в попередньо напруженій моделі.

Загалом вага конструкції плити із попереднім напруженням без врахування ваги колон на 5,78 т (9,1%) є меншою, аніж вага плити, де відсутнє попереднє напруження нижнього поясу.

Оскільки вага другої моделі на 9,1% легша, аніж модель №1, то і навантаження, що сприймають стійки від структурної плити є меншим, що дозволяє прийняти дещо менший га геометричними характеристиками профіль труби.

Так, загальна вага стійок для моделі №2 на 1,0 т (8,96%) є меншою, аніж загальна вага колон для моделі №1.

Загалом вага конструктивної системи з попереднім напруженням є легшою на 5,93 т (9,12%), аніж вага конструктивної системи без попередньо напружених елементів.

На рис. 6.20 наведено графічне підрахунок ваги кожних конструктивних груп стержнів для обох схем структурних плит.

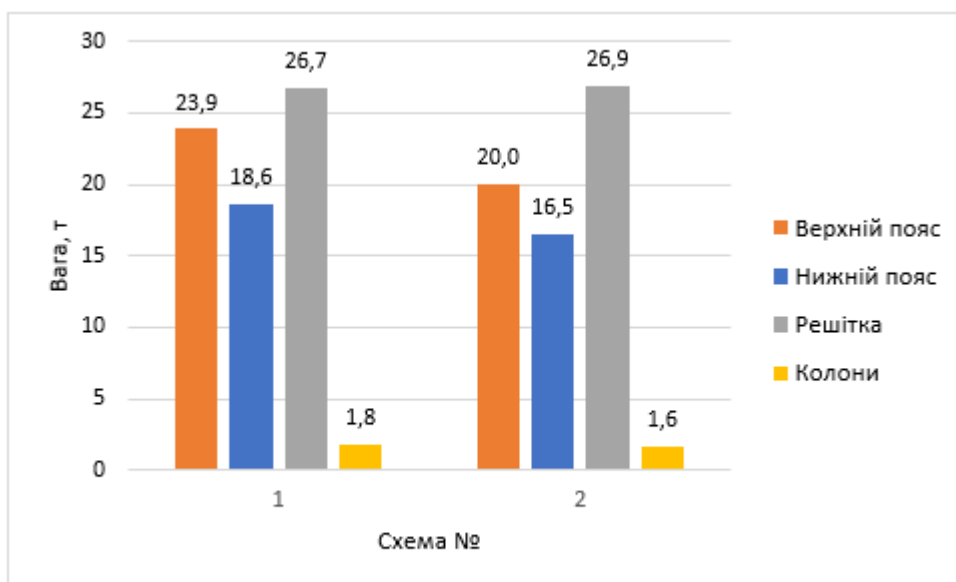


Рис. 6.20 Підрахунок ваги конструктивних груп стержнів

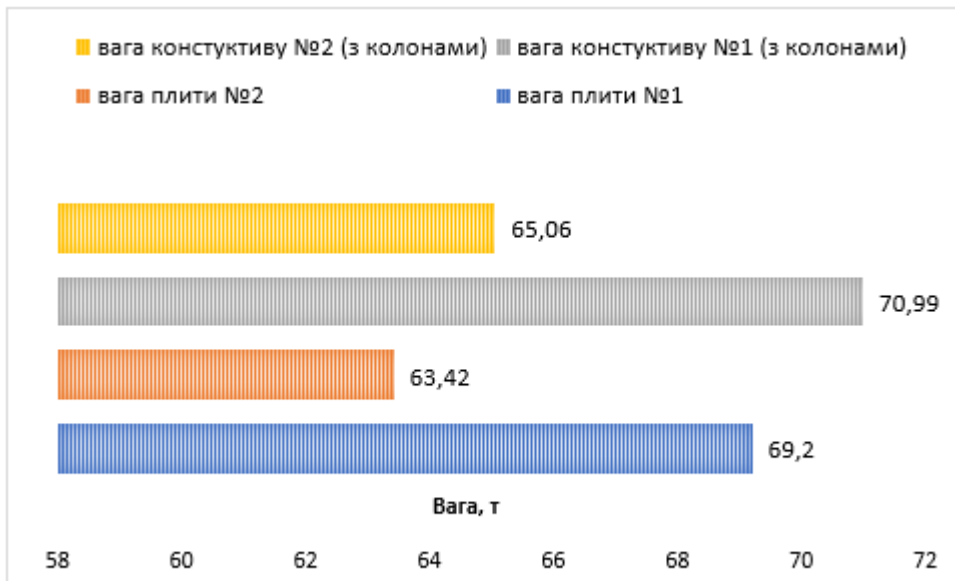


Рис. 6.21 Підрахунок загальної ваги моделей

Після призначення моделям нових жорсткостей (нових профілів труб) за даними таблиць 6.7-6.10 було виконано другий ітераційний статичний розрахунок. Ітераційний розрахунок показав суттєве збільшення відсотку використання поперечного перерізу профілів конструктивних груп стержнів моделей, що досліджуються.

РОЗДІЛ 7.

ВИСНОВКИ

1. Структурна плитна конструкція покриття, побудована за принципом Платонових багатогранників. Базовий структурний елемент мультиплікується вздовж ширини та довжини конструкцій тим самим утворюючи структуру. Структурні плити відрізняються рядом переваг як то високою жорсткістю, технологічністю.
2. Для структур покриття можна виокремити «регулятори зусиль» – параметри конструктивної схеми, що суттєво впливають на її напружено-деформований стан. Створення попереднього напруження в стержнях нижнього поясу штучним способом є одним із методів регуляції зусиль в стержнях.
3. Дослідження моделей плити, регулятором в якій було прийнято попереднє напруження, дозволило визначити найбільш ефективну за

критерієм металоємності схем з-поміж двох схем. Критерій матеріалоємності (найменшої ваги) досить легко формалізувати.

4. Зменшення зусиль та прогинів в схемі, що зазнала попереднього напруження, обумовлює її меншу вагу. Так, найменших змін у вазі зазнали елементи решітки (0,07%), вага цих елементів для обох схем залишилася незмінною. На 19,3% зменшилася вага верхнього поясу в моделі, що має попереднє напруження, на 12,7% зменшилася вага елементів нижнього поясу в попередньо напруженій моделі. Загалом вага конструкції плити із попереднім напруженням без врахування ваги колон на 5,78 т (9,1%) є меншою, аніж вага плити, де відсутнє попереднє напруження нижнього поясу. Оскільки вага другої моделі на 9,1% легша, аніж модель №1, то і навантаження, що сприймають стійкі від структурної плити є меншим, що дозволяє прийняти дещо менший та геометричними характеристиками профіль труби. Так, загальна вага стійок для моделі №2 на 1,0 т (8,96%) є меншою, аніж загальна вага колон для моделі №1.

Загалом вага конструктивної системи з попереднім напруженням є легшою на 5,93 т (9,12%), аніж вага конструктивної системи без попередньо напружених елементів.

5. Коефіцієнт запасу стійкості у напруженої конструкції на 10% є меншим у попередньо напруженій схемі. Але для обох конструкцій цей коефіцієнт є більшим 1, тобто стійкість обох систем забезпечена.

6. Показники деформативності – показники вертикальних прогинів для обох випадків ($f_u = (l/200) = 3750/200 = 18,75$ см) знаходяться в допустимих межах. В 1,17 рази прогини попередньо напруженої моделі є меншими за прогини моделі без попереднього напруження.

Перспективи досліджень. Відсоток кількості стержнів, що входить до такої групи з максимальним відсотком використання площі перерізу, є незначним (до 2%).

Для більш детального і оптимального конструювання слід зробити ще декілька розрахункових ітерацій з метою, щоб якомога більший відсоток в конструктивних групах стержнів структури мав якомога повне використання площі перерізу.

Також, з метою більш точного конструювання, вже на другій ітерації слід за декількома діапазонами зусиль N сформувати групи стержнів, для яких було би прийнято відповідний новий профіль труби й провести декілька ітераційних розрахунків до моменту, коли у більшій кількості стержнів конструктивної групи відсоток використання перерізу буде значним ($>50\%$). Це дозволить суттєво зменшити вагу плити, хоча й збільшить кількість типорозмірів стержнів в усіх конструктивних групах стержнів.

Література

1. 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>.
2. Кагановский Л.О. Нові рішення вузлових з'єднань стрижнів структурних та одношарових гратчастих конструкцій / Збірник наукових праць Українського науково-дослідного та проектного інституту у сталевих конструкцій імені В.М. Шимановського. – Випуск 5, 2010 р.192 с.
3. Міняйленко І.В., Васюта В.Б. Ресурсомісткість як головний критерій ресурсозбереження на виробництві. /Мукачівський державний університет. Економіка і суспільство. Випуск # 9 / 2017. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://surl.li/eyxbe>
4. Makowski, Z. S. Raumliche Tragwerke aus Stahl. Düsseldorf, 1963
5. ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Норми проектування. [Чинний від 2015-01-01]. К.: Мінрегіон України, 2014. 15 с. (Національний стандарт України)
6. ГОСТ 8732 - 78*
7. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. Прогини і переміщення. Вимоги проектування. [Чинний від 2007-01-01] К.: Мінбуд України,2006. (Національний стандарт України)
8. Tsyhanenko, Liudmyla, Sribniak, Nataliia, Tsyhanenko, Hennadii, Lutskovskyi, Valerii and Ordon-Beska, Beata. "Determining the optimal size of the basic element in a space grid structure" Construction of Optimized Energy Potential Budownictwo o Zoptymalizowanym Potencjale Energetycznym, vol.12, no.1, 2023, pp.201-208. <https://doi.org/10.17512/bozpe.2023.12.22>.

9. ДБН Навантаження та впливи
10. Chilton J. (1999). Space Grid Structures. Routledge
<https://doi.org/10.4324/9780080498188>
11. Ashtul S.A. & Patil S.N. (2020). Review on Study of Space Frame Structure System. International Research Journal of Engineering and Technology, 7(4)
12. Space Frame Structure; an analysis of its benefit by Constro Facilitator. Retrieved from: <http://surl.li/ogzyc>
13. 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>
14. 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>
15. Britannica, The Editors of Encyclopaedia. "Space frame". Encyclopedia Britannica, Retrieved from: <http://surl.li/ogzxo>
16. 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/>
17. Huybrechts 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)
18. 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>

19. Структурні плити конструкції ЦНІІСК. URL:
<https://jak.bono.odessa.ua/articles/strukturni-pliti-konstrukcii-cniisk.php>
20. 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>
21. Flager, F., A. Adya, J. Haymaker and M. Fischer, 2014. *Computers and Structures*, 131, pp. 1-11.

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.

МЕТОД РЕГУЛЯЦІЇ ЗУСИЛЬ В СТРУКТУРНІЙ ПЛИТІ

Кулик В.Ю., 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

Структурні плити (структури) є сучасними ефективними конструкціями перекриття, що дозволяють перекривати великі прольоти без використання проміжних опор. Такі конструкції формуються згідно законів кристалографічної метрики. Сама конструкція завдяки особливостям розташування стержнів є достатньо жорсткою, що дозволяє знизити її робочу висоту товщину. Важливим параметром, що робить таку конструкцію ефективною - розподіл зусиль в стержневих сталевих її елементах. Такий розподіл зусиль залежить від багатьох факторів. Змінюючи які, можна змінювати (регулювати) й зусилля в цих стержнях. Одним із способів регулювання зусиль в стержнях верхнього, нижнього поясів та розкосах є створення штучного натягу цих стержнів.

