

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

До захисту  
Допускається  
Завідувач кафедри  
Будівельних конструкцій

---

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**За другим рівнем вищої освіти**

**На тему: «Дослідження роботи структурної плити покриття складської  
будівлі в місті Чернігів»**

Виконав (ла)	_____	Грінка А. А.
	(підпис)	(Прізвище, ініціали)
Група		БУД 2301-2м
Науковий керівник	_____	Срібняк Н. М.
	(підпис)	(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**

**Грінка Артем Андрійович**

**Тема роботи: Дослідження роботи структурної плити покриття  
складської будівлі в місті Чернігів**

Затверджено наказом по університету № \_\_\_\_ від "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2024 р.

Строк здачі студентом закінченої роботи: "\_\_\_" \_\_\_\_\_ 2024 р.

Вихідні дані до роботи:

*Конструктивне вирішення структурної плити покриття*

---

---

---

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

*Дослідити способи конструювання та особливості роботи просторових стержньових конструкцій. Прийняти модель структурної плити покриття, що сприймає навантаження від настилу, снігу та власної ваги для дослідження в рамках числового експерименту. Виконати статичний розрахунок моделей, враховуючі різні фактори-регулятори напружень, провести аналіз результатів обчислень та надати висновки.*

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

*Мультимедійна презентація в форматі Microsoft PowerPoint*

---

---

---

---

---

**Керівник :**

Н.М. Срібняк

(підпис)

(Прізвище, ініціали)

**Консультант:**

Н.М. Срібняк

(підпис)

(Прізвище, ініціали)

**Завдання прийняв до виконання:**

**Здобувач**

А.А. Грінка

(підпис)

(Прізвище, ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**Грінка Артем Андрійович. Дослідження роботи структурної плити покриття складської будівлі в місті Чернігів** – 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, огляд досліджень за обраною темою, розділів основної частини, висновки за результатами досліджень (українською та англійською мовами).

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

**Результати досліджень** дозволяють оцінити матеріалоемкість окремих конструктивних вирішень структурної плити; виявити значущість факторів, що впливають на напружено деформований стан системи, таких як умови спирання та типу базового елемента.

**Аналіз публікацій та досліджень** встановив можливість розширення експериментальної бази досліджень роботи просторових стержневих конструкцій для пошуку більш ефективних конструктивних вирішень для покриття великих площ.

Потреба величезного внутрішнього простору будівель довгий час спонукає людей винаходити та вдосконалювати способи конструювання великопрольотних будівель. Таким чином, масові заходи такі як шоу, спортивні змагання чи громадські виставки можуть проводитись в одному приміщенні. Сучасне виробництво завжди має потребу у більшій ефективності свого функціонування, що також заохочує інтерес до покриття великих прольотів з якомога меншою кількістю внутрішніх опор. Просторові рами дають змогу ефективно задовольнити вищезазначені потреби у внутрішньому просторі що

внутрішній простір може бути використаний різними способами, спираючись на що було сформовано мету, завдання, об'єкт та предмет дослідження.

В **основній частині** наведено опис моделей структурних плит за різних умов, що викликають перерозподіл внутрішніх зусиль в елементах конструкції, таких як кількість та розташування опор та тип базового елемента каркасу. Використовуючи метод скінченних елементів (ПК Ліра-САПР) виконано статичний розрахунок моделей. Проведено аналіз результатів розрахунку.

У **висновках** встановлено найефективніший за критерієм матеріалоемкості варіант конструктивного вирішення структурної плити. Розглянуті показники жорсткості досліджуваних конструкцій. Виявлено величину впливу регуляторів напружень на результати експерименту.

**Ключові слова:** структурна плита, кристал, просторова рама

**Список публікацій** та/або виступів на конференціях студента:

Грінка А.А., Срібняк Н.М., Галушка С.А. Варіантне дослідження структурної плити покриття складської будівлі // Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ (14-16 травня 2024 р.) – Суми, 2024. С. 206

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

**Структура роботи.**

Робота складається з основного тексту на 80 сторінках, у тому числі 33 таблиці, 30 рисунків. Текст роботи містить загальну характеристику роботи, розділів, висновки і рекомендації за результатами роботи, список з 10 використаних джерел, 4 додатків на 34 сторінках. Графічна частина складається з 20 слайдів мультимедійної презентації.

## Abstract

**Hrynka Artem Andriiovych. Research on the performance of the structural slab covering a warehouse building in the city of Chernihiv** – 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 comprises a table of contents, a general description of the research and its qualifying features, a literature review on the selected topic, main sections, and conclusions based on the research findings (provided in Ukrainian and English).

The study defines the **purpose, objectives, object, and subject** of the research, as well as the scientific research methods.

The research results **enable an assessment of the material** efficiency of specific structural solutions for the cover plate and identify the significance of factors influencing the stress-strain state of the system, such as support conditions and the type of base element.

An analysis of publications and research has revealed opportunities for expanding the experimental database for studying the performance of spatial rod structures to identify more efficient design solutions for covering large areas.

The need for vast internal spaces in buildings has long driven people to invent and improve methods for constructing large-span structures. Consequently, mass events such as shows, sports competitions, or public exhibitions can take place in a single venue. Modern manufacturing also demands greater operational efficiency, encouraging interest in covering large spans with as few internal supports as possible. Spatial frames effectively address these needs by maximizing usable internal space, forming the basis for the purpose, objectives, object, and subject of the research.

The **main part** of the work describes structural plate models under various conditions that redistribute internal forces within the structural elements, such as the number and arrangement of supports and the type of base frame element. Using the finite element method (LIRA-SAPR software), a static analysis of the models was conducted, and the calculation results were analyzed.

The **conclusions** identify the most material-efficient structural solution for the cover plate. The stiffness indicators of the studied structures were examined, and the influence of stress regulators on experimental outcomes was quantified.

**Keywords:** structural plate, crystal, spatial frame

**A list of the student's publications and/or speeches at conferences:**  
Hrynka A.A., Sribniak N.M., Halushka S.A. Variant Study of the Structural Cover Plate for a Warehouse Building // Materials of the Scientific-Practical Conference of Lecturers, Postgraduates, and Students of Sumy National Agrarian University (May 14-16, 2024) – Sumy, 2024. P. 206.

The **appendices** include conference theses and a slide deck for the multimedia presentation.

**Structure of work.** The thesis comprises the main text, spanning 80 pages, including 33 tables and several 30 illustrations. The text contains a general description of the study, several chapters, conclusions, and recommendations based on the research findings. It also includes a list of 10 references and 4 appendices covering 34 pages. The graphical component includes 20 multimedia presentation slides.

## ЗМІСТ

ЗАВДАННЯ .....	2
АНОТАЦІЯ .....	4
<b>РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ .....</b>	<b>9</b>
1.1 Актуальність теми.....	9
1.2 Мета, завдання, об'єкт, предмет, методи дослідження.....	9
<b>РОЗДІЛ 2 БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ .....</b>	<b>11</b>
<b>РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ .....</b>	<b>14</b>
<b>РОЗДІЛ 4. СТРУКТУРНІ ПЛИТИ .....</b>	<b>15</b>
<b>РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ СТРУКТУРНОЇ ПЛИТИ, ЩО ДОСЛІДЖУЄТЬСЯ .....</b>	<b>16</b>
5.1 Алгоритм виконання числового експерименту .....	16
5.2 Регулятори НДС конструкції .....	17
5.3 Моделі, що прийняті для дослідження .....	17
5.4 Геометричні схеми моделей, що досліджуються .....	19
5.5 Вихідна характеристика елементів .....	25
5.6 Навантаження .....	26
<b>РОЗДІЛ 6 ПРОВЕДЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЛОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ .....</b>	<b>29</b>
6.1 Ітераційний розрахунок №1 і уточнення перерізів елементів.....	29
6.2 Ітераційний розрахунок №2 і підбір остаточних перерізів елементів.....	48
6.3 Аналіз результатів обчислень .....	76
<b>РОЗДІЛ 7 ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....</b>	<b>78</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>80</b>
<b>ДОДАТКИ.....</b>	<b>81</b>

## РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

### 1.1 Актуальність теми

На сьогоднішній день зменшення матеріалоемності та собівартості конструкцій та енергозберігаючі технології є одними з основних напрямків розвитку будівництва, що спонукує застосування у будівництві сучасних технологій, таких як просторові сітчасті конструкції.

Такі решітки мають високі показники співвідношення об'єму та ваги, а також особливості їх конструювання дає можливість максимально уніфікувати вузли і стержньові елементи, що робить їх виготовлення та транспортування зручним і легким із застосуванням високопродуктивних технологічних ліній та легкодоступних потужностей логістичних мереж без залучення транспорту високої вантажопідйомності.

Особливості роботи просторової решітки дозволяють перекривати великі площі, що дає можливість вільно використовувати отриманий простір, розміщувати обладнання, лінії підвісного транспорту, інженерні комунікації, проектувати підвісні стелі та огорожувальні конструкції.

Тому, дослідження просторових сітчастих конструкцій, зокрема структурних плит на просторову роботу зробить внесок у вирішення актуальної проблеми енергоощадження та ресурсозбереження в будівництві України.

### 1.2 Мета, завдання, об'єкт, предмет, методи дослідження

**Мета** – необхідно визначити модель конструкції, що має найменшу матеріалоемність. Прийнято два фактори, що впливають на зміну напружень та деформацій в елементах: спосіб розташування колон та тип базового (одиначного) елемента, що формоутворює стержньову плиту.

**Задачі** – необхідно створити скінченоелементні моделі і структурних плит в ПК Ліра-САПР для виконання варіаційного числового експерименту при зміні типу базового елемента, схеми розташування й кількості колон. Необхідно також виконати аналіз результатів статичного розрахунку й обрати найбільш

ефективну за критерієм найменшої ваги модель при збереженні її достатньої несучої здатності та жорсткості.

**Об'єкт дослідження** - структурні стержньові плити покриття, що мають різну кількість та розташування опор та змодельовані з певних базових елементів.

**Предмет дослідження** - напружено-деформований стан таких конструкцій у представлених конфігураціях (моделях, що досліджуються).

**Практичне значення одержаних результатів.** За результатами досліджень можна визначити з декількох можливих варіантів конструювання найбільш ефективну за матеріалоемністю модель структурної плити покриття.

**Апробація та публікація результатів роботи.**

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

Грінка А.А., Срібняк Н.М., Галушка С.А. Варіантне дослідження структурної плити покриття складської будівлі // Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського НАУ (14-16 травня 2024 р.) – Суми, 2024. С. 206

## РОЗДІЛ 2 БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ

До XVIII століття архітектори використовували камінь, цеглу та дерево, конструкції з цих матеріалів були досить обмежені за міцністю та розміром. Вражаючі розміри склепіння були досягнуті середньовічними мулярами, зокрема муровані куполи з найбільшим прольотом, базиліка Святого Петра в Римі (1588–93 рр.) і Санта-Марія-дель-Фьоре у Флоренції (1420–34 рр.) обидва мають діаметр приблизно 42 м.[1].

Залізо і сталь, що набули широкого використання під час промислової революції, дозволили створювати більш легкі конструкції зі значно більшими прольотами. Також почали з'являтися нові методи розрахунку стійкості конструкцій

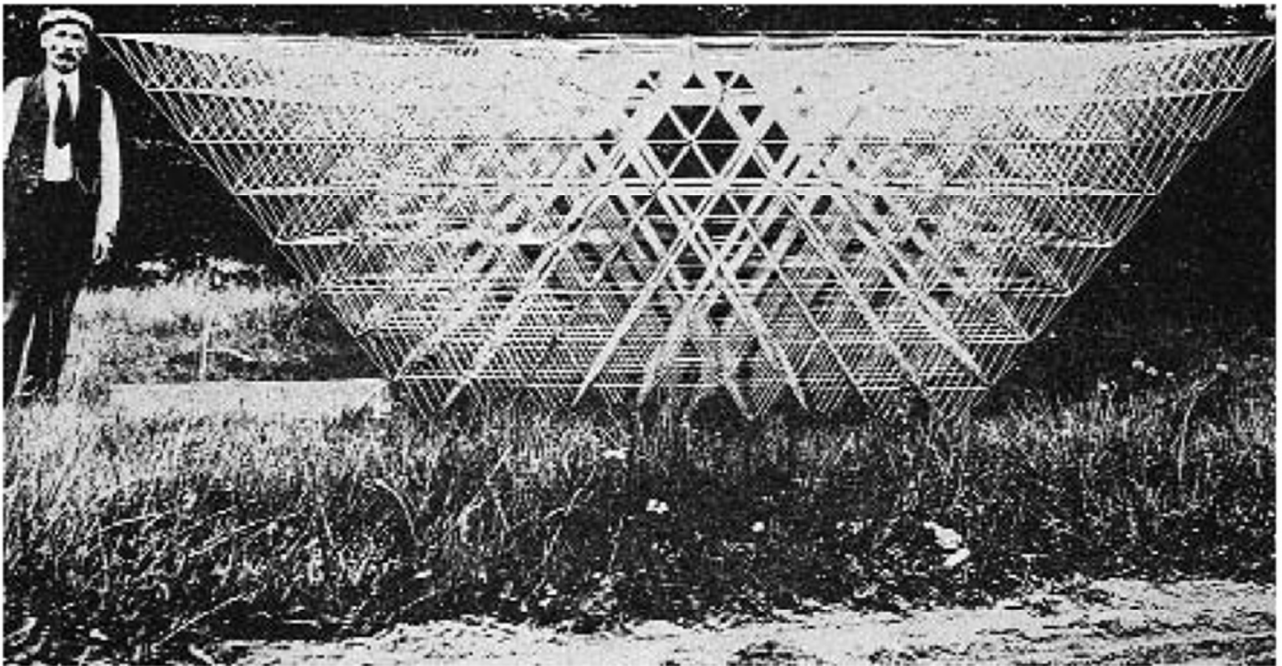


Рис. 2.1 Рання експериментальна структурна просторова сітка, розроблена  
Олександром Грехемом Беллом

Олександр Грехем Белл, винахідник телефону, на початку XX століття експериментував з тетраедральними та октаедральними просторовими конструкціями. Він підкреслював їхнє поєднання легкості та міцності. Перша сталева просторова сітка була створена Беллом у 1907 році [2].

У 1943 році було розроблено систему MERO німецьким інженером Максом Менгерінгхаузенем. Ця система із вузловими з'єднаннями у формі куль залишається популярною і досі.

У 1950-ті роки у Великій Британії з'явилася система Space Deck, що використовує сталеві пірамідальні модулі.