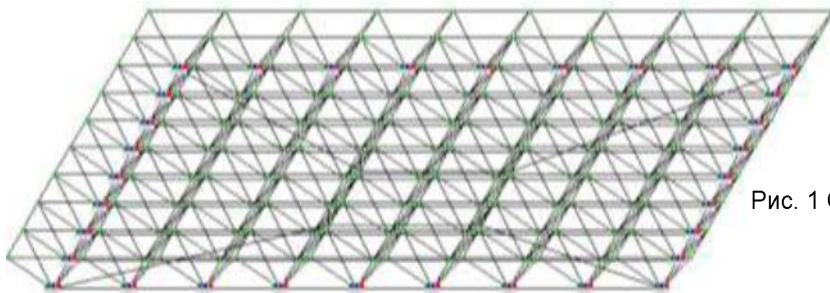


Рис. 1 Скінченоелементна модель структурної плити

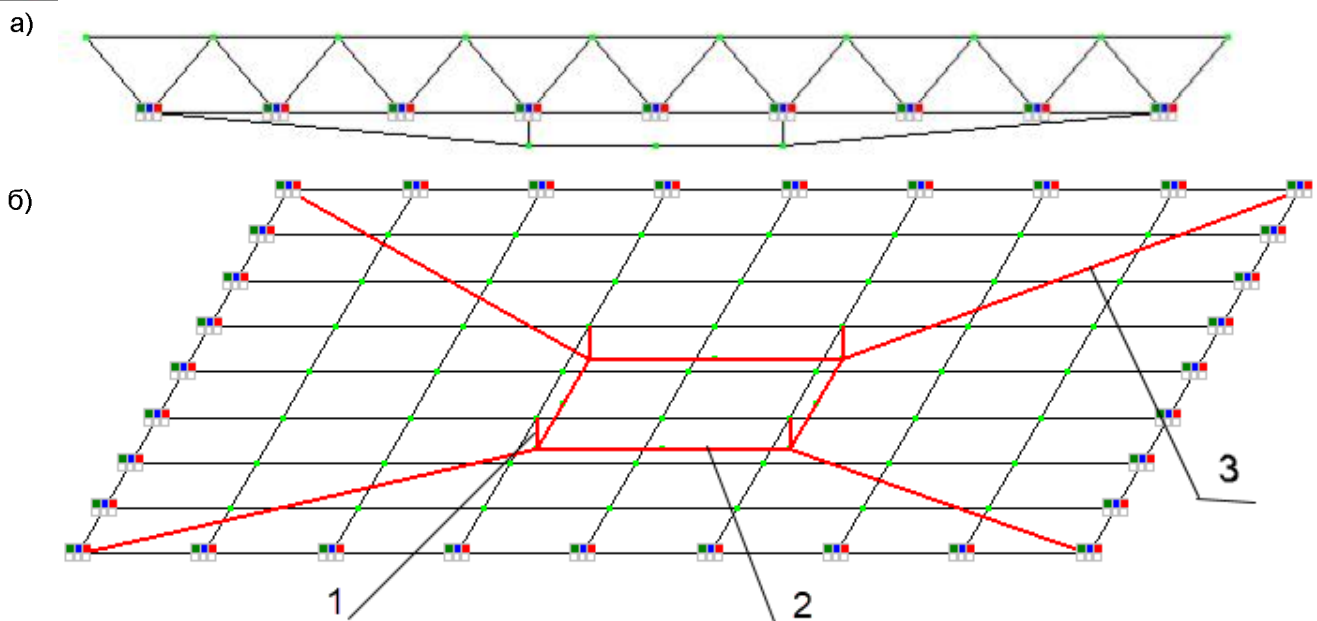
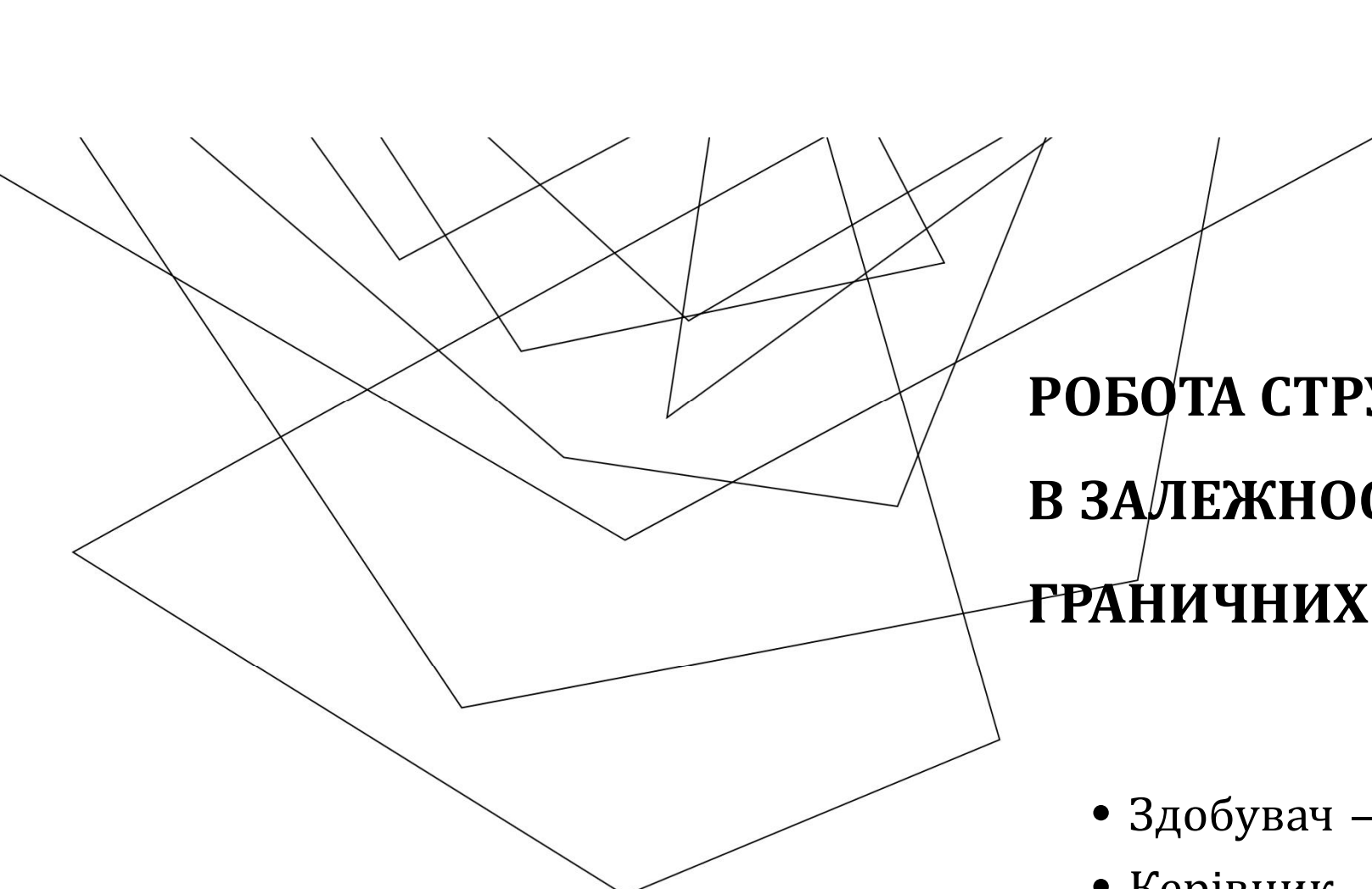


Рис.2 Вид збоку структурної плити -а: система стержнів, що дозволяє виконувати регулювання зусиль в стержнях плити (б): стійки-1; квадратна діафрагма (2), що пов'язана із стійками; стержні із тапрепами (тяжі) -3

Таке натягіння може бути виконано системою стержнів, що приєднують до нижнього поясу структурної плити: до стійок, висотою 0,8-0,85 м приварюють стержні так званої горизонтальної прямокутної діафрагми. Кути діафрагми з'єднуються із кутами нижнього поясу (прямокутної сітки) структурної плити. Тяжі мають тапрепи, за допомогою яких можна створити штучне попереднє натягіння в стержнях до 80-100 кН.

Числовий експеримент для конструкції за рис.1,2 дозволяє порівняти зусилля в плиті без застосування способу регулювання зусиль та із використанням такого способу.

Жаріков Е.С., Волошко Т.П. РОЛЬ АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ.....	72
Жогло Д.О., Бородай А.С. ДО АНАЛІЗУ ПРОБЛЕМИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ПАМ'ЯТОК КУЛЬТУРНОЇ СПАДЩИНИ В СУМСЬКІЙ ОБЛАСТІ В УМОВАХ ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ.....	73
Забуга О.О., Срібняк Н.М. КЛАСИФІКАЦІЯ УКРИТТІВ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ	74
Заворотько Є.О., Бородай Д.С. ФАКТОРИ І ПРИНЦИПИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ПРОЄКТУВАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ.....	75
Загорулько І.Ю., Циганенко Л.А., Циганенко Г.М. ВРАХУВАННЯ ПРОГРЕСУЮЧОГО РУЙНУВАННЯ НА КАРКАС БУДІВЛІ НА ПРИКЛАДІ ТОРГОВО-ОФІСНОГО ЦЕНТРУ У М. ПОЛТАВА	76
Іваній А. В. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ РОБОТИ КОНСТРУКТИВНИХ СИСТЕМ ПОКРИТТЯ ПРИ ЗМІНІ НАВАНТАЖЕННЯ ДЛЯ МОНТАЖУ СЕС.....	77
Кизим К.Р., Бородай Д.С. КРИТЕРІЇ ДЛЯ СТВОРЕННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ДЛЯ ВІДПОЧИНКУ У КАРПАТАХ.....	78
Клименко В.О., Бородай Д.С. АНАЛІЗ МЕРЕЖІ ГОТЕЛІВ В СТРУКТУРІ МІСТА СУМИ	79
Кравченко А.В., Савченко О.С., Савченко Л.Г. ВИЗНАЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ОПОРНИХ ЗГИНАЛЬНИХ МОМЕНТІВ В ЗАЦЕМЛЕНИХ БАГАТОПУСТОТНИХ ПЛИТАХ ПЕРЕКРИТТЯ БЕЗОПАЛУБОЧНОГО ФОРМУВАННЯ ВІД ЖОРСТКОСТІ ОСНОВИ.....	80
Кручик А.М., Андрух С.Л. ГІДРОІЗОЛЯЦІЯ СТАРОЇ ЗАБУДОВИ.....	81
Кулик В.Ю., Срібняк Н.М., Галушка С.А. МЕТОД РЕГУЛЯЦІЇ ЗУСИЛЬ В СТРУКТУРНІЙ ПЛИТІ.....	82
Кучерявенко С.В., Андрух С.Л. ЗАСТОСУВАННЯ СУЧАСНИХ ПОЛІКАРБОНАТНИХ СИСТЕМ В БУДІВНИЦТВІ	83
Лампак В.М., Рудіченко О.І., Роговий С.І. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК КОМПОЗИТНИХ МАТЕРІАЛІВ	84
Левицький А.О., Новицький О.П. СУМІСНА РОБОТА ТРУБОБЕТОННИХ КОЛОН ІЗ СТАЛЕВИМ ПЕРЕКРИТТЯМ	85
Левікова А.І., Бородай Д.С. ОСОБЛИВОСТІ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО ВИРІШЕННЯ ДИТЯЧИХ САДКІВ	86
Левікова А.І., Бородай Я.О. ОСОБЛИВОСТІ ТА ПРИЙОМИ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОГО ВИРІШЕННЯ БУДІВЕЛЬ ДИТЯЧИХ САДКІВ.....	87
Лимаренко Р., Сохошко В., Циганенко Л.А., Циганенко Г.М. ПИТАННЯ ЗАХИСНИХ УКРИТТІВ	88
Лихіцький Ю.В., Горлач Т.Л. УМОВИ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖІВ	89
Лихіцький Ю.В., Горлач Т.Л. ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ВЛАСТИВОСТІ ЗЕРНА ЯК ВАНТАЖУ, ЩО ПЕРЕВОЗИТЬСЯ.....	90
Лобанов В.В., Бородай А.С. ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СУЧАСНИХ ЖИТЛОВИХ КОМПЛЕКСІВ В УМОВАХ СЬОГОДЕННЯ	91
Лободін В.М., Новицький О.П. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАКРІПЛЕННЯ ОСНОВ ПРИ ЗВЕДЕННІ БУДІВЕЛЬ БІЛЯ РІЧОК.	92
Лузан Є.А., Бородай А.С. ПРОБЛЕМИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПРОЄКТУВАННЯ ЗАКЛАДІВ ДЛЯ ВІДПОЧИНКУ І ОЗДОРОВЛЕННЯ В УКРАЇНІ.....	93
Макаренко В., Циганенко Л.А. ФОРМОУТВОРЕННЯ СТРУКТУРНИХ ГРАТОК.....	94
Макаров Ю.Ю., Сирота М.М., Срібняк Н.М. НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН ЦИЛІНДРИЧНОЇ ОБОЛОНКИ В ЗАЛЕЖНОСТІ СТРИЛИ ПІДЙОМУ"	95
Мельниченко Ю.М., Саржанов О.А. ЗЕРНОВА КРИЗА ТА НАВІГАЦІЯ: ВИКЛИКИ ДЛЯ ГЛОБАЛЬНОЇ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ.....	96
Митрофанов В.В., Срібняк Н.М. ВРАХУВАННЯ ФІЗИЧНОЇ НЕЛІНІЙНОСТІ ПРИ РОЗРАХУНКУ ПЛОСКОЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ РАМИ З ВИКОРИСТАННЯМ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО КОМПЛЕКСУ ПК ЛИРА.....	97
Мірошник М.О., Бородай А.С. СИМВОЛІЗМ АРХІТЕКТУРИ СОБОРУ ПАРИЗЬКОЇ БОГОМАТЕРІ.....	98
Надеїна О.В., Срібняк Н.М., Галушка С.А. ВПЛИВ ТРИЩИНОУТВОРЕННЯ НА ПЕРЕРОЗПОДІЛ ЗУСИЛЬ В ПЕРЕКРИТТЯХ.....	99
Надтачєєв О.М., Новицький О.П. ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОРІВНЯННЯ МАТЕРІАЛІВ ТА МЕТОДІВ НАЙШВИДШИХ ВАРИАНТІВ УТЕПЛЕННЯ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ З УРАХУВАННЯМ ЯКОСТІ ВИКОНАННЯ РОБІТ	100
Нежинський Д.П., Новицький О.П. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ПРИДАТНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ЗОВНІШНЬОГО УТЕПЛЕННЯ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ В ПОРІВНЯННІ З ВНУТРІШНІМ УТЕПЛЕННЯМ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	101
Нежинський Д.П., Новицький О.П. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЕКОЛОГІЧНОЇ ПРИДАТНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ НАБРИЗНОГО УТЕПЛЮВАЧА ПІНОПОЛІУРЕТАНУ НА ВІДМІНУ ВІД МІНЕРАЛЬНОЇ ВАТИ В СИСТЕМАХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	102
Петрова С.М., Бородай Д.С. ОСНОВНІ ЕТАПИ ПРОЄКТУВАННЯ ТА ФОРМУВАННЯ ВНУТРІШНЬОГО ПРОСТОРУ ВЕТЕРИНАРНИХ КЛІНІК.....	103



**РОБОТА СТРУКТУРНОЇ ПЛИТИ
В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД
ГРАНИЧНИХ УМОВ**

- Здобувач – Кулик В.Ю.
- Керівник – Срібняк Н.М.

Суми-2024

- **МЕТОЮ РОБОТИ** є виявлення впливу попереднього напруження плити на розподіл зусиль в її елементах.

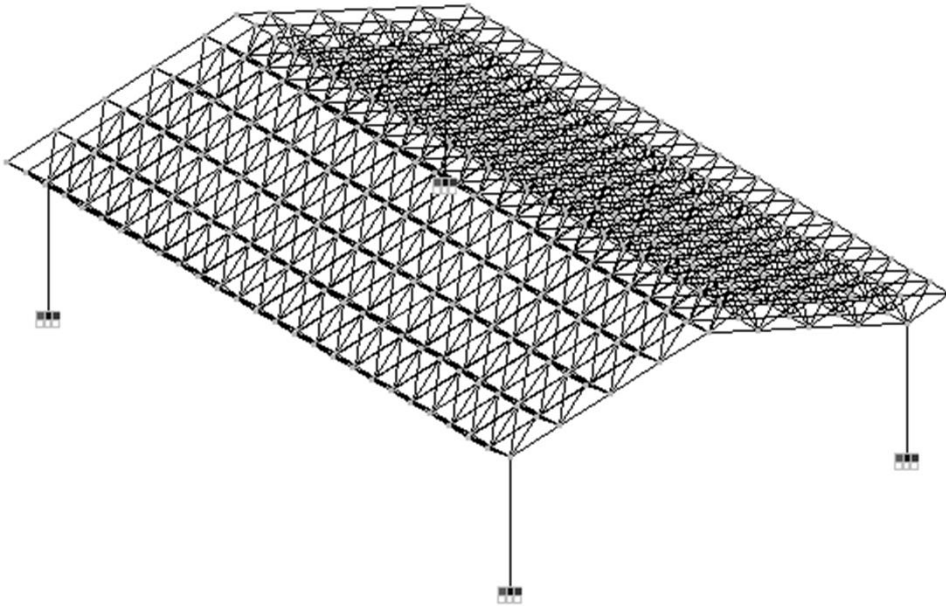
ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ:

- 1) сформулювати чинники, що впливають на перерозподіл та зміну зусиль в стержнях конструкції;
- 2) прийняти створення попередньо напружених стержнів як фактор регуляції зусиль в стержнях плити
- 3) створення за допомоги методу скінчених елементів на основі ПК ЛІРА-САПР двох скінченоелементних моделей структурної плити, що мають відмінність лише за одним параметром – відсутністю чи наявністю попереднього напруження.
- 4) призначити в першому наближенні параметри жорсткості для конструктивних груп стрижньових елементів двох варіантів плити. Вони приймаються однаковими.

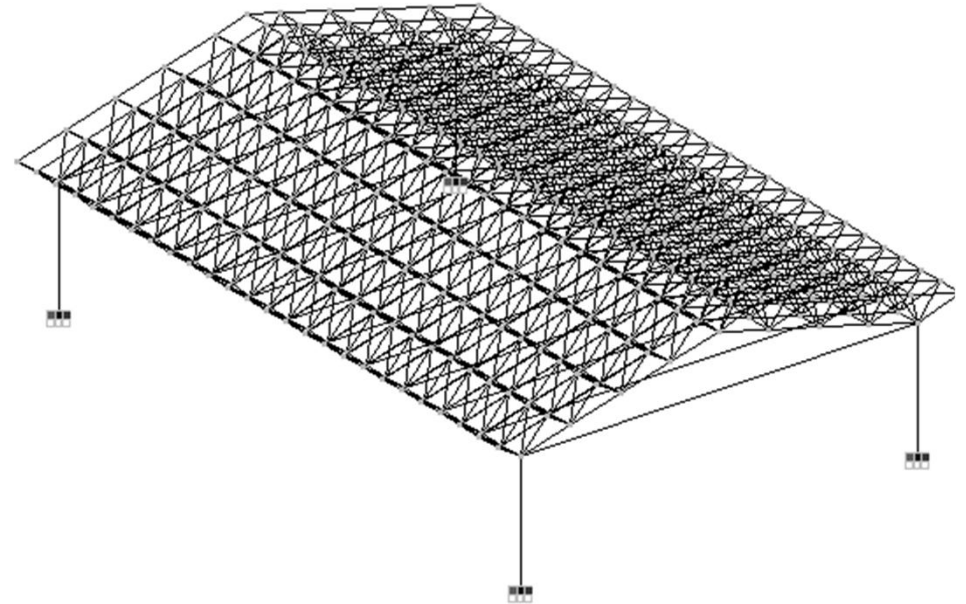
ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ:

- 5) провести статичний розрахунок, застосувавши жорсткості першого типу обох розрахункових моделей плити;
- 6) на основі даних статичного аналізу в постпроцесорі «Металеві конструкції» прийняти нові скориговані жорсткості (розміри перерізу) стержневих елементів плити;
- 7) визначити згідно нових призначених профілів трубчатих перерізів стрижньових елементів схем плит вагу кожної моделі плити.. Обрати модель, що характеризується найменшою матеріалоемністю;
- 8) сформулювати висновки та можливості подальших досліджень

ОБ'ЄКТ ДОСЛІДЖЕННЯ – двоскатна структурна плита покриття з розмірами в плані 27,0х37,5 м, що відрізняється наявністю або відсутністю попереднього напруження, що виступає в якості регулятора зусиль..



**Модель 1- без
попереднього напруження**



**Модель 2 – затяжки
створюють попередній
натяг**

Предметом дослідження є напружено-деформований стан моделей, що досліджуються, їх конструктивне рішення та матеріалоемність.

Практичне значення отриманих результатів

Результати числового експерименту надають можливість обрати з прийнятих варіантів структурної плити найбільш ефективний з точки зору матеріалоемності варіанту.

Апробація та публікація результатів роботи

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

АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМИ

- *Структурними плитами* називають просторові стержневі конструкції, з мультиплікацією фігури певної форми, так званого кристала. Плити застосовуються для перекриття пролетів у громадських і промислових будівлях: виставкових павільйонах, аеропортах, музеях, ринках, гаражах, складах і т.д. і вони характеризуються такими достоїнствами, як висока архітектурна виразність і візуальна пластичність. Порівняно з конструкціями, просторові структурні плити володіють певними перевагами - більш рівномірне, порівняно з традиційними конструкціями, розподіл напруги від сосредоточених навантажень, що приводить до більш повного використання несущих можливостей елементів конструкції та до більш ефективного використання матеріалу;

20XX

PRÄSENTATIONSTITEL

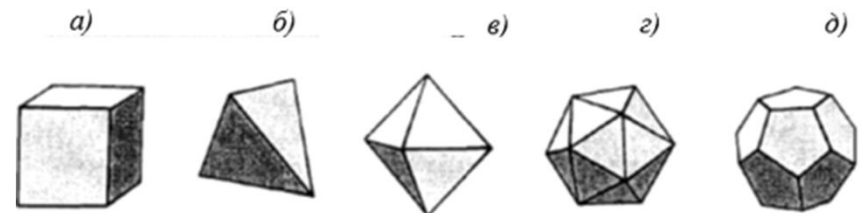
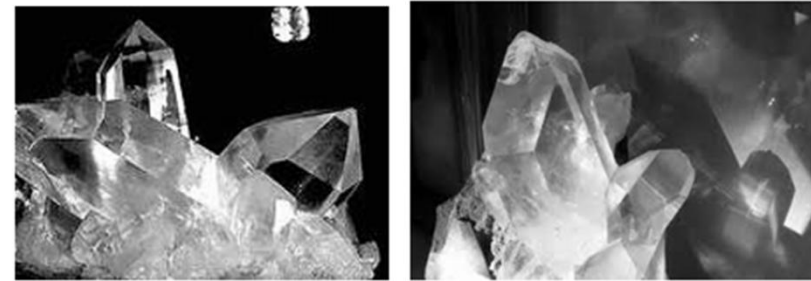


Рис. 1.1 Платонові багатогранники: тетраедр-а; куб або гексаедр-б, октаедр-в, додекаедр-г та ікосаедр-е [1]

Гранями таких багатогранників є плоскі правильні багатокутники. **Таких багатогранників можна виділити лише п'ять.**

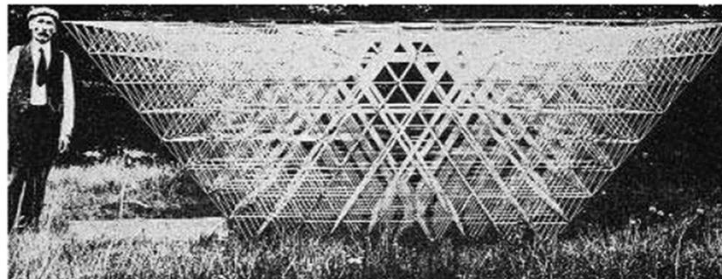
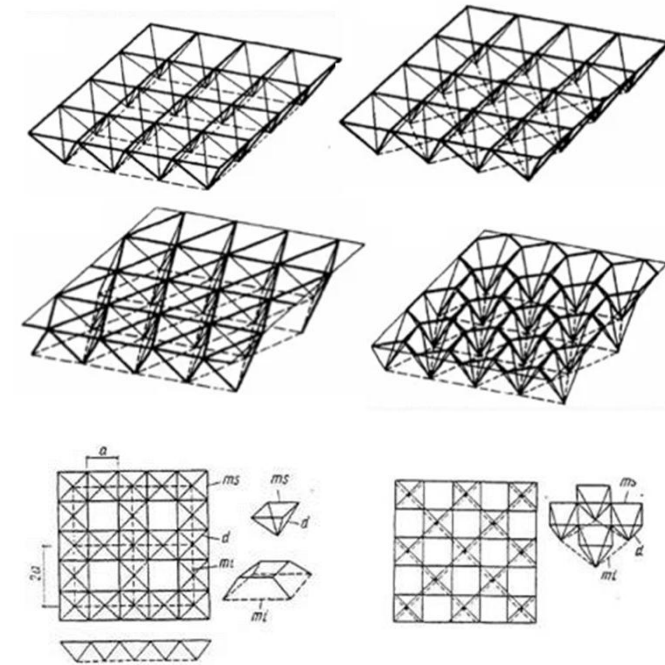
Будь-які з них, або комбінації їх в просторі можуть бути базою або, інакше кажучи, **формуєтворюючим елементом** для структурної конструкції.

Для утворення структурної плити такий базовий елемент мультиплікується вздовж осей X, Y необхідну кількість разів..

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 більш ефективної конструктивної схеми конструкції за критерієм відсутності та наявності попереднього напруження є актуальною пошуковою задачею.



Експериментальна конструкція просторової сітки, розробл...

Олександром Гремом Беллом на початку 20 ст.

МЕТОД РЕГУЛЮВАННЯ ЗУСИЛЬ ЗА ДОПОМОГОЮ ЗАТЯЖОК

Регулювання зусиль в елементах конструкції виконується з метою їх «вирівнювання», що дозволяє значним чином зменшити кількість типів стержнів та покращити показники ваги конструкції загалом.