Бакмінстер Фуллер створив "Октетові ґрати", засновану на геометрії октаєдрів і тетраєдрів. Як виявилось, ця модель майже ідентична з розробкою Белла, Та як зазначив Фуллер, він був вражений, що вони обидва, незалежно дійшли до цієї конструкції.[3]

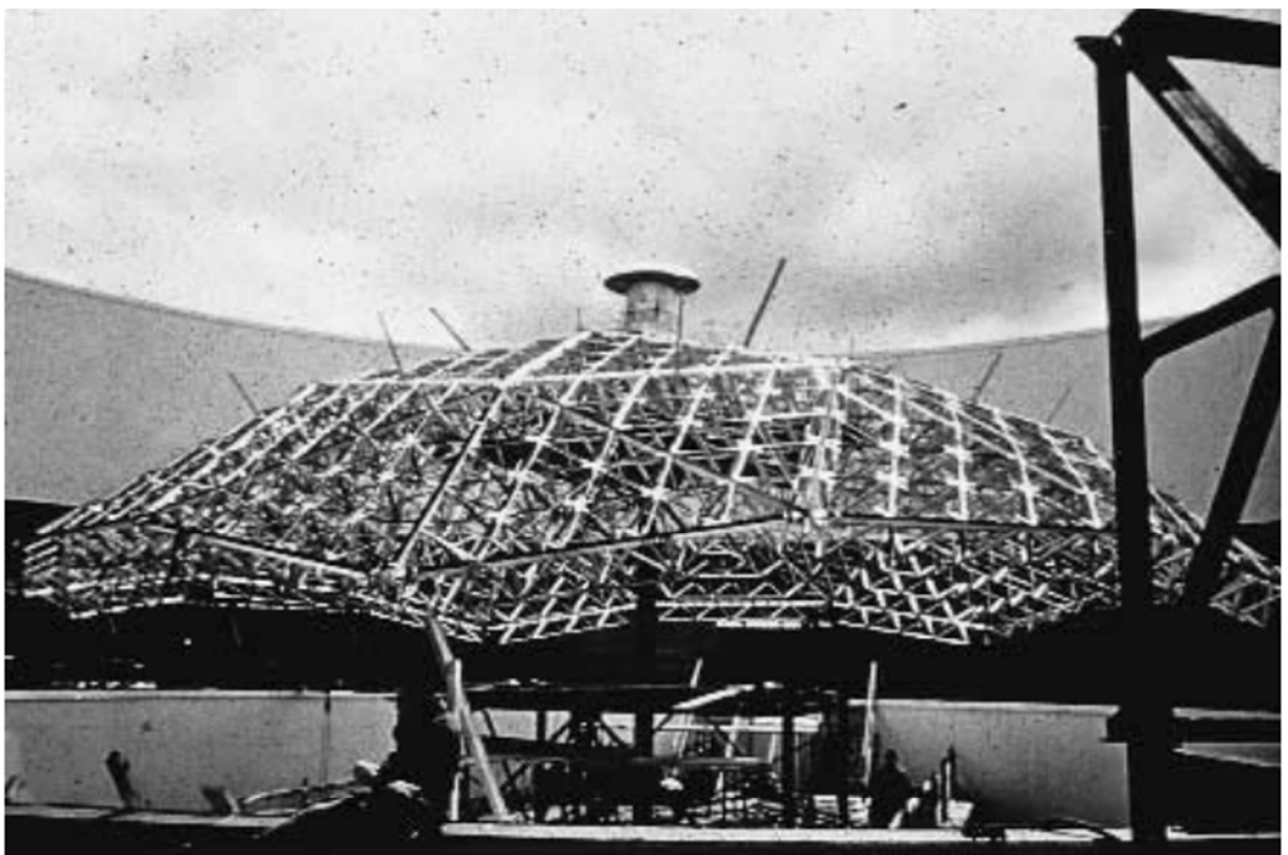


Рис. 2.2 Купол Форда, будівля Ротонда, Дірборн, Мічиган, США побудовано використовуючи 20 960 стержні, зібрані в октетові ферми розроблені Б. Фуллером

Конрад Вахсман розробив універсальне з'єднання для легкого збирання та розбирання.

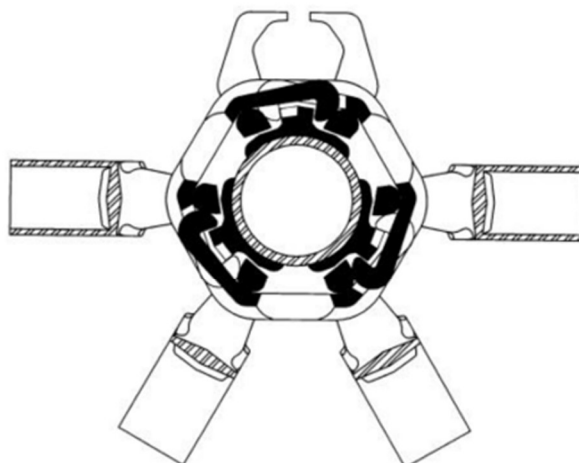


Рис. 2.3 Розробка Вахсмана

Стефан дю Шато створив системи модульних просторових решіток, таких як Pyramites та Unibat. Та продовжував їх розробку і вдосконалення.

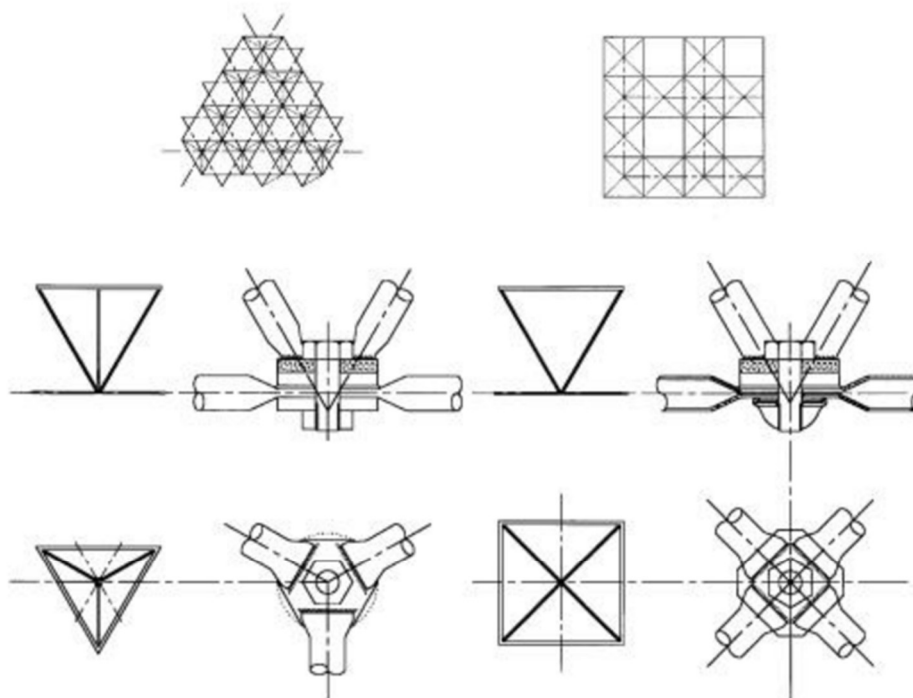


Рис. 2.4 Система Pyramites

### РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

Для проведення дослідження були використані наступні методи:

1. Збір та аналіз інформації. Метод полягає в обробці даних досліджень проектування та розрахунку структурних плит, зокрема тих, що являються просторовими двошаровими сітками. Також дослідження факторів, що впливають на напружено-деформований стан та матеріалоемкість даних конструкцій.
2. Метод скінченних елементів, який є на даний момент актуальним у розрахунку будівельних конструкцій. Він застосовується при моделюванні конструкції для визначення зусиль та напружень в її елементах.
3. Метод аналізу даних, отриманих з розрахунків у ПК ЛіраСАПР з використанням ПК Microsoft Excel.

В додатках №3 та №4 наведено огляд статей та опис методів, що були використані в дослідженні.

## РОЗДІЛ 4. СТРУКТУРНІ ПЛИТИ

Структурні плити – це просторова решітка, або ферма, складена з взаємопов’язаних стержнів, що працюють як одне ціле. За основу проектування структурної плити взята ефективна форма, подібна до природних кристалів у формі піраміди. Основною сферою застосування структурних плит є проектування одноповерхових споруд, що можуть варіюватися у конструктивних та архітектурних формах.

Тип конструкцій, до яких належить об’єкт дослідження можуть бути охарактеризовані за такими критеріями як кривизна та розташування елементів. В першому випадку це можуть бути плоскі покриття, загальна схема їх роботи характерна також для пластин чи плит. Також існують циліндричні склепіння, що представляють собою у розрізі арку чи ферму. І у будівництві мають місце сферичні куполи та інші конструктивні вирішення складної криволінійної форми.

За характеристикою розташування елементів можна виділити одно, дво та багатошарові конструкції. Одношарові вирішення не мають достатньої несучої здатності щоб скласти конкуренцію аналогам при перекритті середніх та великих площ. Двошарові сітки, елементи яких утворюють два пояси (верхній і нижній), що з’єднуються діагональними чи вертикальними стержнями. Також даний варіант конструювання є найпоширенішим у будівництві.

Багатошарові просторові рами частіше мають саме 3 паралельні шари та майже завжди являть собою пласкі конструкції.

## РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ СТРУКТУРНОЇ ПЛИТИ, ЩО ДОСЛІДЖУЄТЬСЯ

### 5.1 Алгоритм виконання числового експерименту

Алгоритм виконання наведено у вигляді блок-схеми на рис. 5.1:

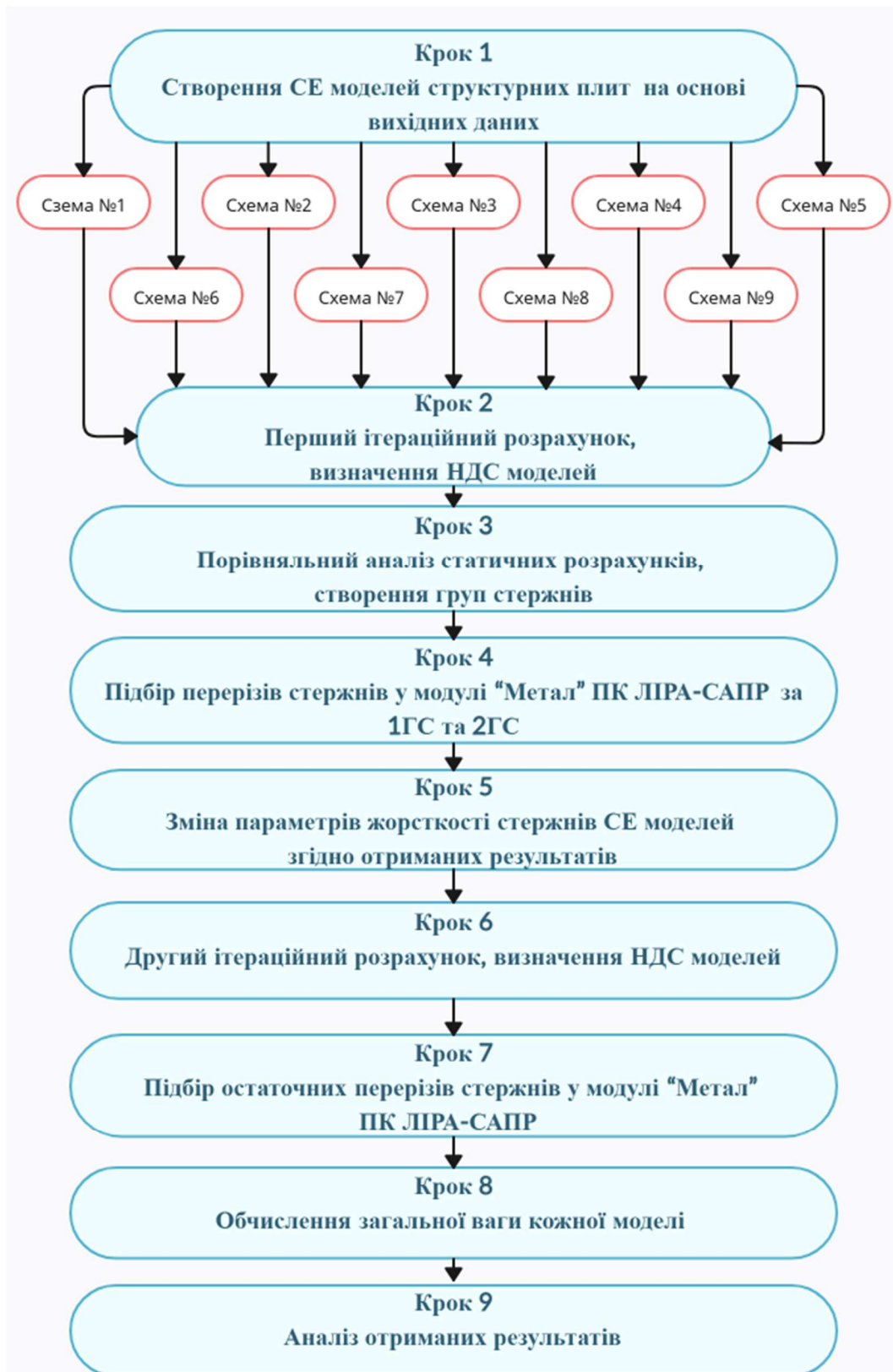


Рис. 5.1 Блок-схема алгоритму проведення дослідження

## 5.2 Регулятори НДС конструкції

Для проведення дослідження прийнято 2 групи регуляторів напруження – це тип базового елемента (кристалу) конструкції та схема опирання.

Перша група регуляторів представлена в наступних варіантах:

- Кристал №3 - фігура, що утворюється в наслідок перетину паралелепіпеда з основою у формі квадрату з ребром довжиною  $3m$  і висотою  $h$  (в даному випадку  $h = 1.6m$ ) та правильної чотирикутної піраміди з основою у формі квадрату з ребром довжиною  $3\sqrt{2}m$  (приблизно  $4.24264m$ ) за умови спираючості кутів основи паралелепіпеда на центри ребер основи піраміди;
- Кристал №1 - складений з двох рівносторонніх пірамід з ребром основи  $3m$  та висотою  $0.5h$ ;
- Кристал №2 - паралелепіпед з додатковими ребрами жорсткості, що розміщуються у бокових гранях та основі.

Друга група регуляторів:

- Опирання по кутах
- Опирання по двом сторонам
- Опирання по двом сторонам та центральній осі

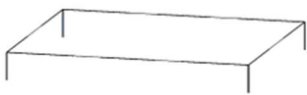

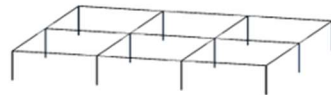
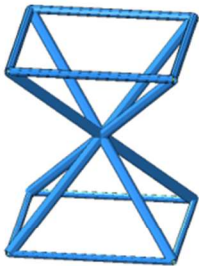
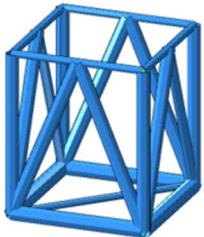
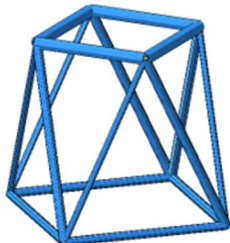
## 5.3 Моделі, що прийняті для дослідження

Структурну плиту запроєктовано як двошарову конструкцію, що складається з прямокутної сітки верхнього поясу, з'єднаної з аналогічною сіткою нижнього поясу стержнями решітки.

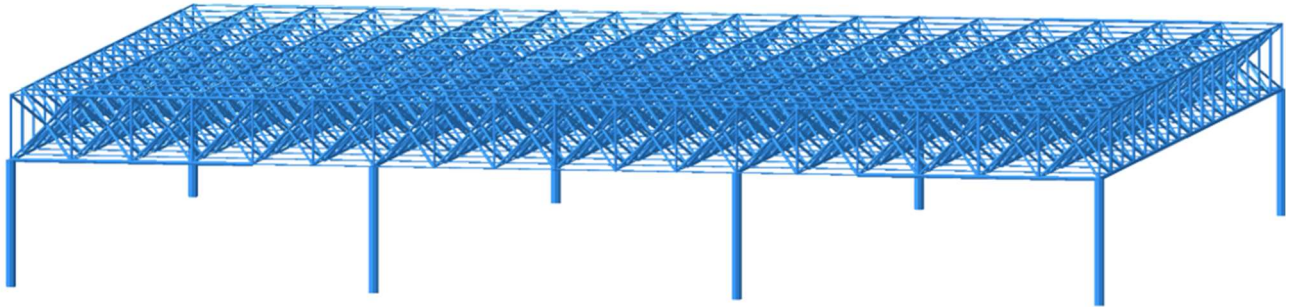
Просторовий каркас представлений як просторова ферма, зібрана зі стержньових елементів, з'єднаних у вузлах. Основна передача навантаження є осьовою, тому при аналізі конструкції з'єднання елементів вважається шарнірним.