Регулювання виконується шляхом створенням взаємно врівноважених всередині конструкції осьових зусиль, що у найбільш напружених стержнях обернені за знаком зусиллям від експлуатаційного навантаження, а менш напружених - можуть збігатися за знаком з зусиллями від експлуатаційного навантаження.

З-поміж ряду факторів, які можна назвати «регуляторами» зусиль в стержнях, слід виділити метод регулювання зусиль за допомогою затяжок

Для структурних плит, що мають в плані обрис квадрату, затяжки рекомендовано розташовувати хрестоподібно. Для плит, що мають прямокутну конфігурацію, та обперті в кутах, рекомендовано локалізація декількох паралельних затяжок вздовж великого прольоту плити.

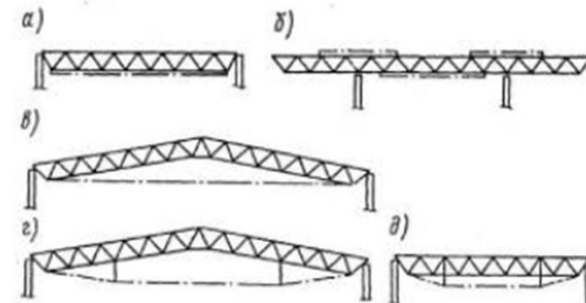


Рис. Схеми регулювання зусиль за допомогою затягувань а, б - осі затяжок, що напружують, і поясних стержнів, що збігаються

За допомоги кожної із затяжок одночасно напружуються декілька стержнів, що розташовані один за одним. При такому методі напруження регулювання осьових зусиль досягається переважно в розтягнутих поясах.

Об'ємно-планувальне рішення загальноосвітньої школи на 550 учнів в м.Суми

Рис. План будівлі на відм. 0,000

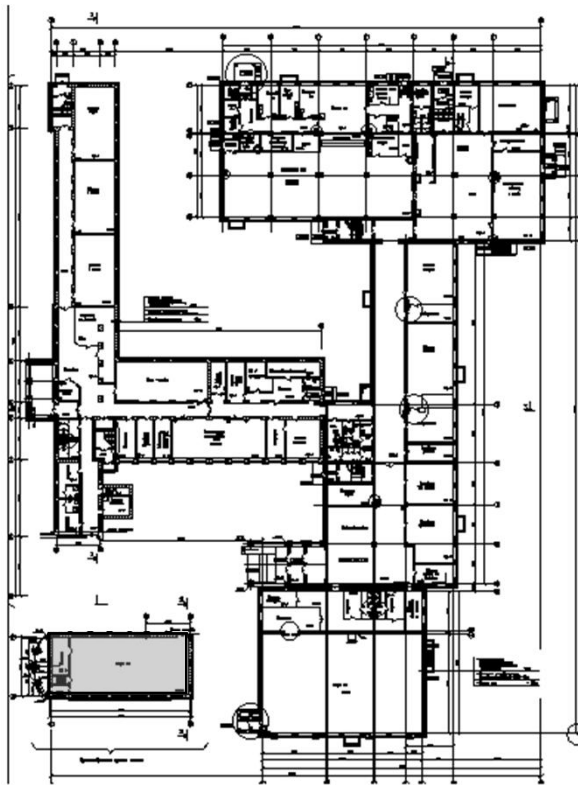


Рис. План спортивної зали на відм. 0,000

в осях А-Д та 9-В

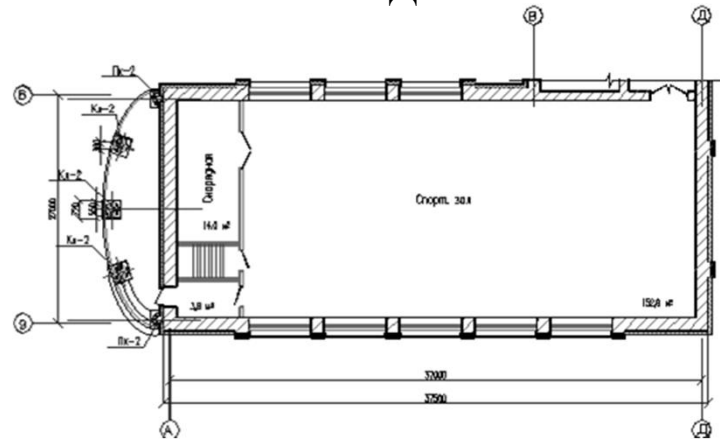


Рис. Розріз 2-2

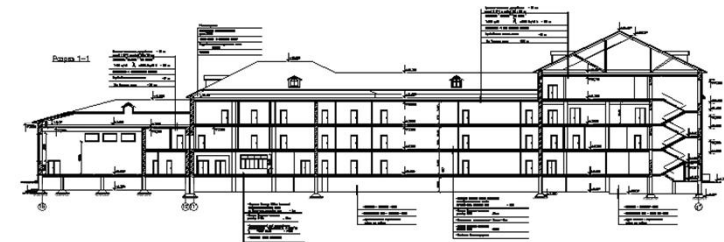
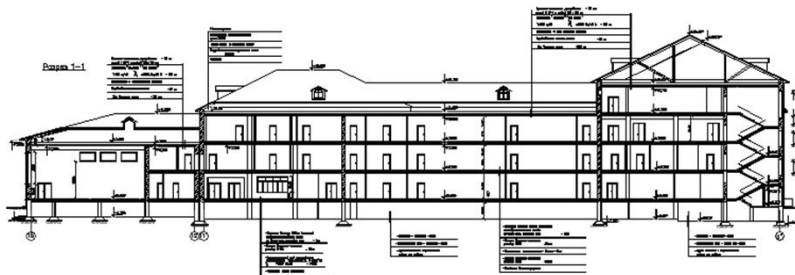


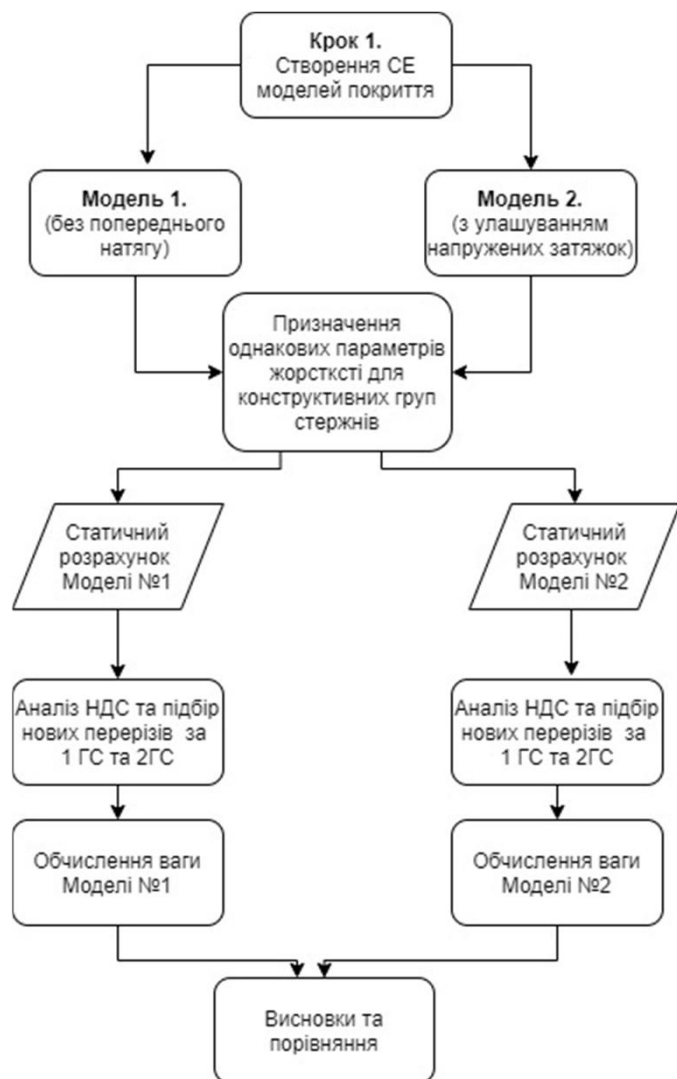
Рис. Розріз 1-1



МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1) *метод збирання та аналізування даних* – оцінювання інформації щодо стержневих схем структур, з'єднань їх вузлів; ознайомлення з рекомендаціями щодо призначення оптимальних параметрів розрахунку, аналіз способів що є регуляторами зусиль в стержневих елементах структури, вивчення інших можливих параметрів, що впливають на зміни та характер перерозподілу зусиль в стержнях;
- 2) *метод скінчених елементів* – математичний метод, що використовується для створення розрахункових моделей в тому числі й будівельних конструкцій в ПК Ліра-САПР. Метод й застосовується для визначення напружено-деформованого стану моделей структурних плит, прийнятих до розрахунку;
- 3) *метод конструювання сталевих елементів в постпроцесорі «Метал»* ПК ЛІРА-САПР за нормами ДБН «Сталеві конструкції», оцінювання відсотку використання площі перерізу стержнів за 1ГС та 2ГМ норм ДБН «Сталеві конструкції»;
- 4) *аналітичний метод опрацювання даних* розрахунків із застосуванням ПК Microsoft Excel.

АЛГОРИТМ ПРОВЕДЕННЯ ЧИСЛОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ В ПК ЛІРА-САПР



- В межах проведення числового експерименту планується здійснити такі етапи:
 - За допомогою ПК Ліра-САПР змодельовати дві схеми структурної плити покриття з двома похилими скатами. Кута нахилу площини становить 15°. Розмір конструкції в плані 27,0x37,5 м. Одна модель запроєктована без затяжок по нижньому поясу, інша – із затяжками у вигляді попередньо напружених та паралельно розташованих канатів по нижньому поясу;
 - В розрахункових моделях виокремлено чотири конструктивних групи стержнів: стержні верхнього поясу, стержні нижнього поясу, елементи решітки, колони;
 - На першому етапі розрахунку конструктивним групам елементів призначено перетини профілю із тру;
 - Виконується статичний розрахунок для обох моделей структурних плит;
 - За результатами статичного розрахунку та використовуючи постпроцесор «Металеві конструкції» ПК Ліра-САПР 2024 за умовами міцності та деформативності (умовами 1 ГС та 2ГС) підбираються в автоматизованому режимі нові параметри трубчатих перерізів для усіх конструктивних груп стержнів плитної конструкції;
 - Виконується другий ітераційний статичний розрахунок для двох моделей структурної плити із новими параметрами перетинів стержнів та оцінюється відсоток використання нових перерізів стержнів за I та II групами граничних станів;
 - Обчислюється вага кожної схеми плити за результатами конструювання після 1-го ітераційного розрахунку.
 - Визначається я найбільш ефективного рішення плити з-поміж двох її варіантів, які досліджувалися.

Рис. Скінченоелементна модель структурної плити

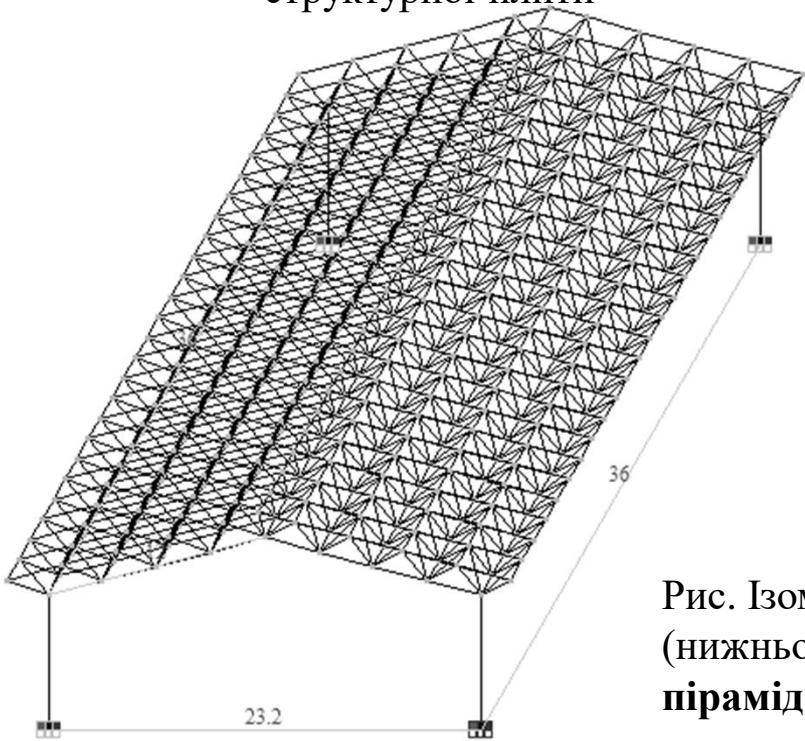


Рис. 3D модель розрахункової схеми

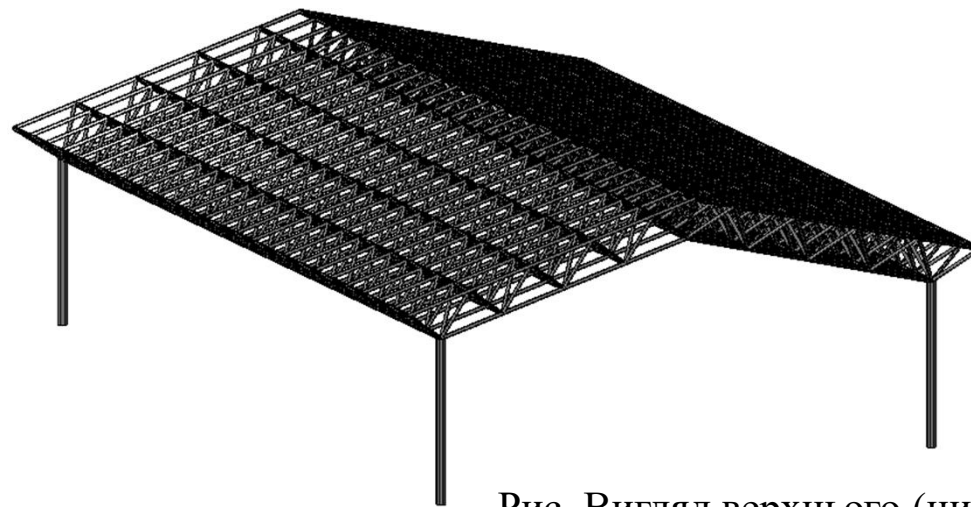


Рис. Видяг верхнього (нижнього) поясу в площині XOY

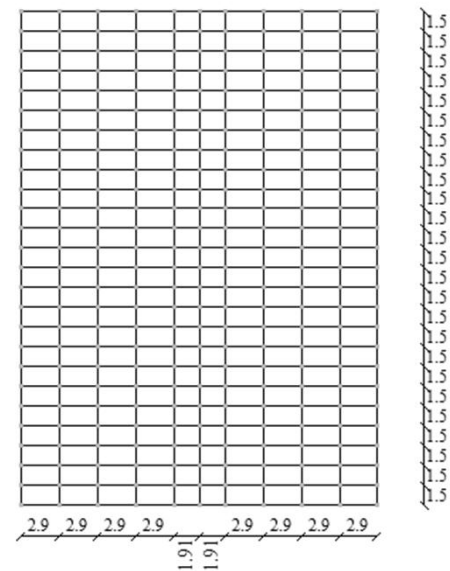


Рис. Ізометричний вигляд верхнього (нижнього) поясу структурної плити-піраміда з прямокутною основою 1,5x3,0 м

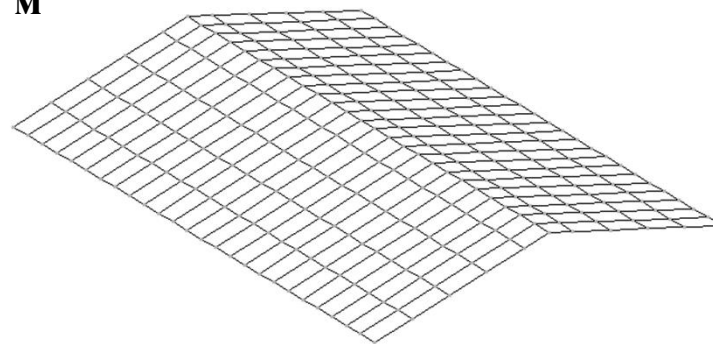
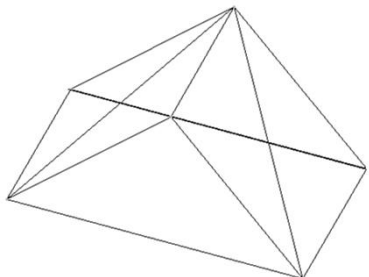
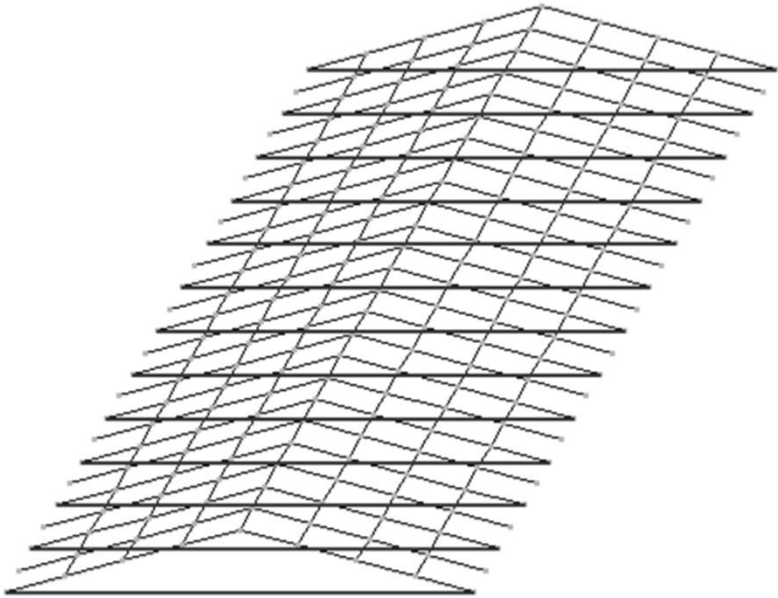


Рис. Базовий елемент, що формоутворює структуру

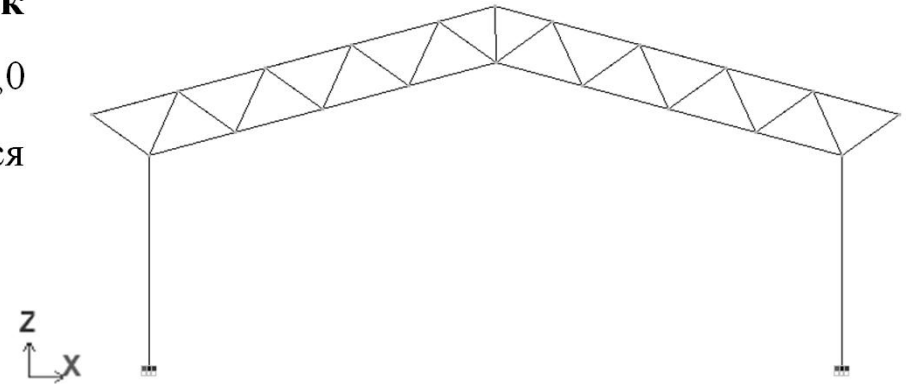


Для створення попереднього натягу в структурній плити прийнято **систему паралельно розташованих затяжок (канатів)**, що влаштовані по нижньому поясу з кроком в 3,0 м. За допомогою фаркопфі в цих стержнях створюється попередній натяг до зусилля приблизно 80-90 кН.

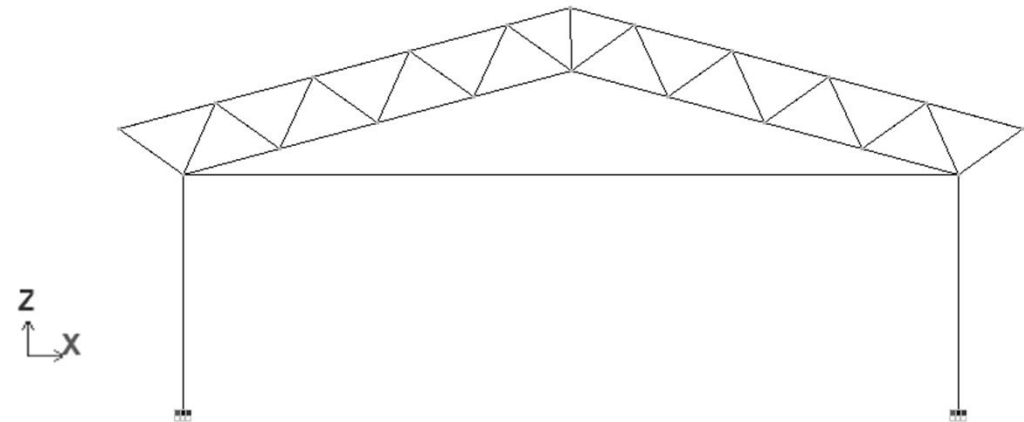
Рис. Розташування затяжки по нижньому поясу стержнів структурної плити



**Рис. Моделі плити в площині XOZ:
модель №1 без затяжки**



**Рис. Модель плити в площині XOZ:
модель №2 із затяжкою**



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

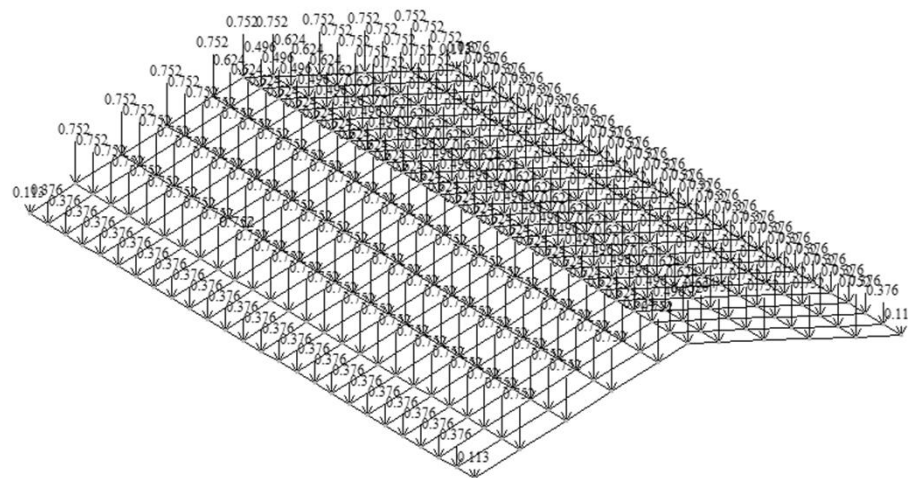
Назва елемента	Поперечний переріз, см	E, т/м ²	R, т/м ³	μ	Сталь С235	q, т/м
1. Стержні верхнього поясу	Труба 180x20	2,1·10 ⁷	7,85	0,3	С235	0,046
2. Стержні нижнього поясу	Труба 180x20 (ГОСТ 8732 - 78*)	2,1·10 ⁷	7,85	0,3	С235	0,046
3. Елемент и решітки	Труба 152x30 (ГОСТ 8732 - 78*)	2,1·10 ⁷	7,85	0,3	С235	0,0092
4. Колони	Труба 146x5	2,1·10 ⁷	7,85	0,3	С235	0,0519
5. Затяжки (схема №2)	Канат 8,6 (ТК конструкції 1x19(1+6+12) Профілі відповідають нормам: ГОСТ 3063-80)	1,703·10 ⁷	7,85	0,3		0,00037

Для автоматизованого підбору перерізів надалі стержням було призначено параметри конструювання – спосіб підбору елементів за методикою РСН та нормами проектування – ДБН «Сталеві конструкції».