В таблиці 5.1 показана нумерація розрахункових схем згідно використаних комбінацій регуляторів зусиль (форма кристалу, схема спірання):

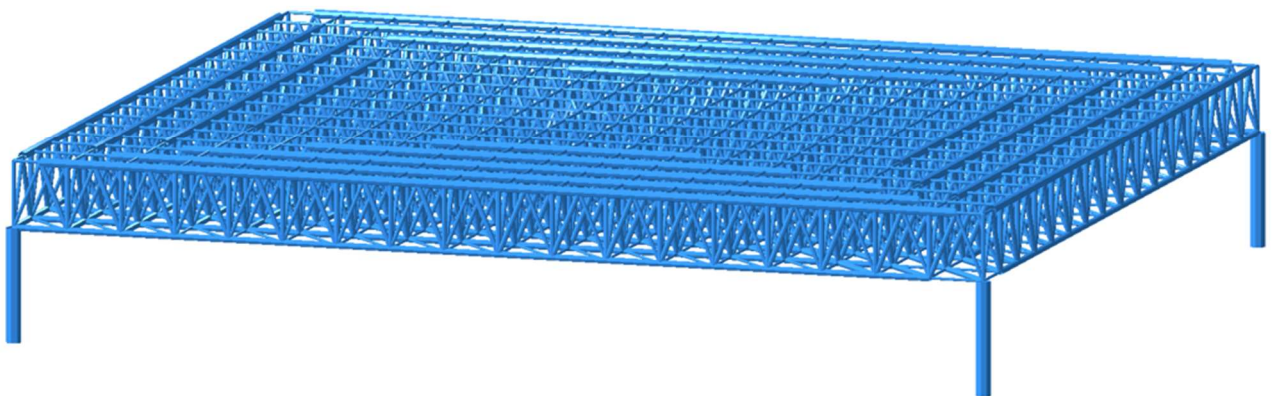
Таблиця 5.1 Моделі, що прийняті до розрахунку

Тип базового елемента	Схема розташування опор		
			
	Схема №1	Схема №2	Схема №3
	Схема №4	Схема №5	Схема №6
	Схема №7	Схема №8	Схема №9

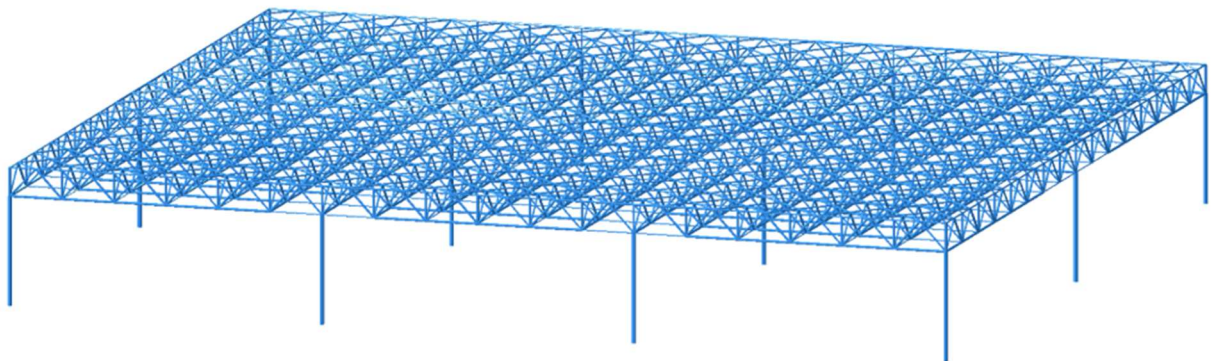
На рис. 5.2 наведено декілька моделей, що досліджуються:



а)



б)



в)

Рис. 5.2 Просторове зображення деяких моделей, що досліджуються: схема №2 – а; схема №4 – б; схема №9 – в;

#### 5.4 Геометричні схеми моделей, що досліджуються

Як вихідні дані прийнято структурну плиту геометричними розмірами 54м довжиною та 48м шириною для покриття приміщення площею 2500м<sup>2</sup> складського призначення. Висота опорних стержнів 6.2м. Будівля розташована у

м. Чернігів, величина характеристичного снігового навантаження прийнята згідно вищезазначеного регіону.

Базові елементи схеми мають основу у формі квадрату зі стороною 3м.

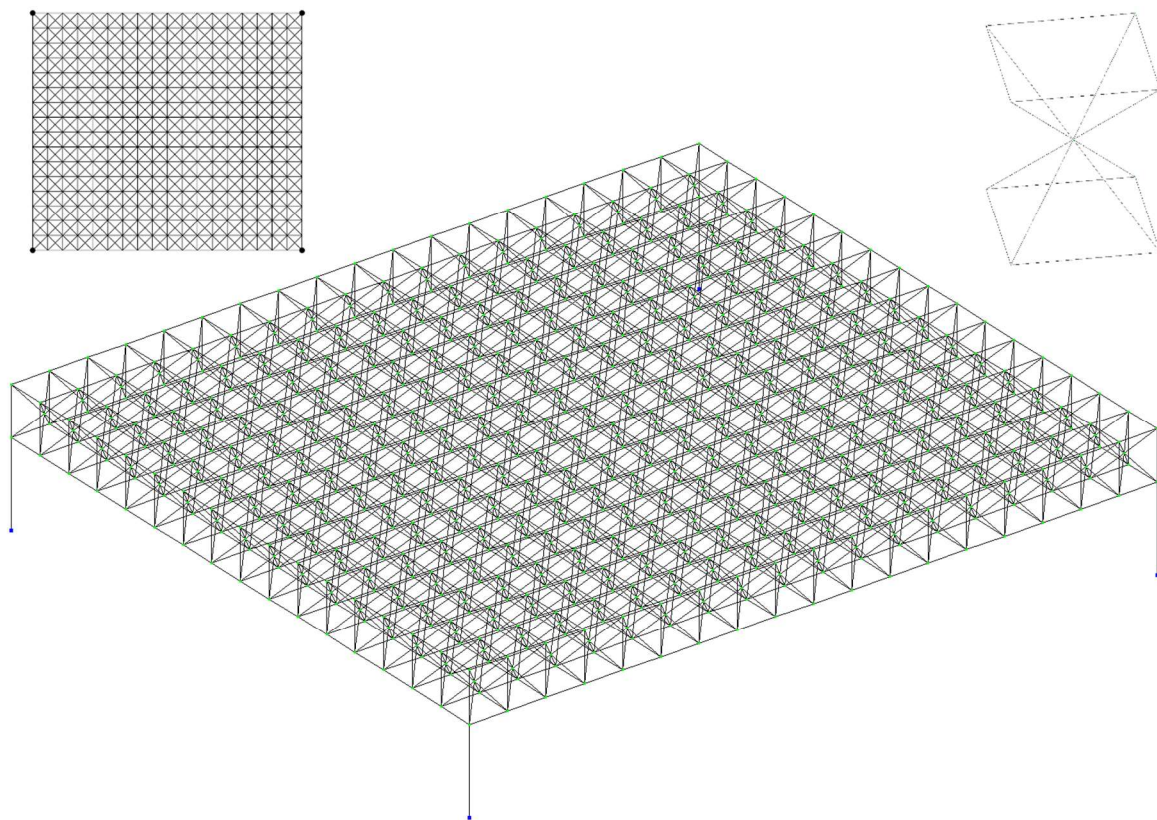
Висота перерізу (h) конструкції визначається залежно від розташування опор, а саме максимального прольоту між ними (L) і визначається за формулою:

$$h = \frac{1}{15} L \quad (5.1)$$

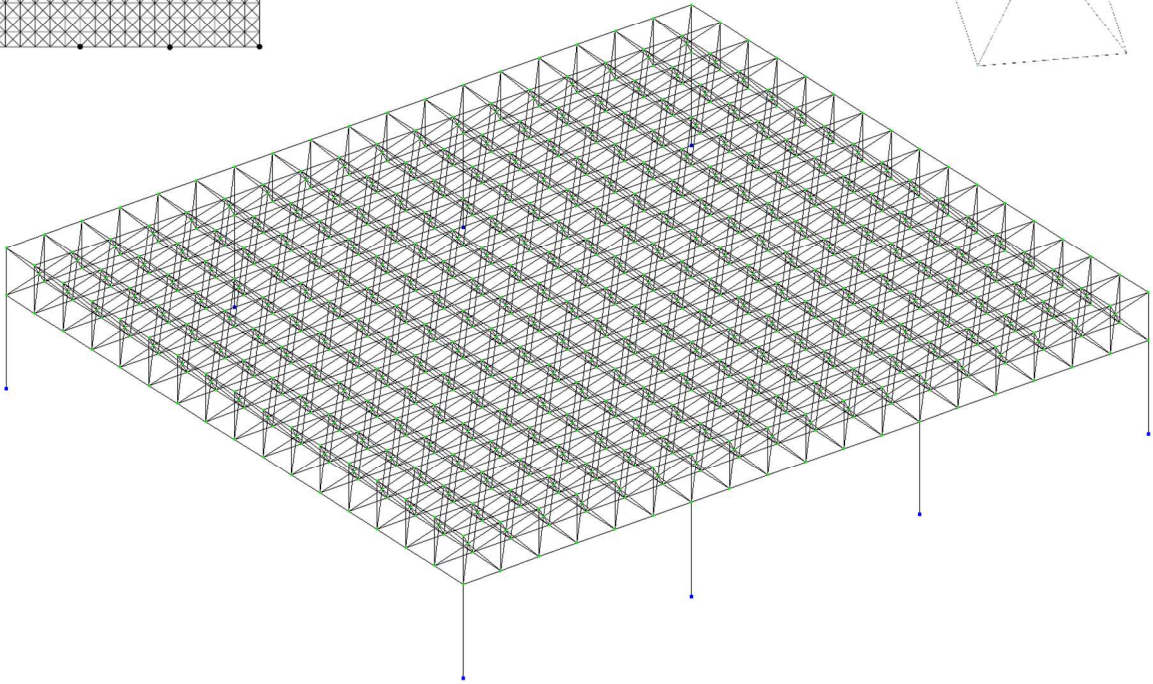
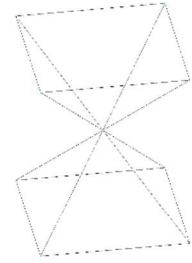
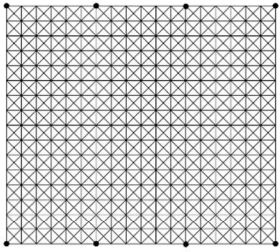
Моделювання та статичний розрахунок структурної плити здійснюється в середовищі ПК Ліра-САПР. Конструкцію виконано зі сталі С235 з модулем пружності  $E = 2.10062 \cdot 10^7 \text{т/м}^2$ .

В дослідженні було виділено 3 основних регулятори напруження в стержнях, від яких власне залежить результат розрахунків – це Форма базового елемента, кількість колон та схема їх розташування.

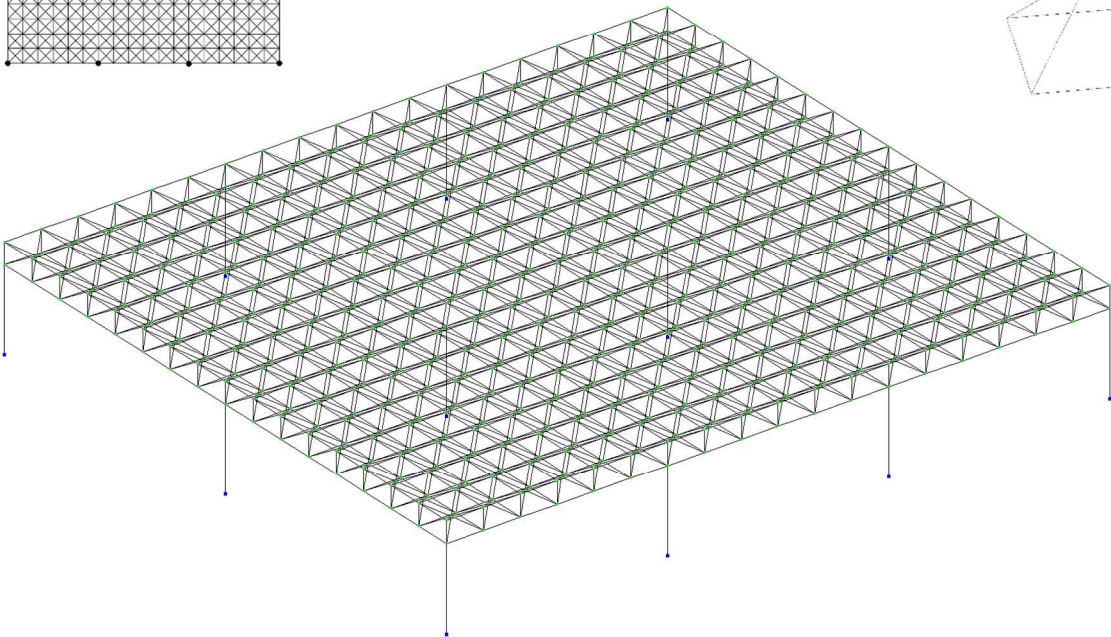
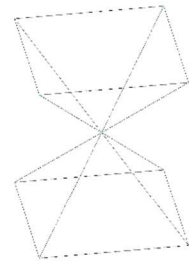
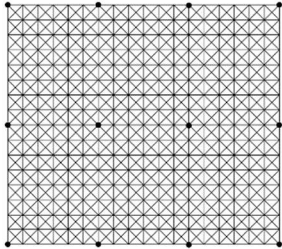
На рисунку 5.3 представлені розглянуті варіанти конструктивного вирішення структурної плити залежно від регуляторів напруження, що прийняті до розрахунку:



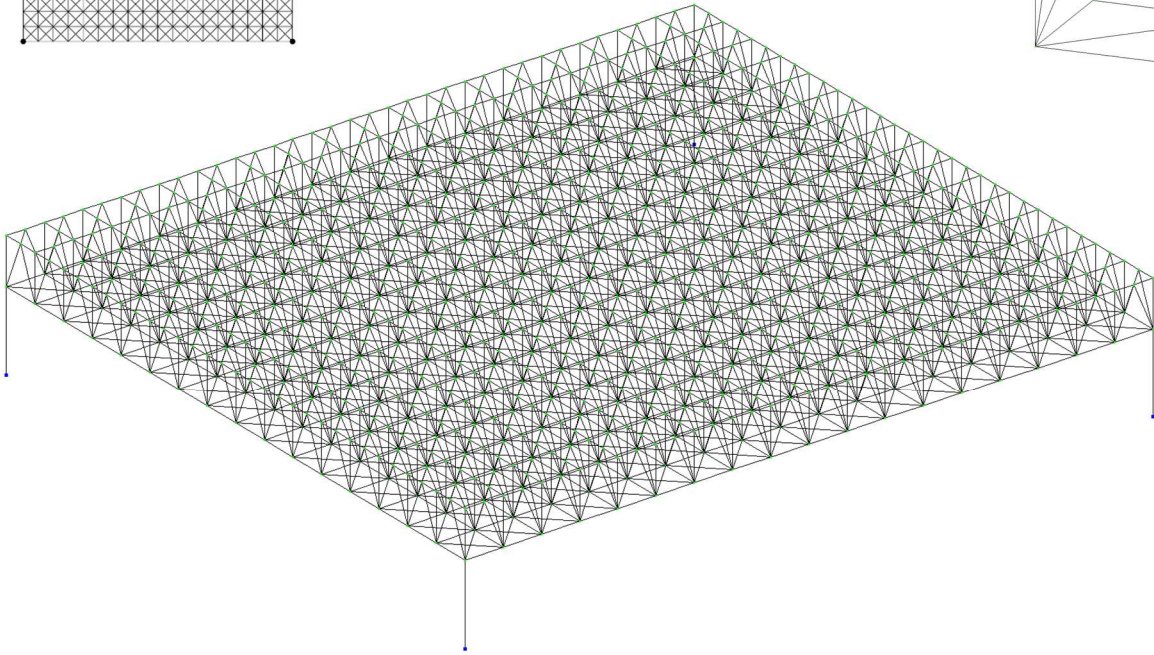
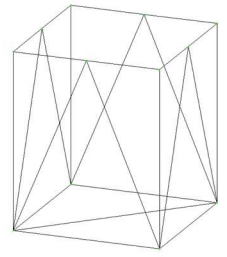
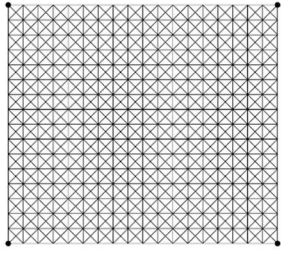
a)



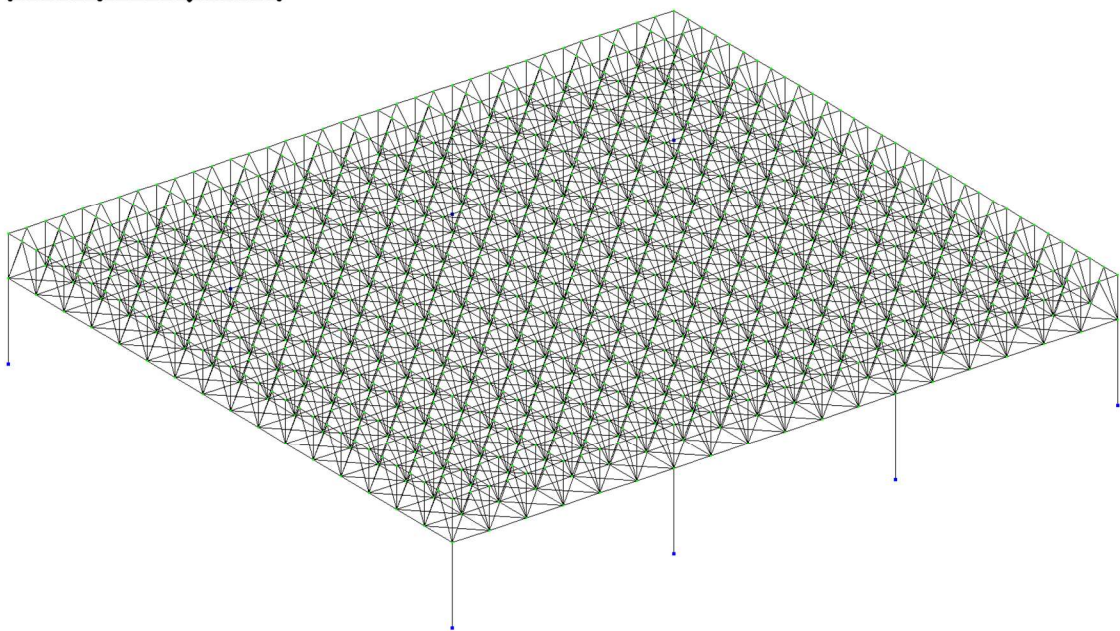
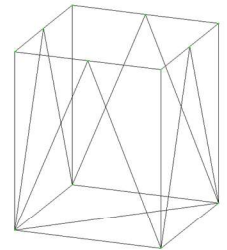
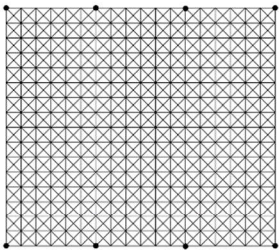
6)