Прийнято три види завантаження:

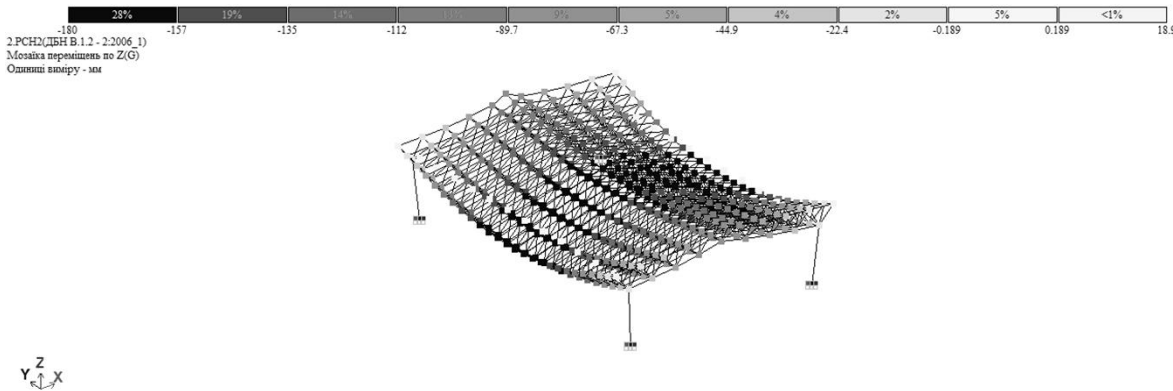
- *Завантаження 1* (тип-постійне, власна вага плити),
- *Завантаження 2* (постійне, це власна вага покрівельних конструктивних шарів);
- *Завантаження 3* (тимчасове, навантаження від снігу)

Рис. Навантаження від снігу на вузли верхнього поясу

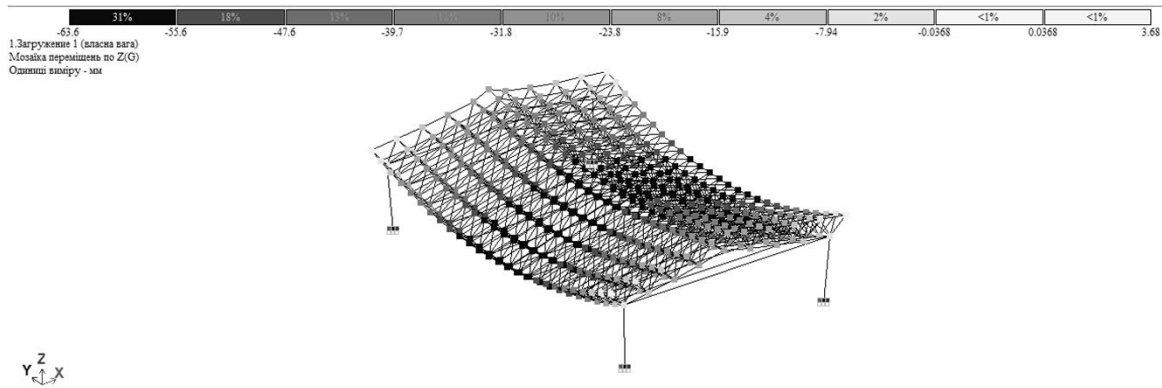


АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ СТАТИЧНОГО РОЗРАХУНКУ

Мозаїка переміщень вузлів по осі Z та деформована схема №2 від РСН2



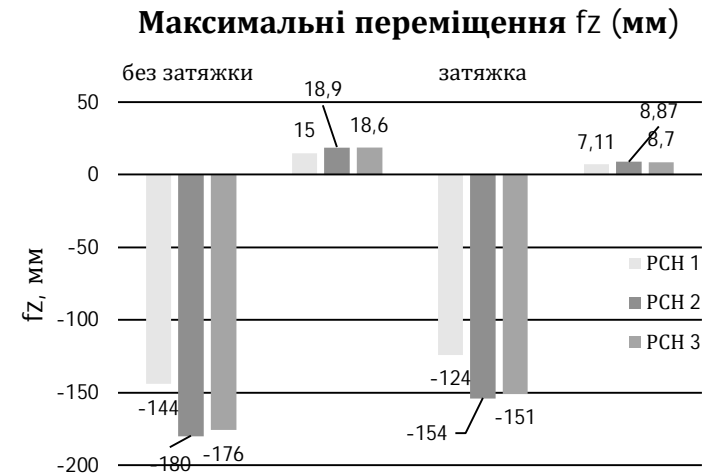
Мозаїка переміщень вузлів по осі Z та деформована схема №2 від РСН2



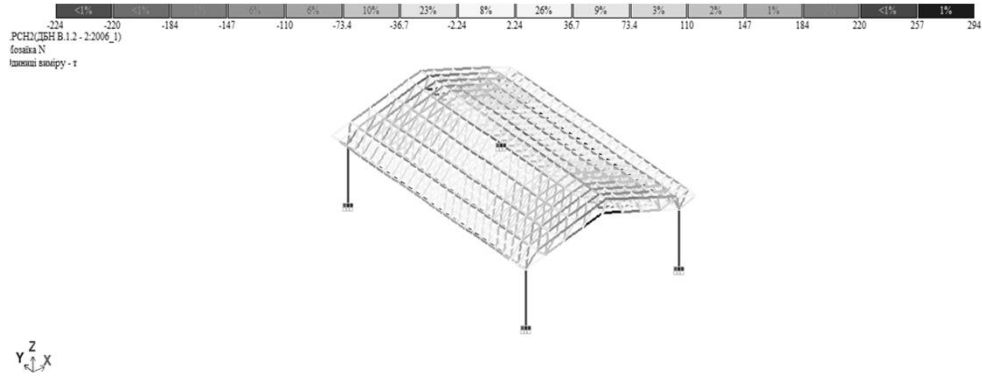
Таблиця. Максимальні переміщення f_z вузлів скінченоелементної схеми від РСН2

Переміщення	Схема №1		Схема №2	
ня	-144	15	-124	7,1
f_z , [мм]	-180	18,9	-154	8,87
	-176	18,6	-151	8,7

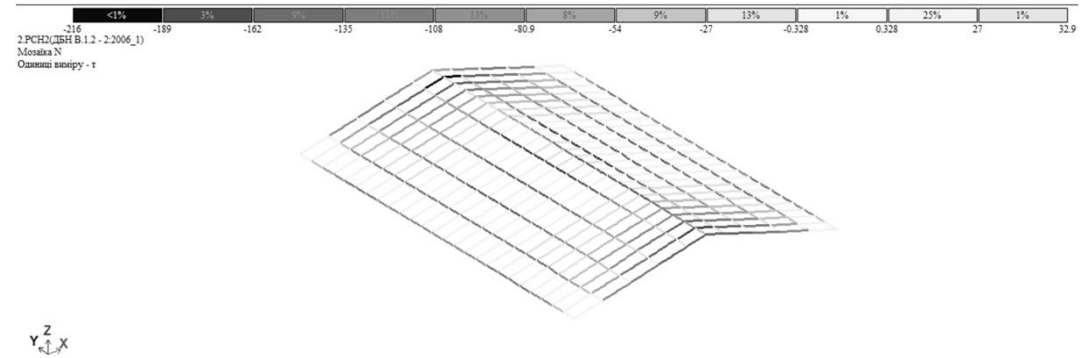
Рис. Максимальні переміщення вузлів f_z в скінченоелементних схемах структурної плити від РСН2



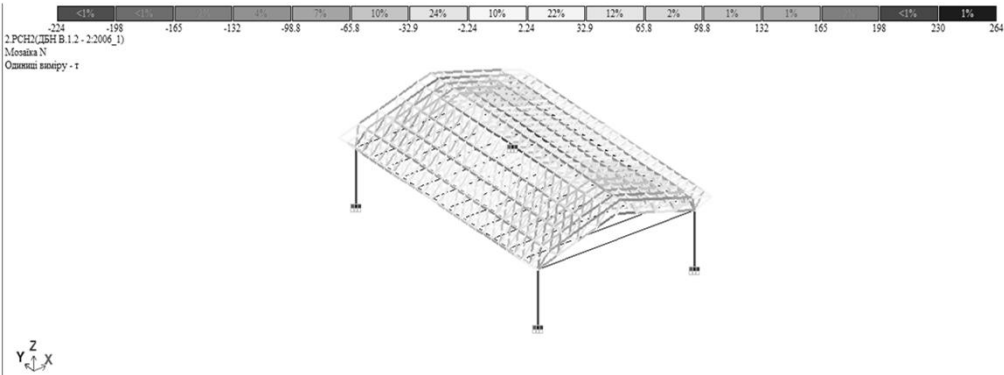
Мозаїка зусиль у стержнях від РСН2 для моделі №1



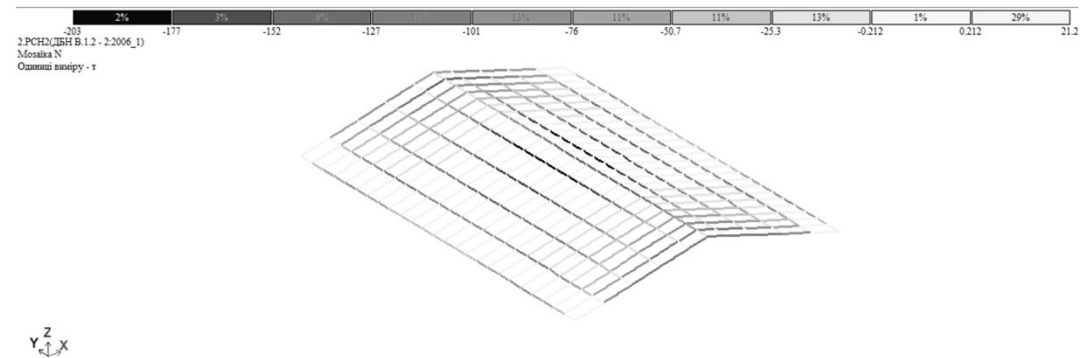
Мозаїка зусилля N в елементах верхнього поясу для моделі №1



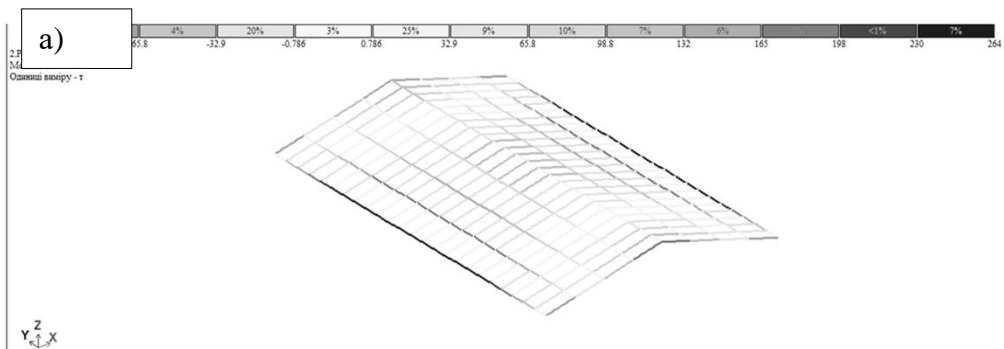
Мозаїка зусиль у стержнях від РСН2 для моделі №2



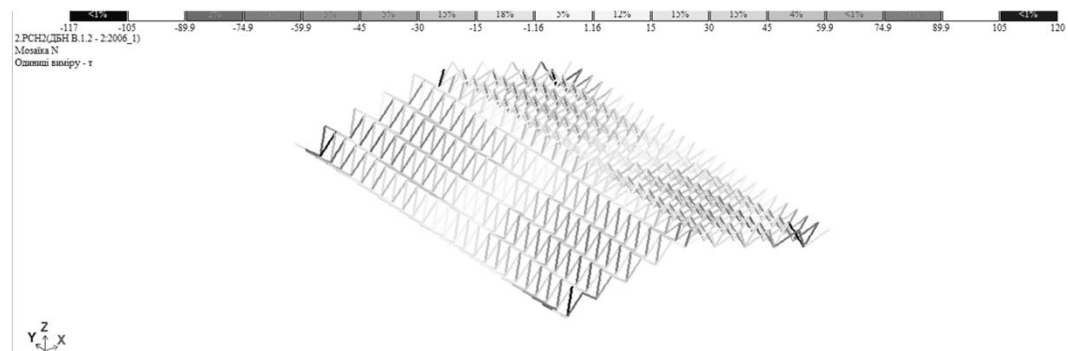
Мозаїка зусилля N в елементах верхнього поясу для моделі №2



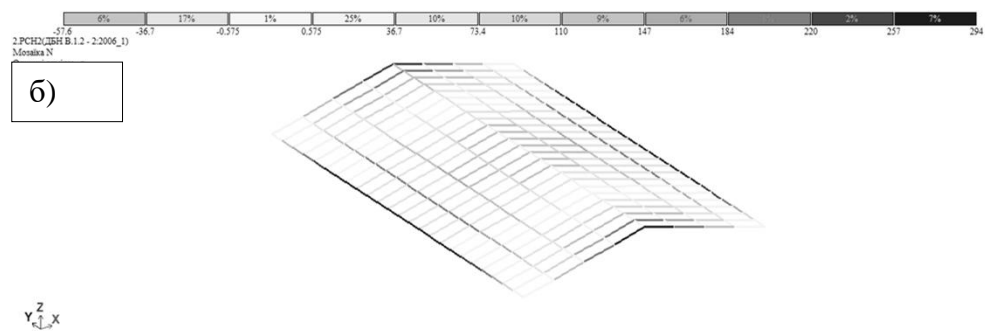
Мозаїка зусилля N в елементах нижнього поясу для моделі №1



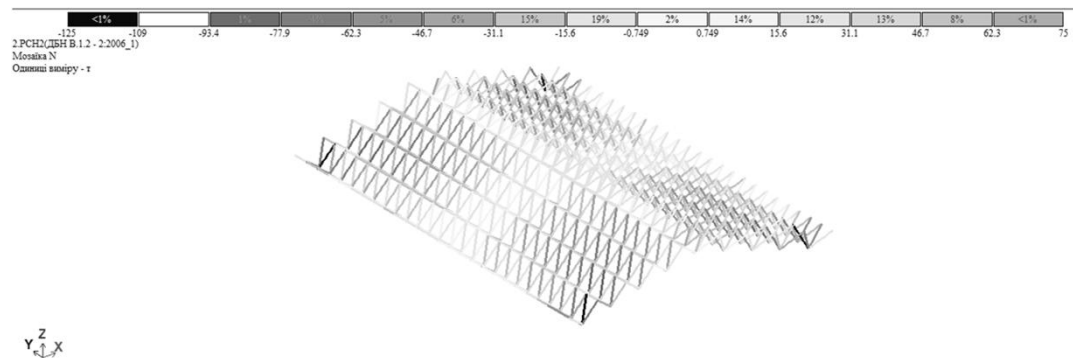
Мозаїка зусилля N в елементах решітки для моделі №1