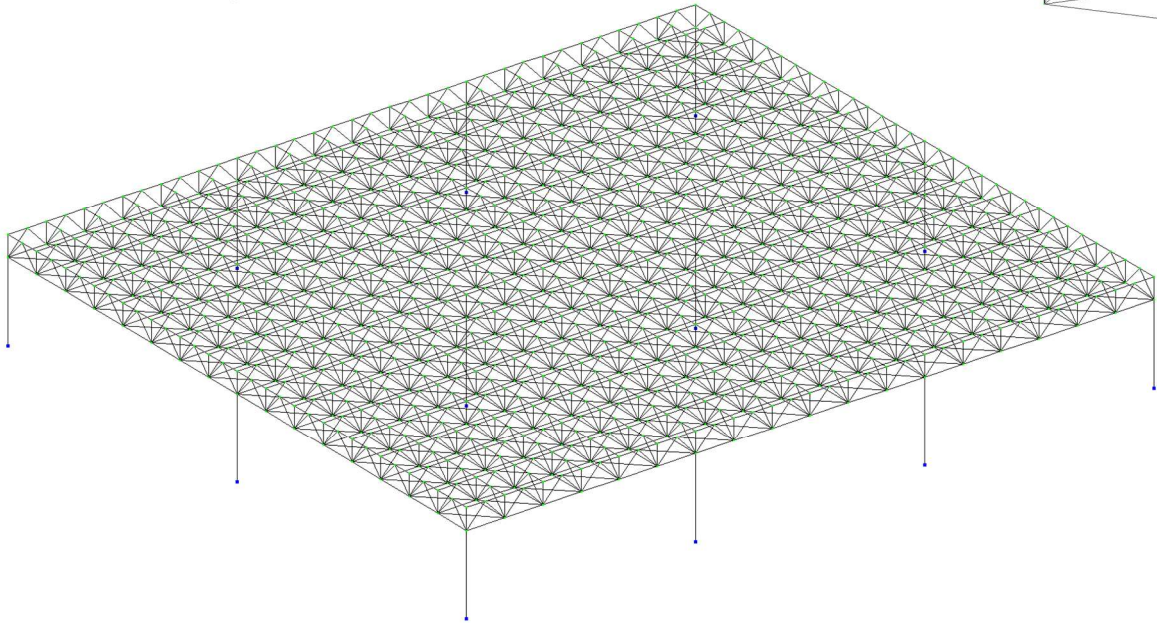
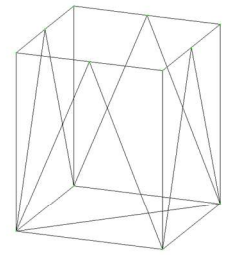
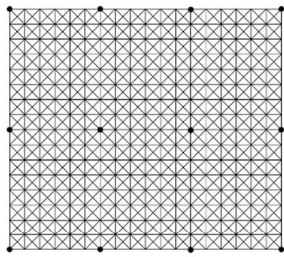
B)



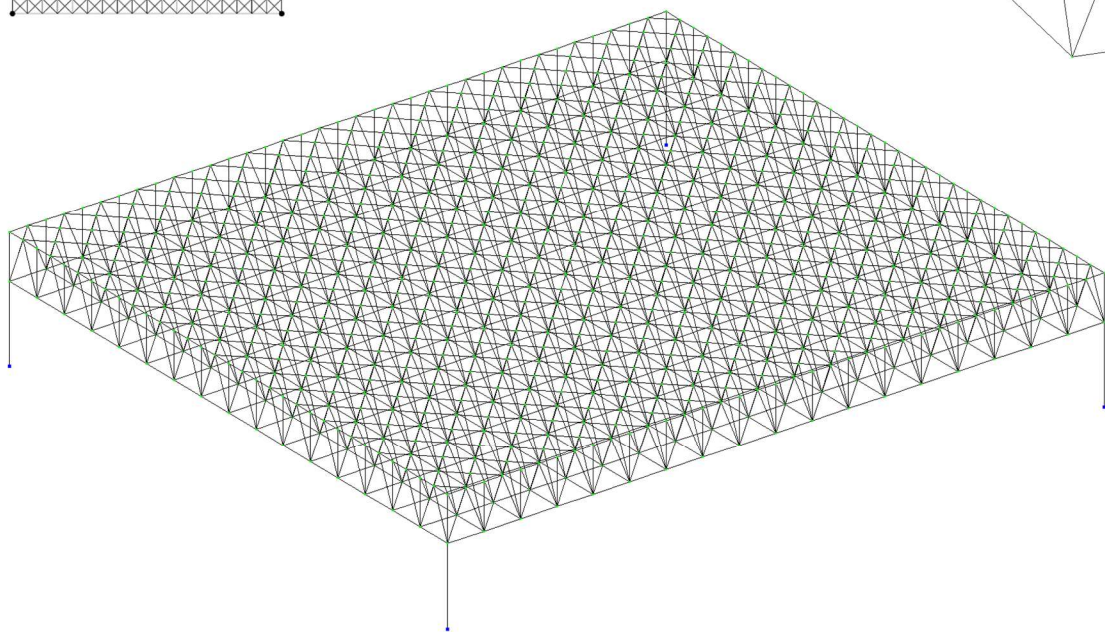
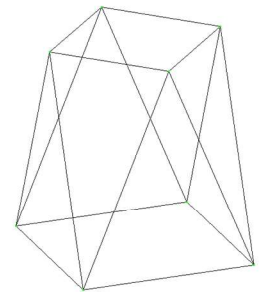
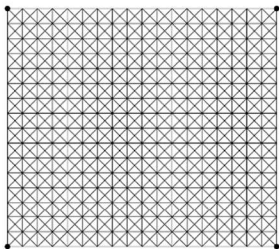
г)



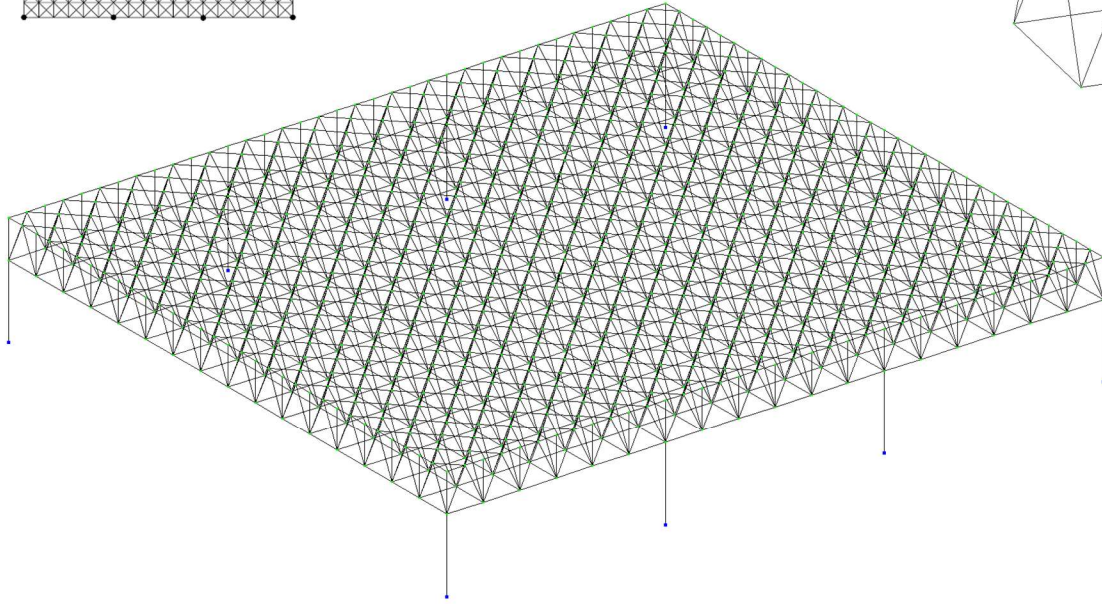
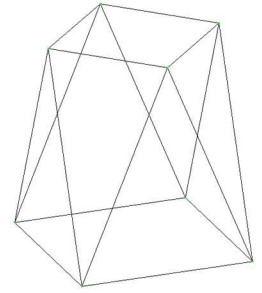
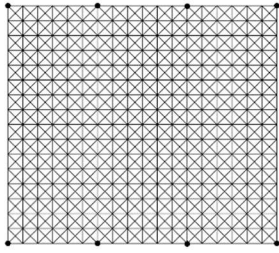
д)



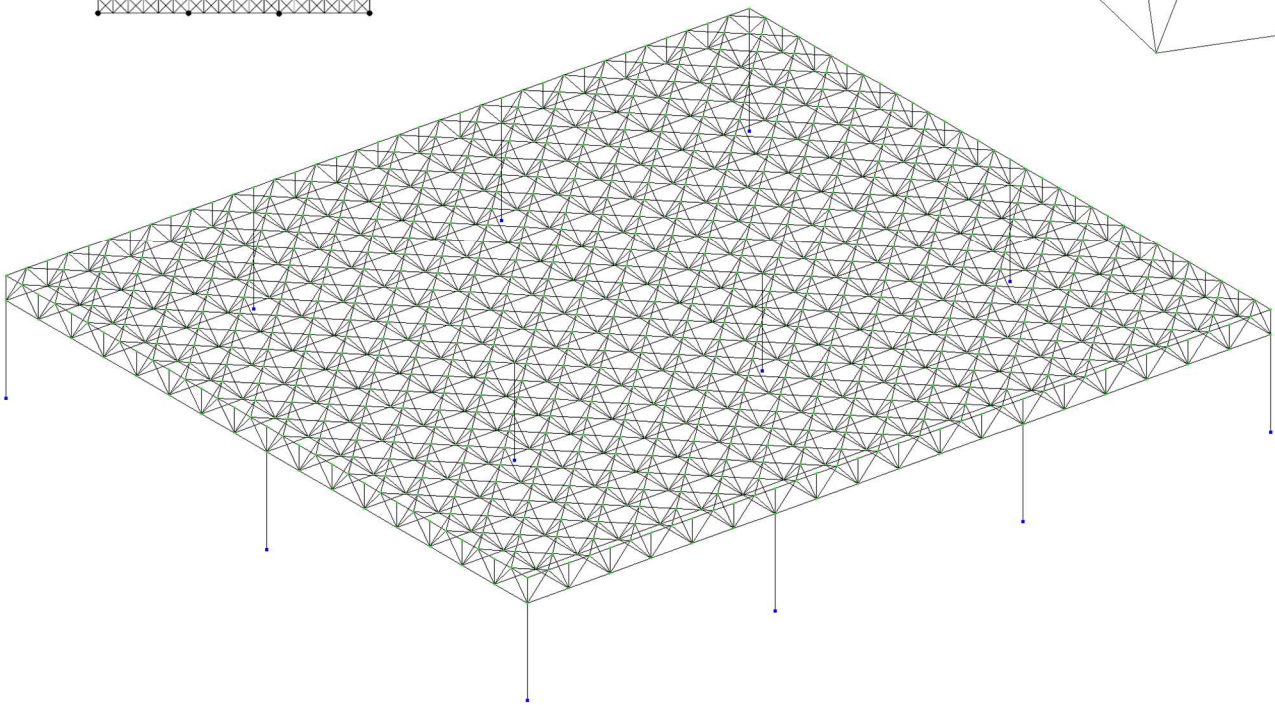
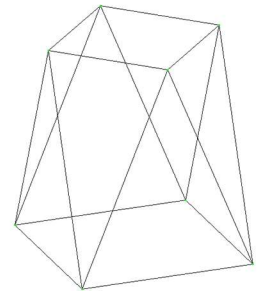
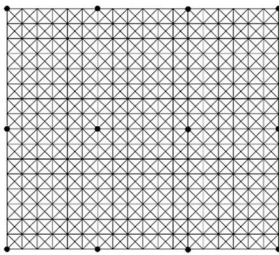
е)



ж)



3)



к)

Рис. 5.3 Варіанти конструктивного вирішення: схема №1

(тип кристалу 1, варіант розташування опор 1) – а; схема №2 (тип кристалу 1, варіант розташування опор 2) – б; схема №3 (тип кристалу 1, варіант розташування опор 3) – в; схема №4 (тип кристалу 2, варіант розташування опор 1) – г; схема №5 (тип кристалу 2, варіант розташування опор 2) – д; схема №6 (тип кристалу 2, варіант розташування опор 3) – е; схема №7 (тип кристалу 3, варіант розташування опор 1) – ж; схема №8 (тип кристалу 3, варіант розташування опор 2) – з; схема №9 (тип кристалу 3, варіант розташування опор 3) – к

### 5.5 Вихідна характеристика елементів

Для створення розрахункової моделі всі її елементи були поділені на 4 групи та для кожної з цих груп були попередньо прийняті характеристики перерізів (таблиця 5.2, рис 5.4):

Таблиця 5.2 Групи стержнів та перерізи

Тип елементів	№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	ТБ 114 х 20
Нижній пояс	2	ТБ 114 х 20
Решітка	3	ТБ 68 х 6
Колони	4	ТБ 237 х 40

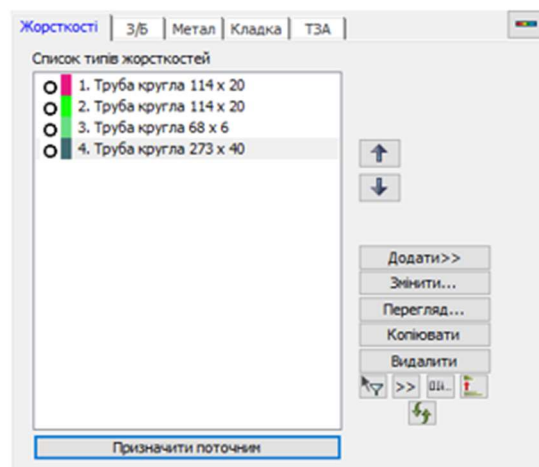


Рис 5.4 Задані характеристики перерізів у ПК ЛІРА-САПР

З метою конструювання перерізів елементів ми задаємо параметри матеріалу (сталі), що видно з рисунку 5.5:

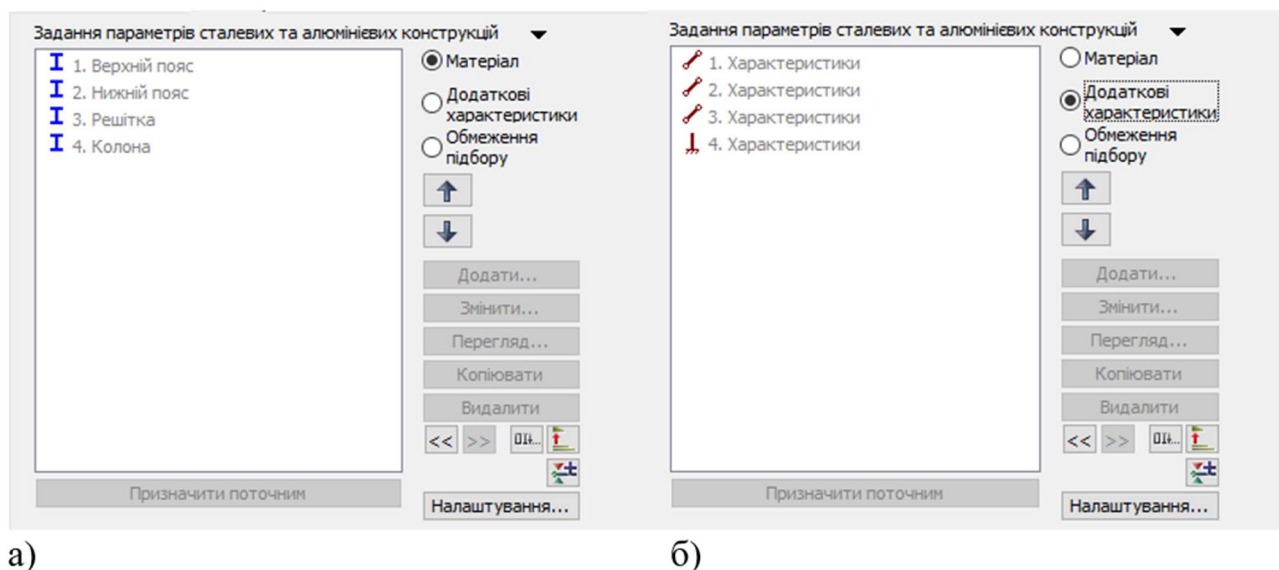


Рис. 5.5 Параметри матеріалу для конструктивного розрахунку: матеріал – а; тип роботи стержня - б

### 5.6 Навантаження

Конструкція покриття прийнята безпрогоною, з чого слідує що навантаження, розподілене по площі буде зосереджено точково у вузлах верхнього поясу.

Виконано збір навантаження згідно [6] в таблиці 5.3:

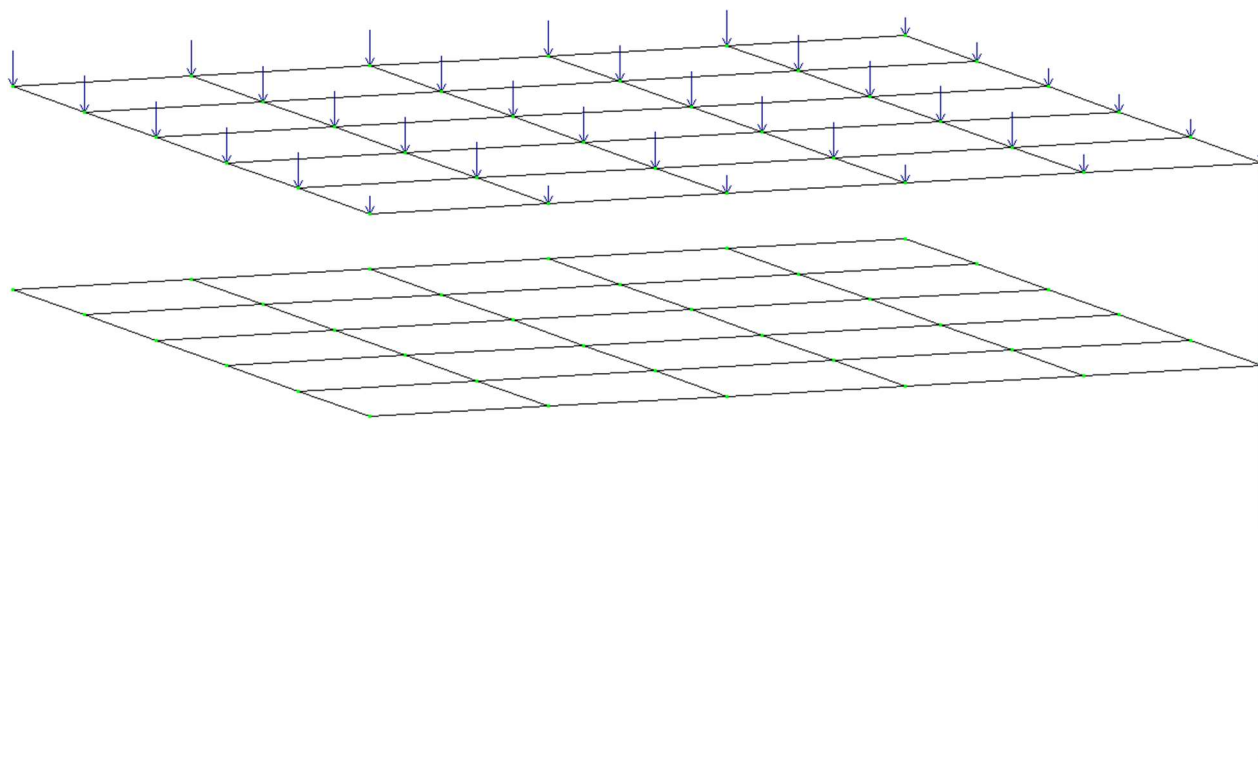
Таблиця 5.3 Збір навантаження

№ з/п	Назва конструктиву	Характеристичне значення, кг/м <sup>2</sup>	Коефіцієнт надійності за навантаження м, $\gamma_f / \gamma_{fm}$	Розрахункове Значення, кг/м <sup>2</sup>
<b>I. Постійне навантаження</b>				
1	Власна вага структурної плити	обчислюється автоматично в ПК Ліра-САПР		
2	Руберойд	10	1.2	12
3	Утеплювач-мінеральна вата t=25 см	38.2	1.1	42.02
4	Пароізоляція	5	1.3	6.5

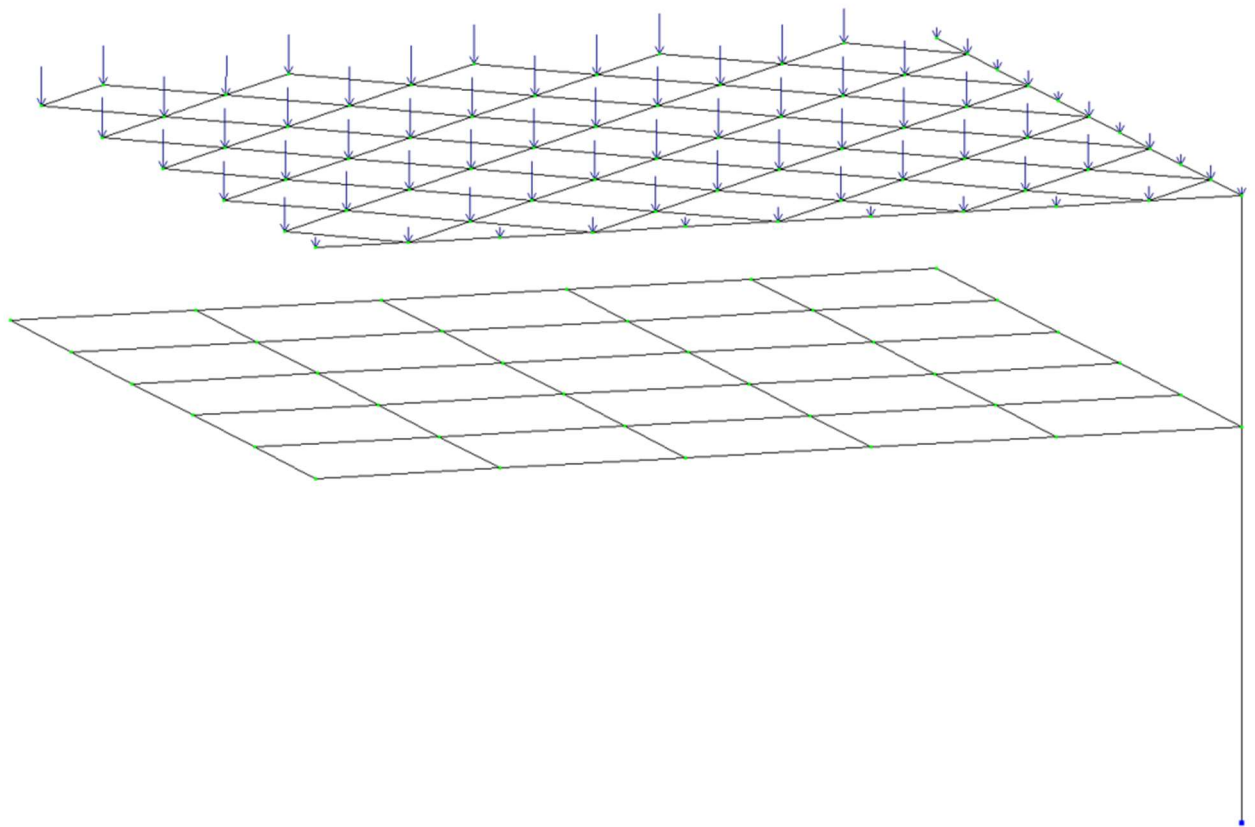
5	Профільний настил, що несе Н114-600 (t=0,9 мм)	17.17	1.1	18.887
Всього постійне:				79.407
II. Тимчасове (снігове) навантаження				
6	Сніг (Чернігів)	172	1.14	196.08
Всього тимчасове:				196.08

Навантаження від власної ваги елементів враховується автоматично, як функціонал комплексу ЛІРА-САПР.

Вузли верхнього поясу можуть бути поділені на 3 (для 3 варіанту базового елемента – 4) групи, залежно від вантажної площі, зусилля від якої вони сприймають від покриття – це внутрішні, фронтові та кутові вузли (рис. 5.6).



а)



б)

Рис. 5.6 Відносне зображення величини зосереджених навантажень у вузлах верхнього поясу: фрагмент, що відповідає розподілу навантажень для схем 1-6 – а; фрагмент, що відповідає розподілу навантажень для схем 7-9 – б

Для розрахунку, навантаження на конструкцію було прийнято у вигляді 3 груп: Завантаження 1 – Власна вага (тип- постійне); Завантаження 2 – Власна вага конструктивних шарів покрівлі (тип-постійне); Завантаження 3 – Снігове навантаження для м. Чернігів (тип-тимчасове).

## РОЗДІЛ 6 ПРОВЕДЕННЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЛОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

### 6.1 Ітераційний розрахунок №1 і уточнення перерізів елементів

Напружено-деформований стан моделей визначався від найбільш несприятливого сполучення навантажень (РСН2).

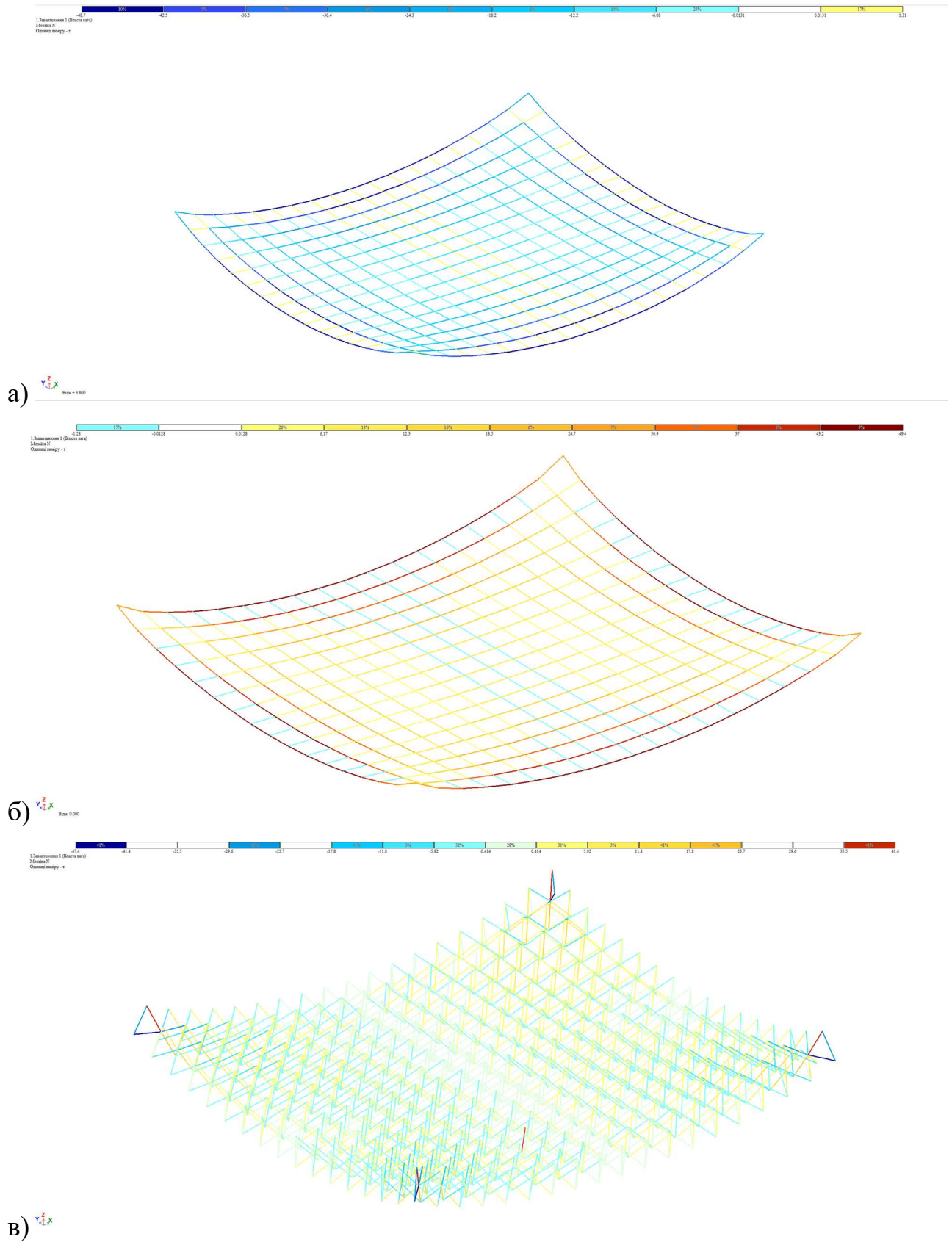
Виконаємо статичний розрахунок для визначення напружено-деформованого стану моделі. Згідно епюри зусиль  $N$  в стержнях, кожному з попередньо виділених груп стержнів, окрім колон, поділимо на дві, залежно від величини зусиль, що в них виникають. Приблизно 50% від загальної кількості стержнів у початковій групі, зусилля в яких більш наближені до мінімальних за значенням (знак «-» вказує на стискаючі зусилля) віднесемо до першої групи, інші – до другої.

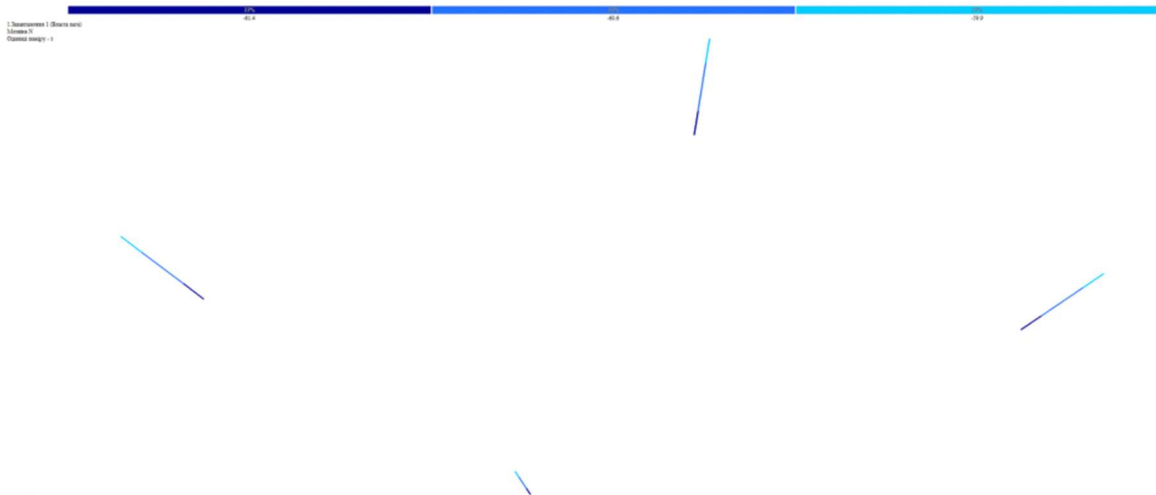
Існує можливість розділення елементів на більшу кількість груп, що призведе до більшої економії матеріалу та зменшенню внутрішніх зусиль через меншу власну вагу. Але при цьому зменшується уніфікація стержнів, що призводить до ускладнення їх масового виробництва та монтажу.

Далі виконаємо розрахунок металу та підбір оптимальних перерізів елементів. Для кожної зі сформованих груп визначаємо найбільший необхідний переріз елемента та приймаємо його для кожного стержня у цій групі.