Мозаїка зусилля N в елементах нижнього поясу для моделі №2



Мозаїка зусилля N в елементах решітки для моделі №2



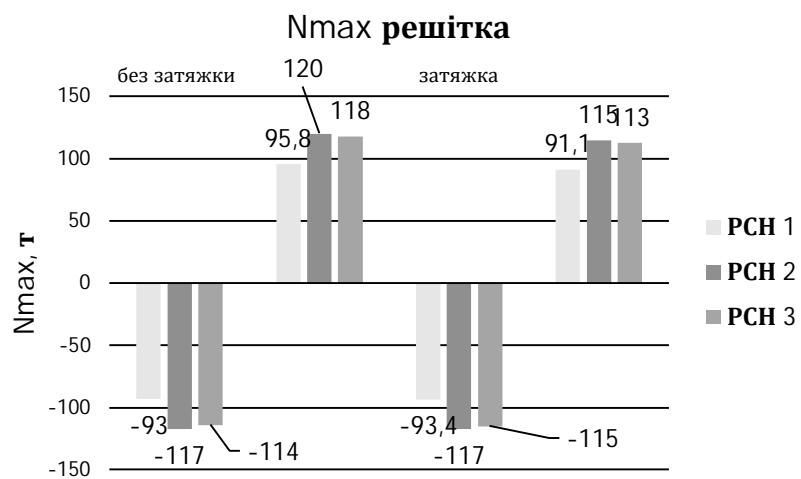
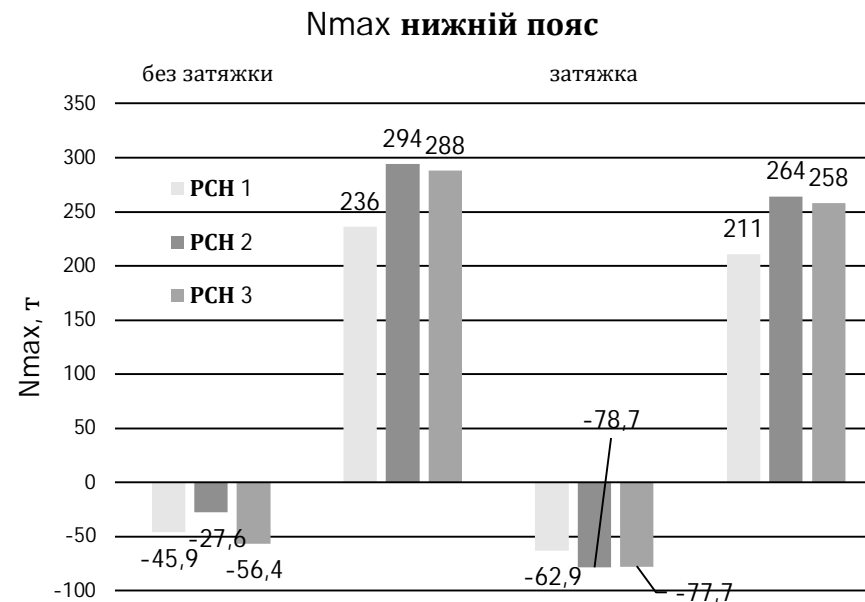
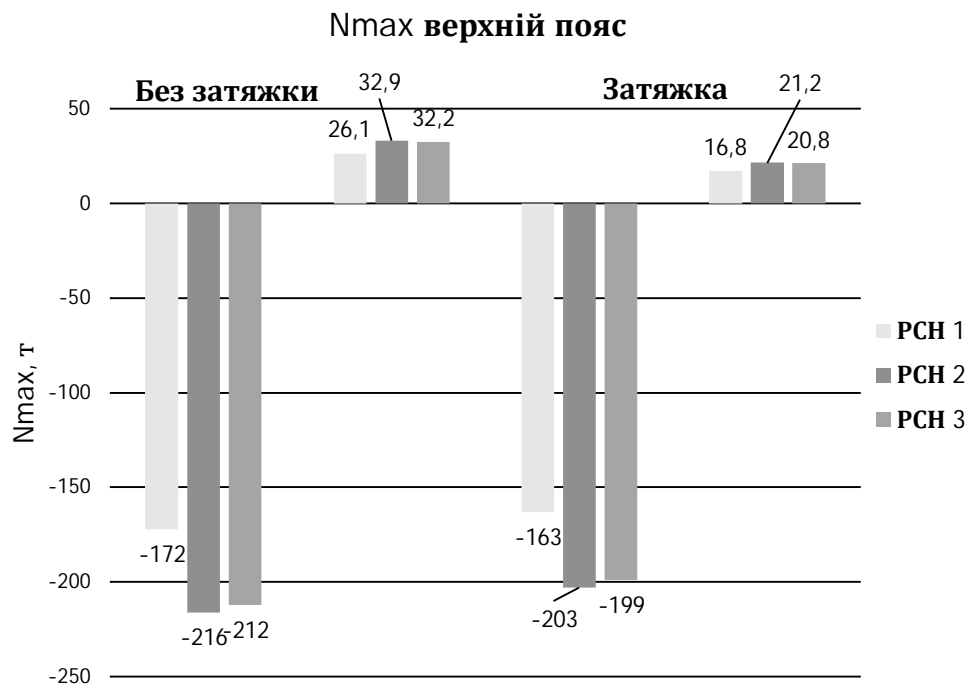
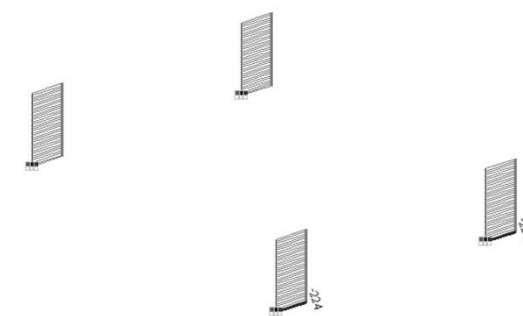


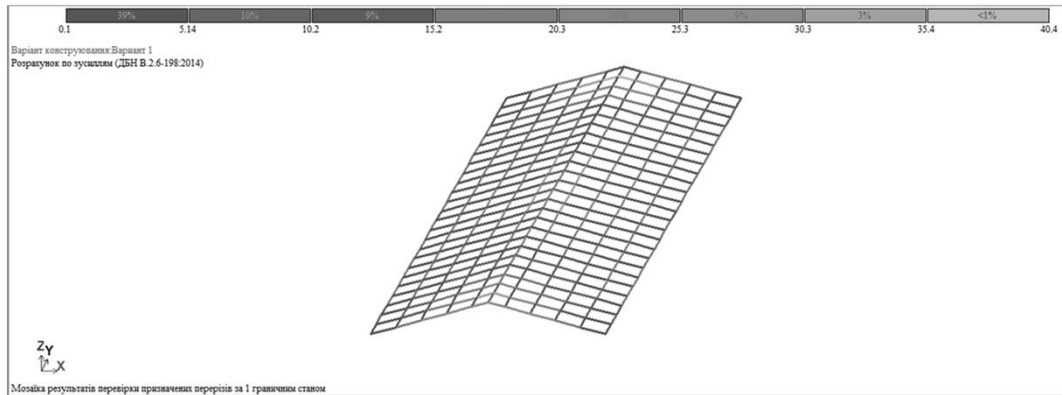
Рис. Елюри зусиль стиску N в колонах від РСН 2 для обох схем (Nmax=224 т)

2 РСН(ДБН В.1.2 - 2:2006_1)
Елегра N
Оптимізація елюри - т

Мінімальне значення -224.11;



Мозаїка результатів розрахунку за 1ГС металевих елементів з поперечним перерізами, що призначені у вихідних даних, % несучої здатності (верхній пояс, схема №1)



Мозаїка результатів розрахунку за 1ГС металевих елементів з поперечним перерізами, що призначені у вихідних даних, % несучої здатності (нижній пояс, схема №1)

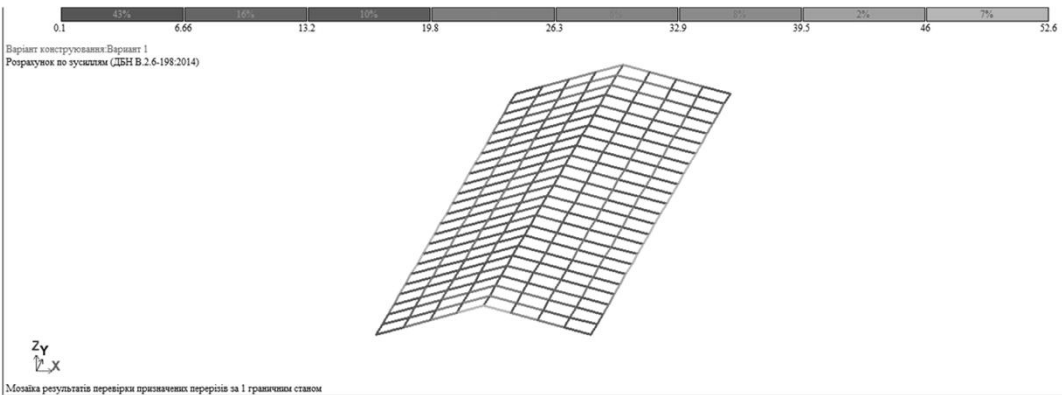
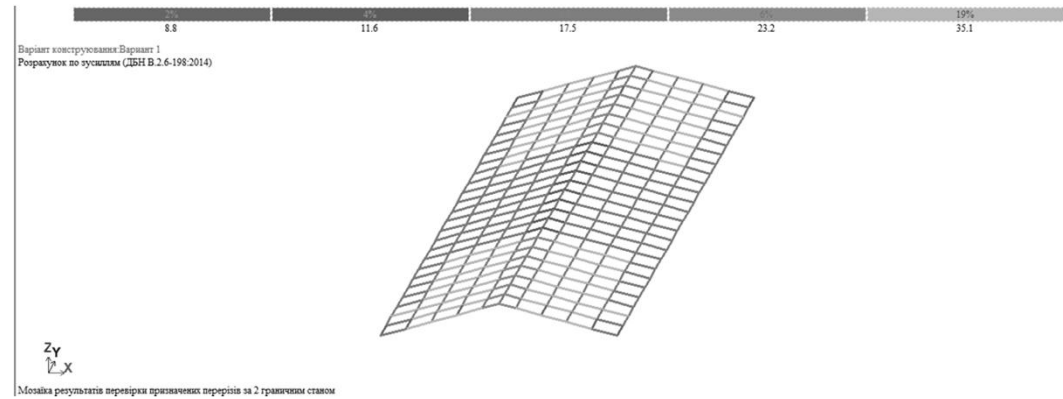
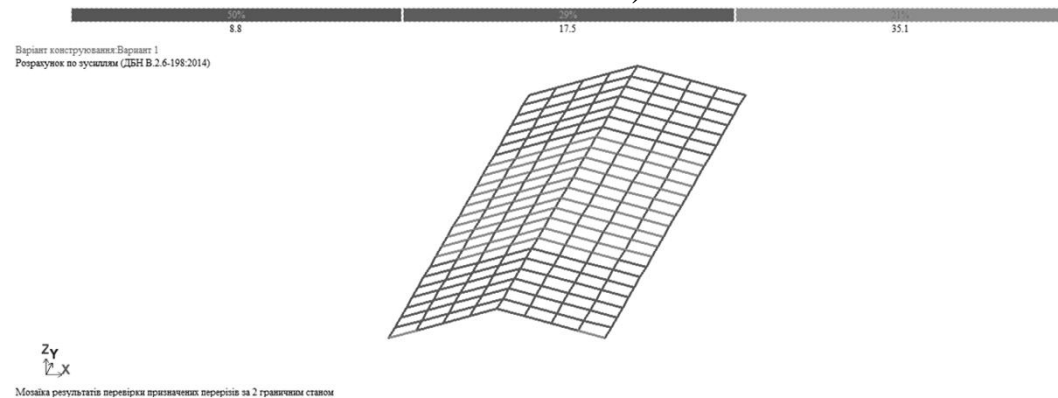