## 6.1.1 Схема №1

На рисунку 6.1 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів плити:





г)

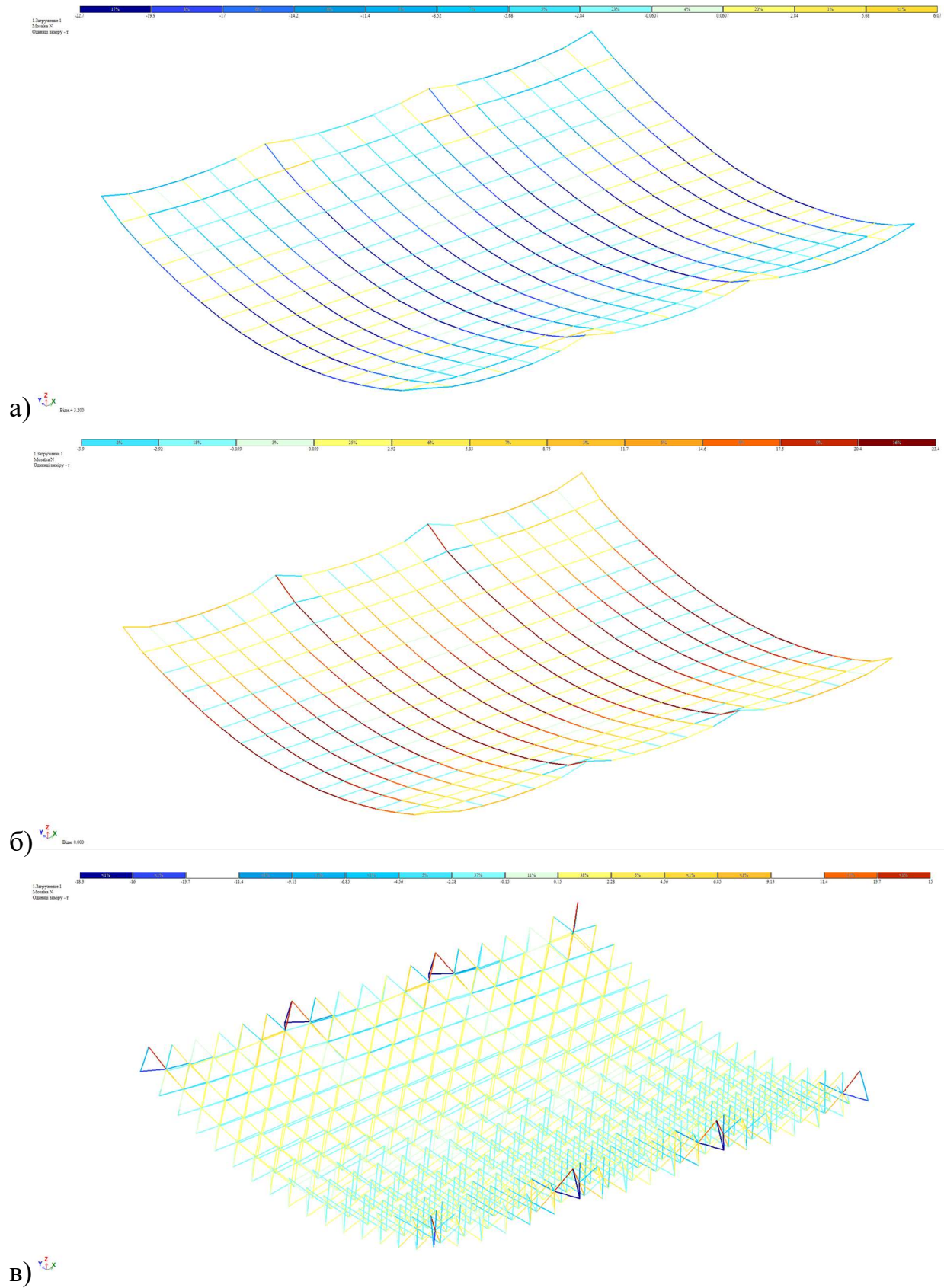
Рис. 6.1 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

Таблиця 6.1 Результат підбору перерізів груп стержнів після 1-ого ітераційного розрахунку для схеми №1

Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-48.611	-24.3	5	ТБ 219 x 13
	2	-24.3	1.313	6	ТБ 140 x 10
Нижній пояс	1	-1.276	24.7	7	ТБ 194 x 6.5
	2	24.7	49.393	8	ТБ 351 x 8
Решітка	1	-47.371	-0.414	9	ТБ 194 x 15
	2	-0.414	41.385	10	ТБ 245 x 9.5
Колони	1	-61.361	-59.937	11	ТБ 500 x 9.5

## 6.1.2 Схема №2

На рисунку 6.2 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів плити:



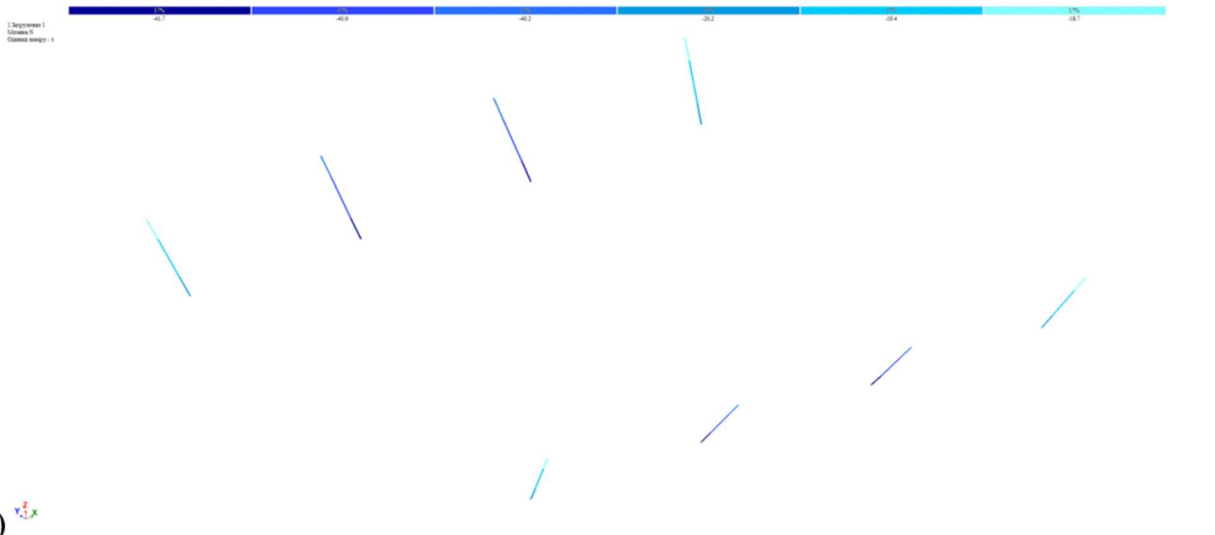


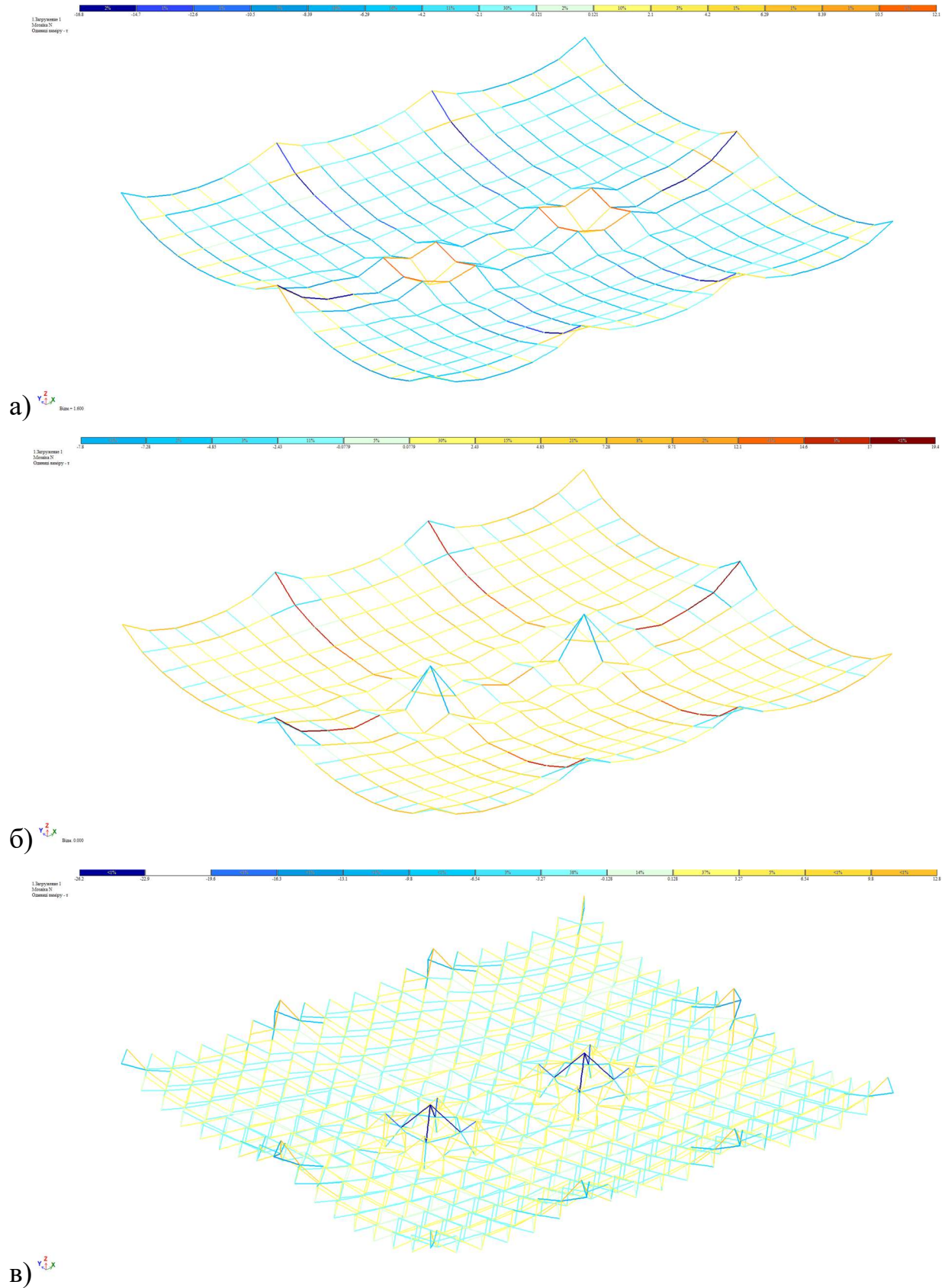
Рис. 6.2 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

Таблиця 6.2 Результат підбору перерізів груп стержнів після 1-ого ітераційного розрахунку для схеми №2

Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-22.713	-8.52	5	ТБ 152 x 8
	2	-8.52	6.068	6	ТБ 68 x 5.5
Нижній пояс	1	-3.901	5.83	7	ТБ 63.5 x 3.5
	2	5.83	23.333	8	ТБ 194 x 6.5
Решітка	1	-18.258	-0.15	9	ТБ 133 x 8.5
	2	-0.15	14.950	10	ТБ 140 x 5.5
Колони	1	-41.657	-18.729	11	ТБ 351 x 9

### 6.1.3 Схема №3

На рисунку 6.3 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів плити:



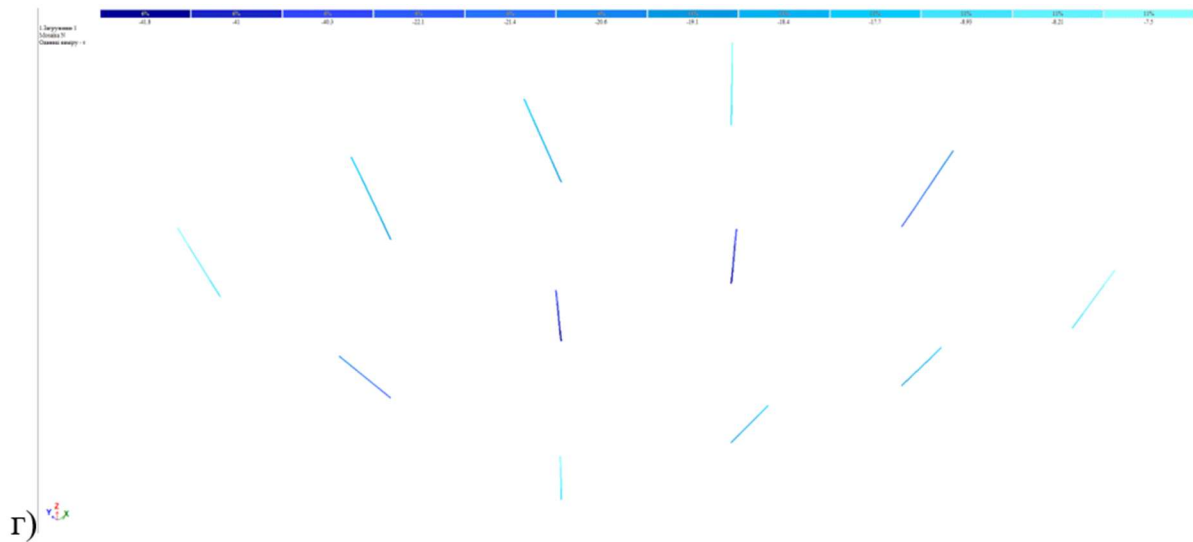


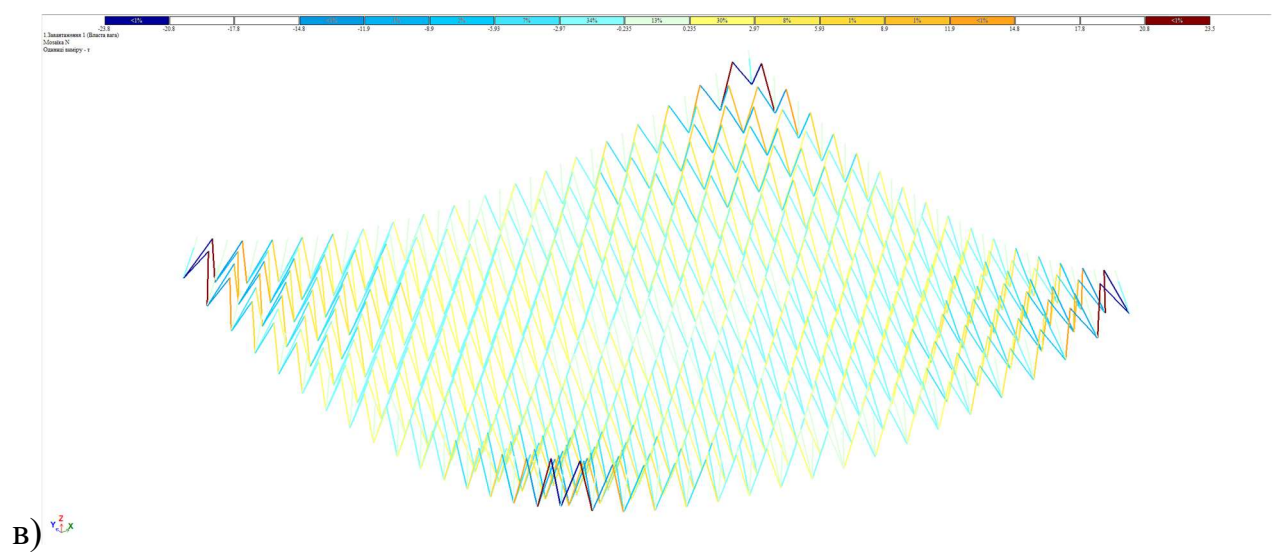
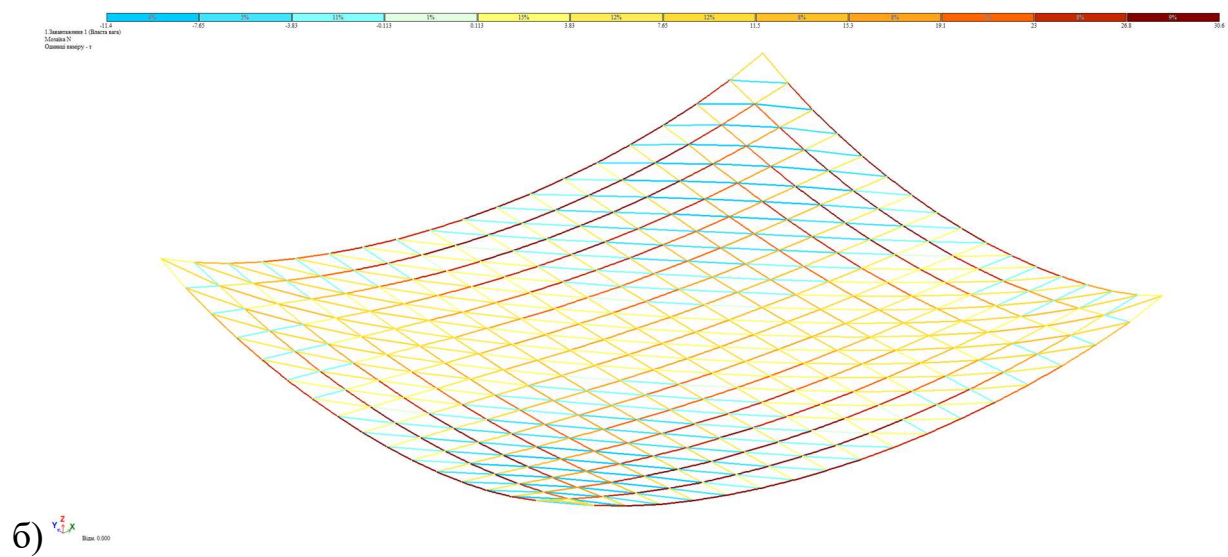
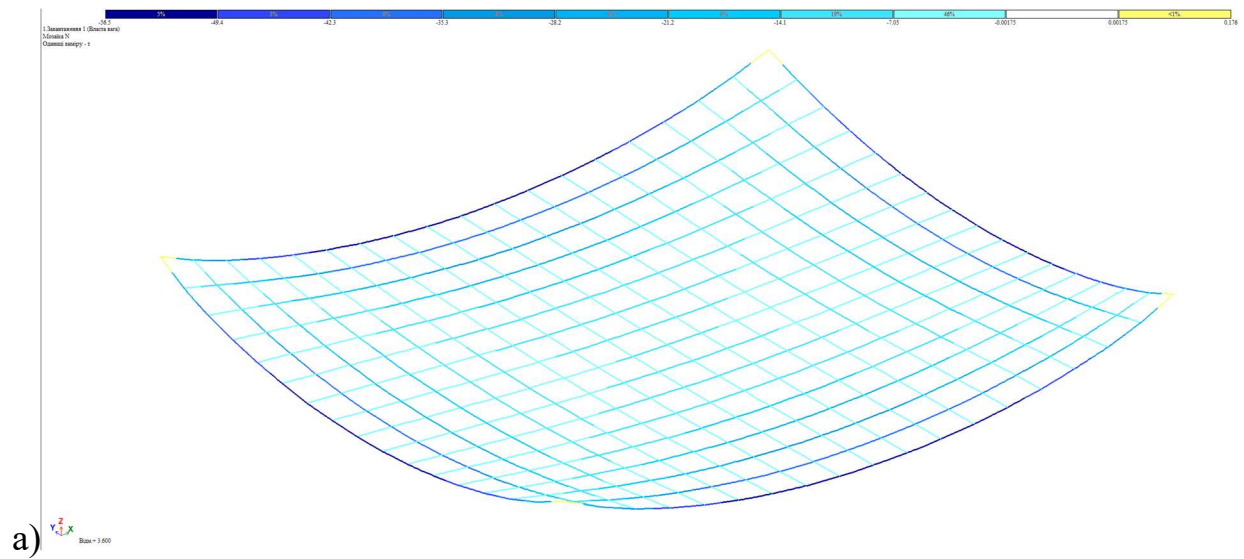
Рис. 6.3 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

Таблиця 6.3 Результат підбору перерізів груп стержнів після 1-ого ітераційного розрахунку для схеми №3

Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-16.785	-2.1	5	ТБ 114 x 5.5
	2	-2.1	12.074	6	ТБ 127 x 6
Нижній пояс	1	-7.794	2.43	7	ТБ 89 x 4.5
	2	2.43	19.416	8	ТБ 159 x 4.5
Решітка	1	-26.142	-0.128	9	ТБ 121 x 15
	2	-0.128	12.792	10	ТБ 114 x 5.5
Колони	1	-41.753	-7.502	11	ТБ 299 x 9

### 6.1.4 Схема №4

На рисунку 6.4 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів плити:



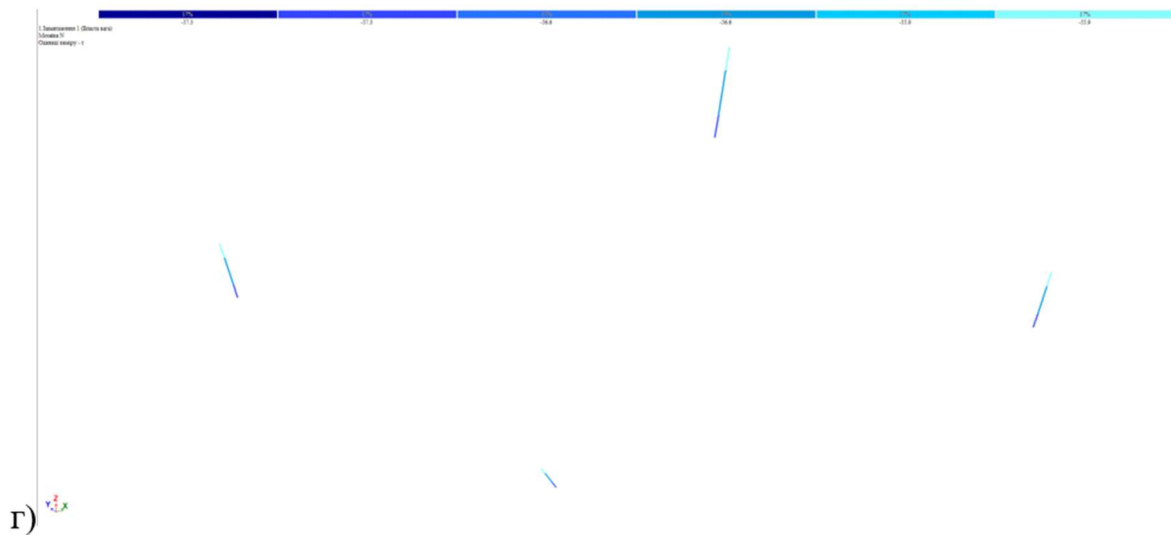


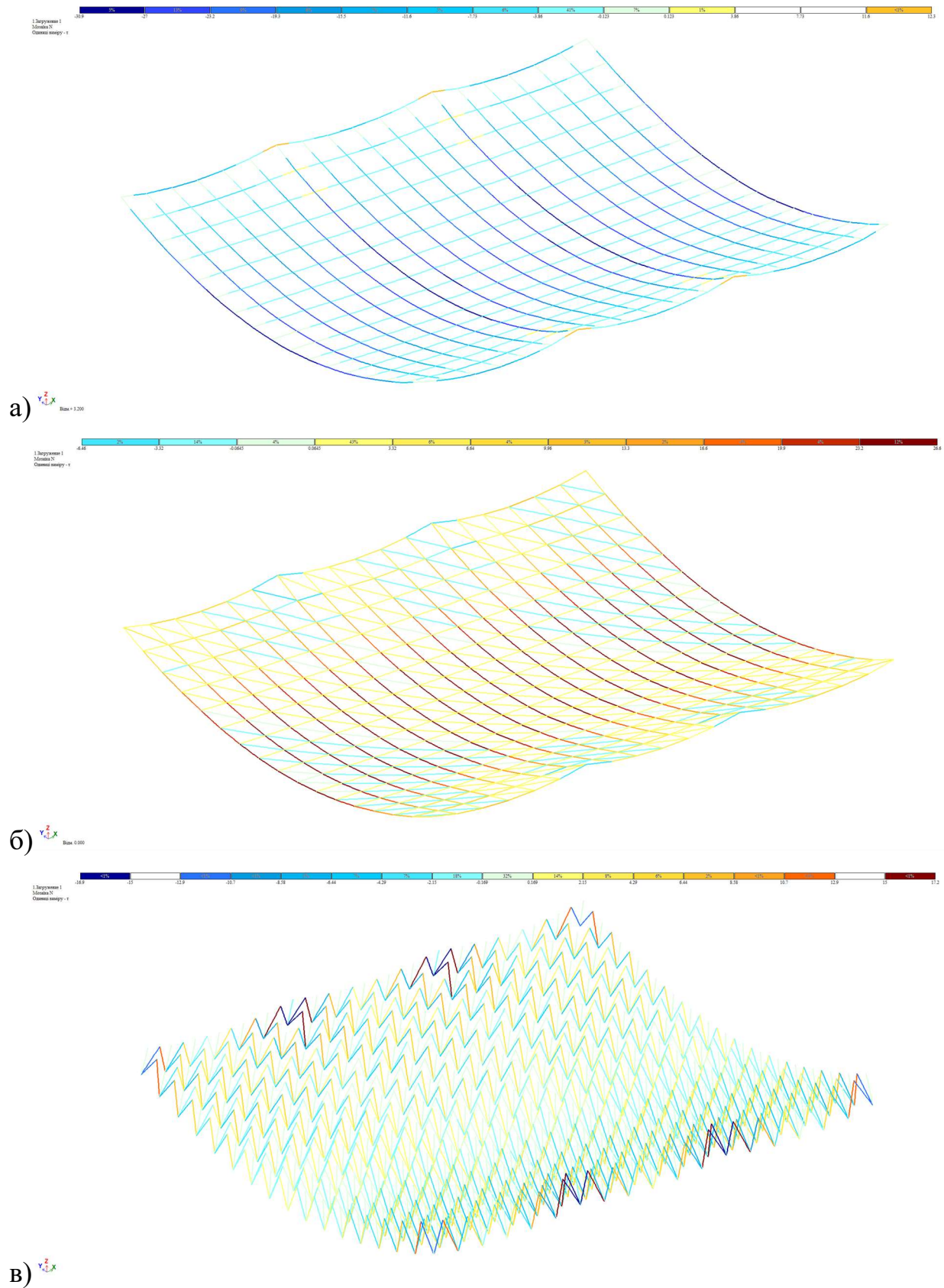
Рис. 6.4 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

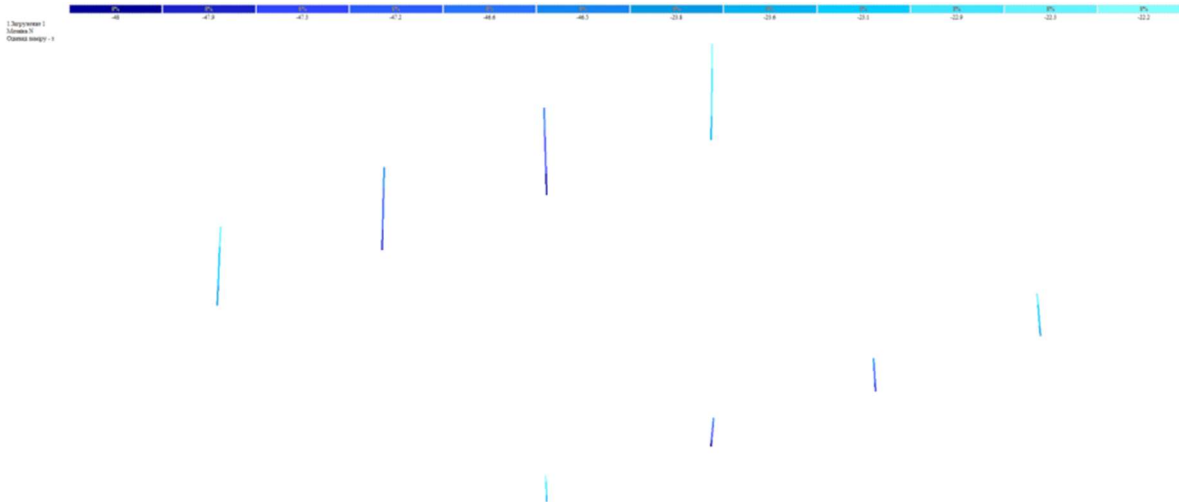
Таблиця 6.4 Результат підбору перерізів груп стержнів після 1-ого ітераційного розрахунку для схеми №4

Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-56.5	-14.1	5	ТБ480 х 9
	2	-14.1	0.176	6	ТБ168 х 9
Нижній пояс	1	-11.4	7.65	7	ТБ159 х 4.5
	2	7.65	30.6	8	ТБ351 х 8.5
Решітка	1	-29.4	-0.291	9	ТБ219 х 14
	2	-0.291	29.1	10	ТБ299 х 9
Колони	1	-57.4	-55.8	11	ТБ820 х 9

## 6.1.5 Схема №5

На рисунку 6.5 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів плити:





г)

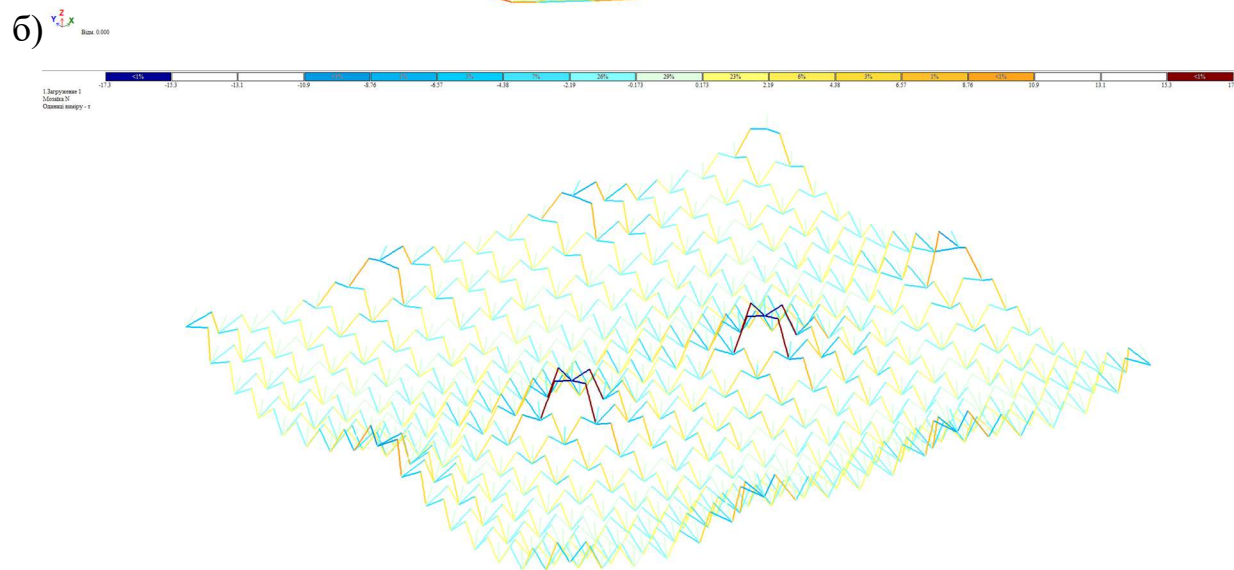
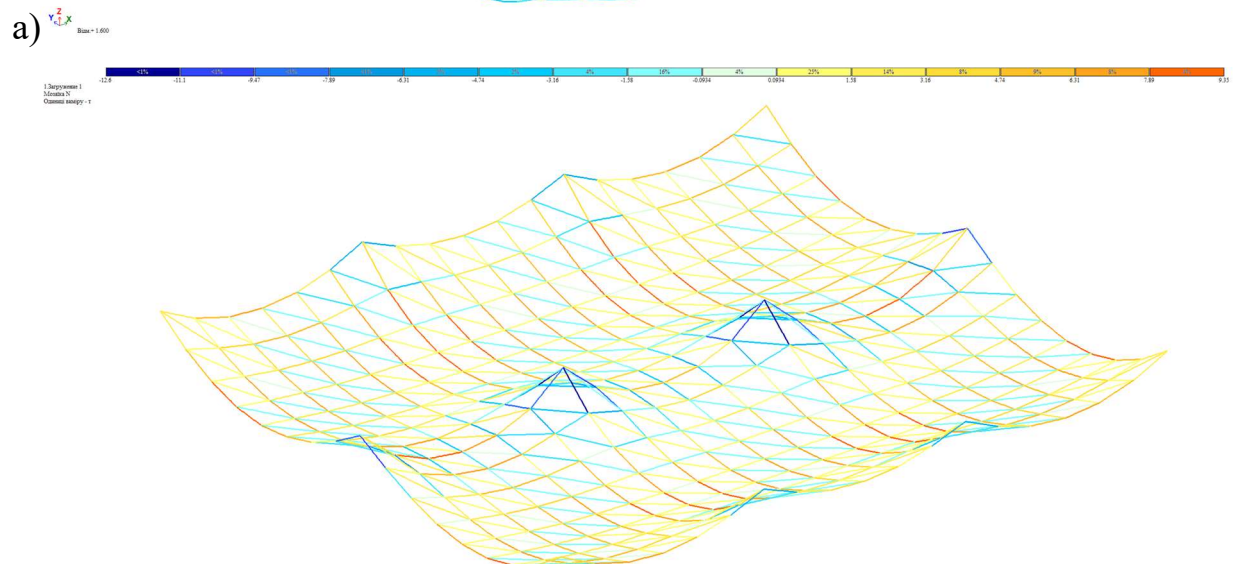
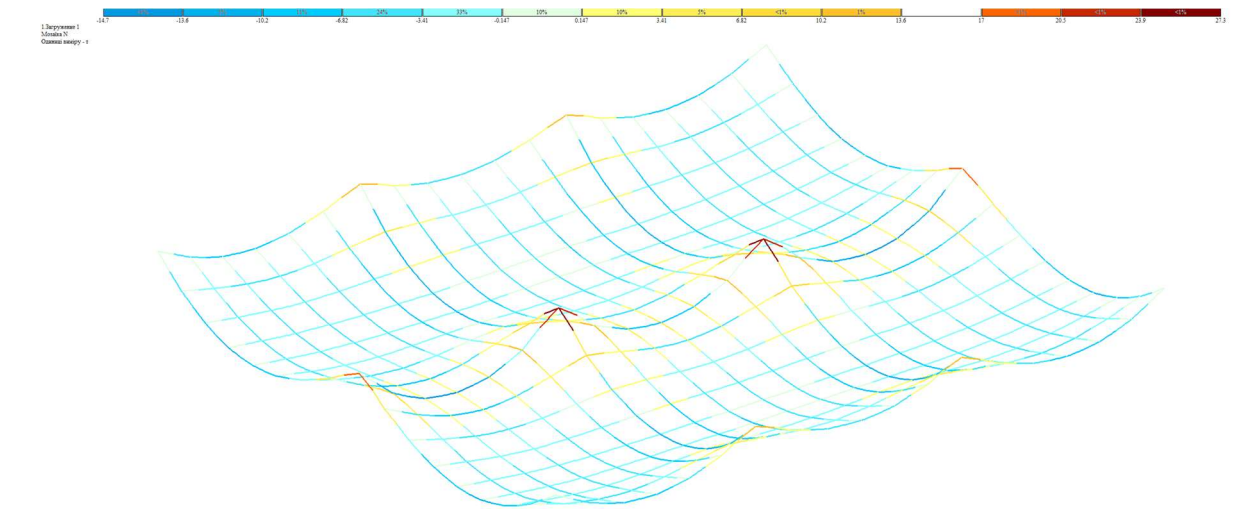
Рис. 6.5 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