Рис. Мозаїка результатів розрахунку за 2ГС металевих елементів з поперечним перерізами, що призначені у вихідних даних, % несучої здатності (верхній пояс, схема №1)



Мозаїка результатів розрахунку за 2ГС металевих елементів з поперечним перерізами, що призначені у вихідних даних, % несучої здатності (нижній пояс, схема №1)

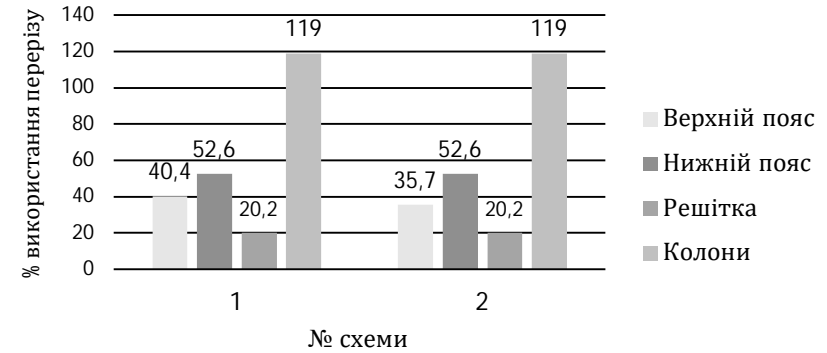


Таблиця . Максимальне використання, (%)перерізу після 1-ї ітерації

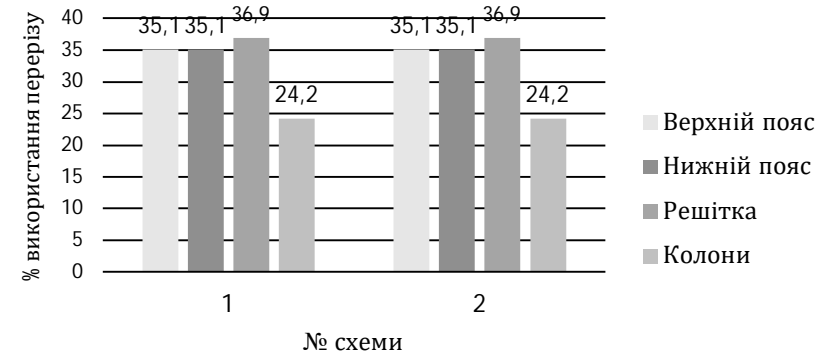
Назва конструктивн ої групи стержнів	1 ГС		2 ГС	
	Схема	Схема	Схема	Схема
	№1	№2	№1	№2
Верхній пояс	40,4	35,7	35,1	35,1
Нижній пояс	52,6	52,6	35,1	35,1
Решітка	20,2	20,2	36,9	36,9
Колони	119	119	24,2	24,2

Ітераційний розрахунок №1 показав, що попередньо прийняті профілі стержньових елементів структурної плити використовуються **не в повній мірі**.

Максимальне використання, (%)перерізу після 1-ї ітерації за 1ГС



Максимальне використання, (%)перерізу після 1-ї ітерації за 2ГС



- Діапазон зусиль для кожної групи елементів структурної плити (верхній пояс, нижній пояс, елементи решітки) було розділено на дві групи- від «0» до «середнього значення» в діапазоні зусиль (шкалі зусиль), та від «середнього значення зусилля» до «максимального значення». Для цих двох груп за результатами підбору перерізів прийнято максимальні профілі для прийнятих груп зусиль.

Таблиця 1. Підбір 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	ТБ 203x6,5	0,031486	264	8,31
	2	C235	ТБ 152x4,5	0,016362	950,5	15,55
2	1	C235	ТБ 180x5	0,02157	264	5,69
	2	C235	ТБ 140x4,5	0,015031	951	14,29

Таблиця 2. Підбір 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	1	C235	ТБ 219x8	0,041612	138	5,74
	2	C235	ТБ 168x5	0,016362	786	12,86
2	1	C235	ТБ 194x5,5	0,025557	138	3,53
	2	C235	ТБ 152x4,5	0,016362	786	12,86
	затяжка	C235	Канат 8,6	0,000373	301,3686	0,11

Таблиця 3. Підбір елементів решітки після ітераційного розрахунку №1

№ схеми	№ типу перерізу	Сталь	Профіль труби	Вага 1м,п, профілю, т	Довжина стержнів в поясу, м	Вага, т
1	1	C235	ТБ 159x4,5	0,017139	196,96	3,38
	2	C235	ТБ 108x4	0,010255	2278,4	23,36
2	1	C235	ТБ 152*5	0,018119	196,96	3,57
	2	C235	ТБ 108x4	0,010255	2278,4	23,36

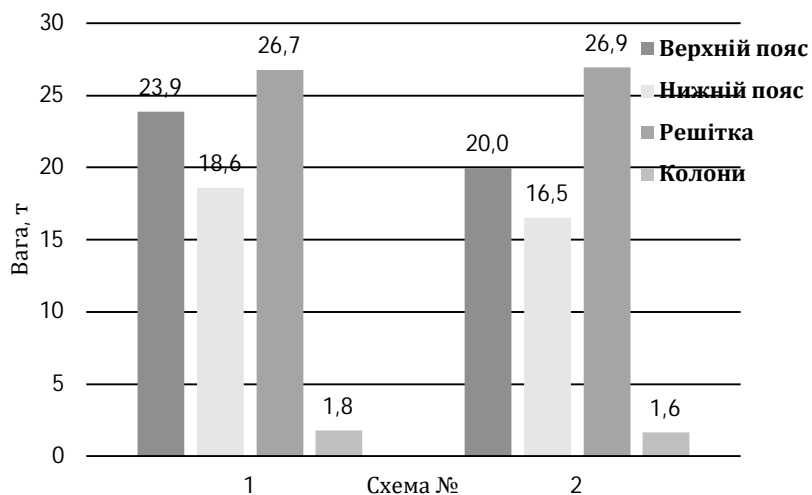
Таблиця 4. Підбір елементів колон після ітераційного розрахунку №1

№ схем и	№ типу перерізу	Сталь	Профіль труби	Вага 1м,п, профілю, т	Довжина стержнів в поясу, м	Вага, т
1	78,79	C235	ТЕ 426x6	0.0621216	28,8	1,789
2	80,81	C235	ТЕ 426x5,5	0.0570126	28,8	1,642

Таблиця. Підрахунок ваги моделей

Назва групи конструктивних елементів	Модель №1	Модель №2	Різниця, %
Верхній пояс	23,86	19,99	19,4
Нижній пояс	18,60	16,50	12,7
Розкоси	26,74	26,93	0,07
Вага структурної плити без врахування ваги колон:	69,2	63,42	9,1
Колони	1,79	1,64	8,96
Всього:	70,99	65,06	9,12

Підрахунок ваги конструктивних груп стержнів



Найменших змін у вазі зазнали елементи решітки (**0,07%**), вага цих елементів для обох схем залишилася незмінною.

На **19,3%** зменшилася вага верхнього поясу в моделі, що має попереднє напруження, на **12,7%** зменшилася вага елементів нижнього поясу в попередньо напруженій моделі.

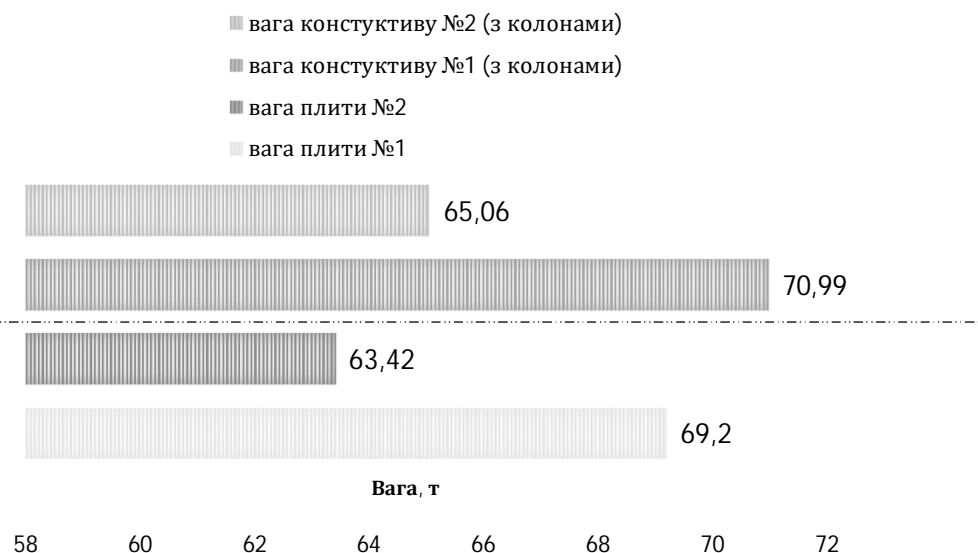
Загалом вага конструкції плити із попереднім напруженням без врахування ваги колон на 5,78 т (**9,1%**) є меншою, аніж вага плити, де відсутнє попереднє напруження нижнього поясу.

Оскільки вага другої моделі на **9,1%** легша, аніж модель №1, то і навантаження, що сприймають стійкі від структурної плити є меншим, що дозволяє прийняти дещо менший га геометричними характеристиками профіль труби.

Так, загальна вага стійок для моделі №2 на 1,0 т (**8,96%**) є меншою, аніж загальна вага колон для моделі №1.

Загалом вага конструктивної системи з попереднім напруженням є легшою на 5,93 т (**9,12%**), аніж вага конструктивної системи без попередньо напружених елементів.

Підрахунок загальної ваги моделей



Після призначення моделям нових жорсткостей (нових профілів труб) за даними таблиць 6.7-6.10 було виконано другий ітераційний статичний розрахунок. Ітераційний розрахунок показав суттєве збільшенні відсотку використання поперечного перерізу профілів конструктивних груп стержнів моделей, що досліджуються.

ВИСНОВКИ

1. Для структур покриття можна виокремити «регулятори зусиль» – параметри конструктивної схеми, що суттєво впливають на її напружено-деформований стан. Створення попереднього напруження в стержнях нижнього поясу штучним способом є одним із методів регуляції зусиль в стержнях.
2. Дослідження моделей плити, регулятором в якій було прийнято попереднє напруження, дозволило визначити найбільш ефективну за критерієм металоємності схем з-поміж двох схем. Критерій матеріалоємності (найменшої ваги) досить легко формалізувати.

- 4. Зменшення зусиль та прогинів в схемі, що зазнала попереднього напруження, обумовлює її меншу вагу. Так, найменших змін у вазі зазнали елементи решітки (**0,07%**), вага цих елементів для обох схем залишилася незмінною. На **19,3%** зменшилася вага верхнього поясу в моделі, що має попереднє напруження, на **12,7%** зменшилася вага елементів нижнього поясу в попередньо напруженій моделі. Загалом вага конструкції плити із попереднім напруженням без врахування ваги колон на **5,78 т (9,1%)** є меншою, ніж вага плити, де відсутнє попереднє напруження нижнього поясу. Оскільки вага другої моделі на **9,1%** легша, ніж модель №1, то і навантаження, що сприймають стійки від структурної плити є меншим, що дозволяє прийняти дещо менший га геометричними характеристиками профіль труби. Так, загальна вага стійок для моделі №2 на **1,0 т (8,96%)** є меншою, ніж загальна вага колон для моделі №1.

- Загалом вага конструктивної системи з попереднім напруженням є легшою на **5,93 т (9,12%)**, ніж вага конструктивної системи без попередньо напружених елементів.

5. Коефіцієнт запасу стійкості у напруженої конструкції на 10% є меншим у попередньо напруженій схемі. Але для обох конструкцій цей коефіцієнт є більшим 1, тобто стійкість обох систем забезпечена.

6. Показники деформативності – показники вертикальних прогинів для обох випадків ($f_u = (l/200) = 3750/200 = 18,75$ см) знаходяться в допустимих межах. В **1,17 рази** прогини попередньо напруженої моделі є меншими за прогини моделі без попереднього напруження.

Перспективи досліджень. Відсоток кількості стержнів, що входить до такої групи з максимальним відсотком використання площі перерізу, є незначним (до **2%**).

Для більш детального і оптимального конструювання слід зробити ще декілька розрахункових ітерацій з метою, щоб якомога більший відсоток в конструктивних групах стержнів структури мав якомога повне використання площі перерізу.

Також, з метою більш точного конструювання, вже на другій ітерації слід за декількома діапазонами зусиль N сформувати групи стержнів, для яких було би прийнято відповідний новий профіль труби й провести декілька ітераційних розрахунків до моменту, коли у більшій кількості стержнів конструктивної групи відсоток використання перерізу буде значним (**>50%**). Це дозволить суттєво зменшити вагу плити, хоча й збільшить кількість типорозмірів стержнів в усіх конструктивних групах стержнів.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