Таблиця 6.5 Результат підбору перерізів груп стержнів після 1-ого ітераційного розрахунку для схеми №5

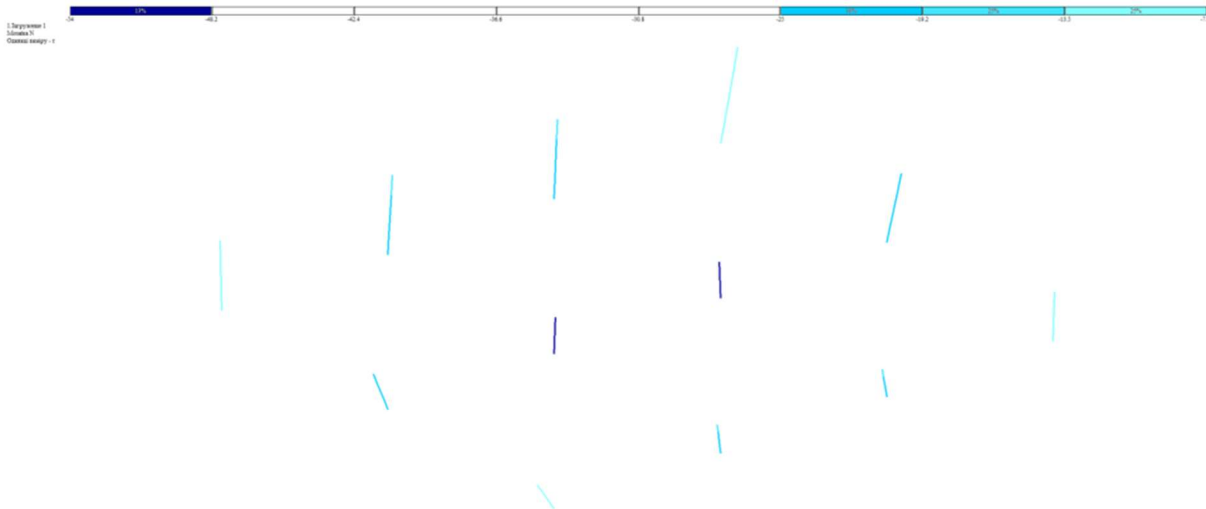
Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-30.9	-3.86	5	ТБ245 х 9.5
	2	-3.86	12.3	6	ТБ159 х 6.5
Нижній пояс	1	-6.46	3.32	7	ТБ89 х 4.5
	2	3.32	26.6	8	ТБ273 х 7
Решітка	1	-16.9	-0.169	9	ТБ146 х 9.5
	2	-0.169	17.2	10	ТБ203 х 6.5
Колони	1	-48	-22.2	11	ТБ550 х 9

## 6.1.6 Схема №6

На рисунку 6.6 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів плити:



в) Вид з 1.600



г)

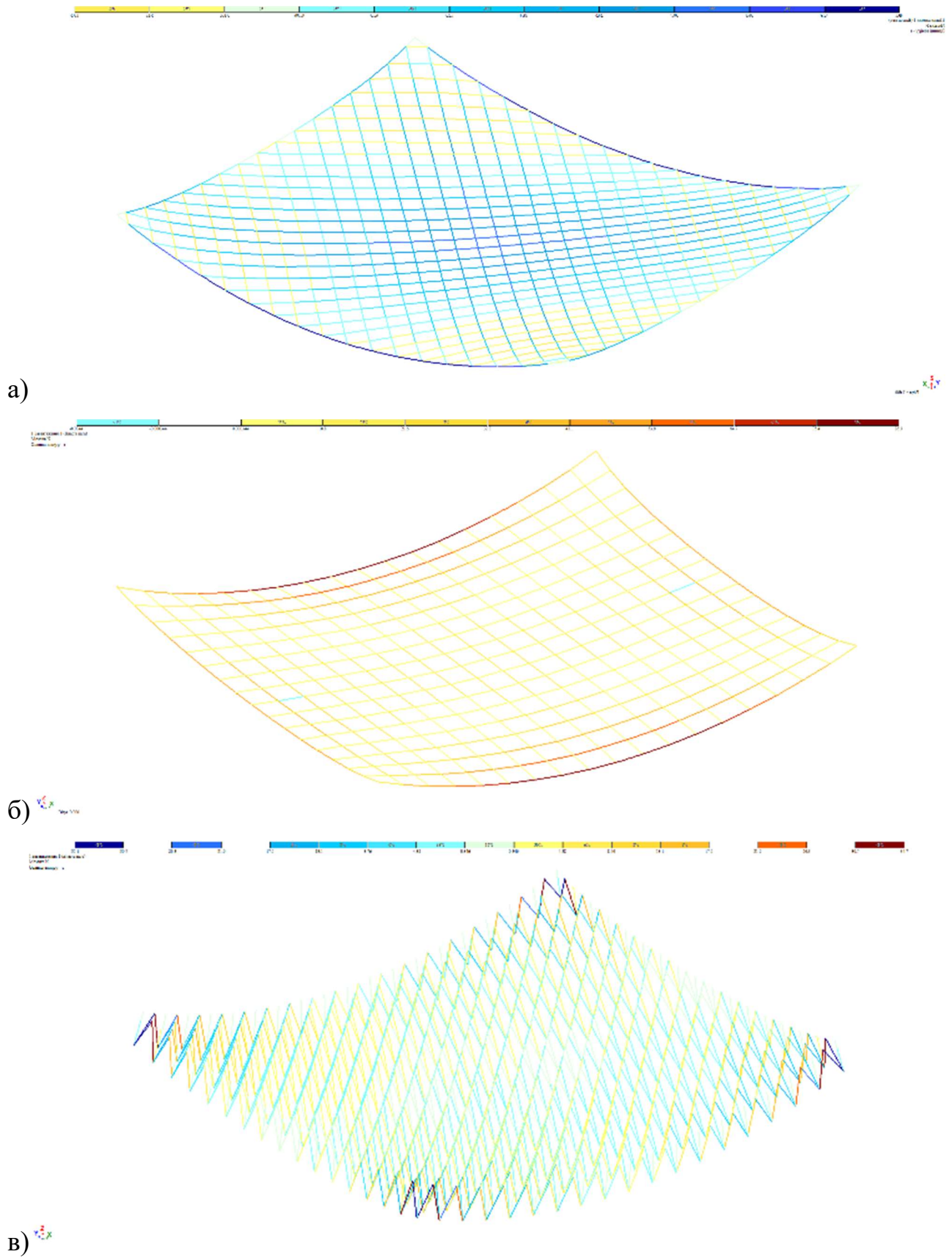
Рис. 6.6 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

Таблиця 6.6 Результат підбору перерізів груп стержнів після 1-ого ітераційного розрахунку для схеми №6

Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-14.7	-0.147	5	ТБ152 х 8
	2	-0.147	27.3	6	ТБ219 х 9
Нижній пояс	1	-12.6	0.0934	7	ТБ146 х 8
	2	0.0934	9.35	8	ТБ159 х 4.5
Решітка	1	-17.3	-0.173	9	ТБ140 х 11
	2	-0.173	17.5	10	ТБ194 х 7.5
Колони	1	-54	-7.67	11	ТБ325 х 8.5

### 6.1.7 Схема №7

На рисунку 6.7 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів плити:



г)

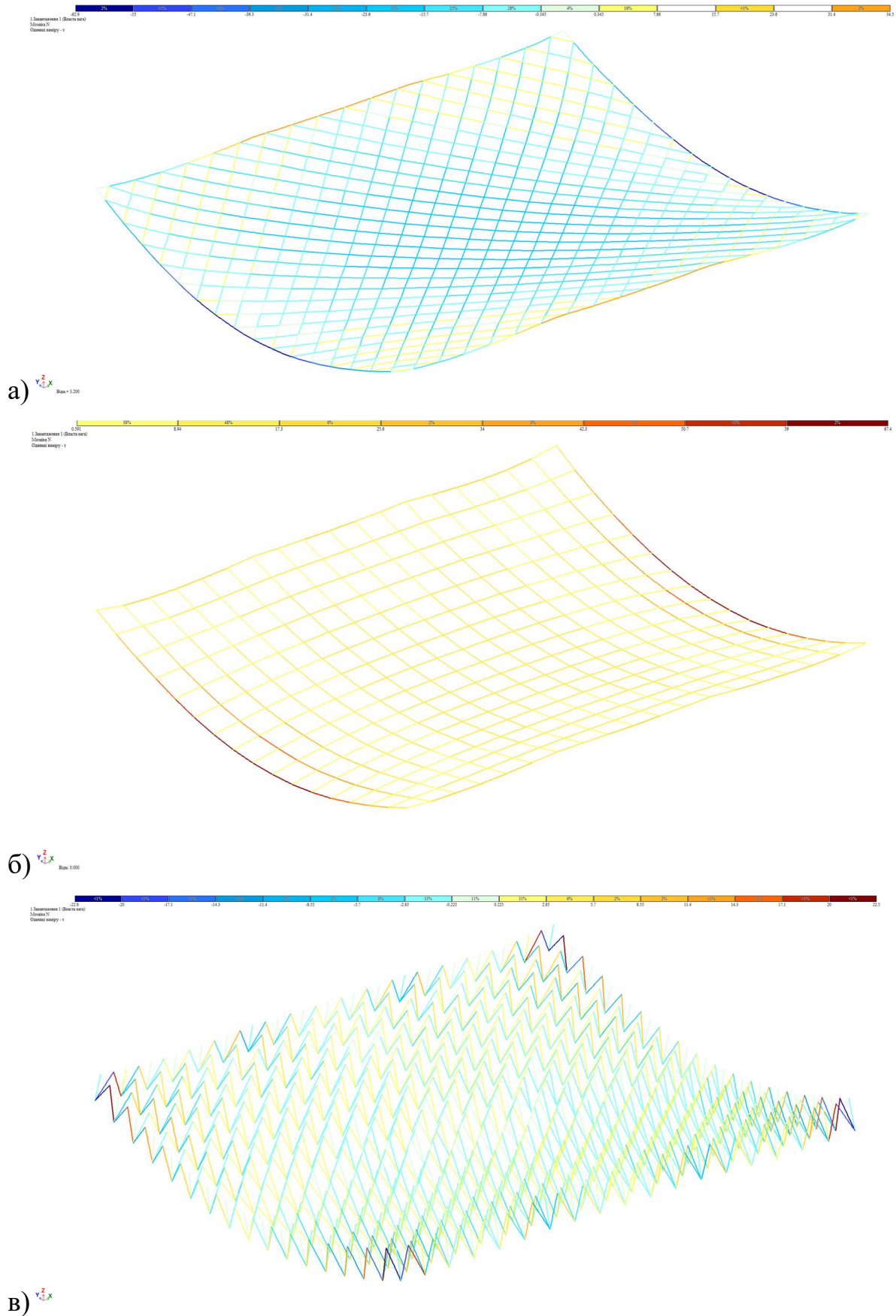
Рис. 6.7 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

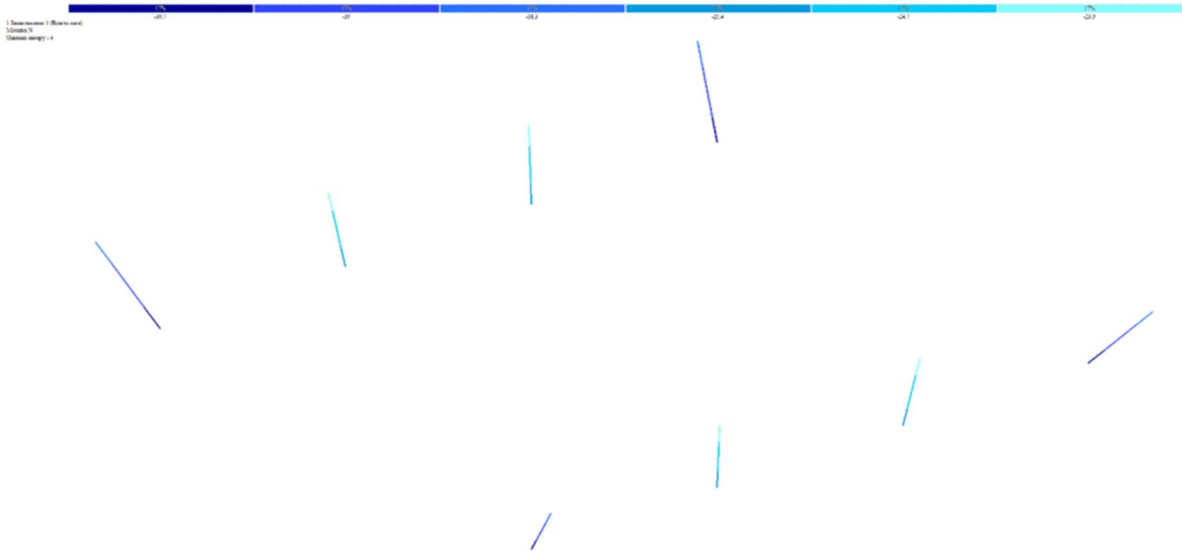
Таблиця 6.7 Результат підбору перерізів груп стержнів після 1-ого ітераційного розрахунку для схеми №7

Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-49.1	-12.3	5	ТБ245 х 10
	2	-12.3	10.6	6	ТБ114 х 5
Нижній пояс	1	-0.0344	21.6	7	ТБ168 х 6
	2	21.6	86.3	8	ТБ465 х 9
Решітка	1	-35.1	-0.346	9	ТБ168 х 11
	2	-0.346	34.7	10	ТБ203 х 9.5
Колони	1	-64.8	-63.3	11	ТБ530 х 9

### 6.1.8 Схема №8

На рисунку 6.8 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів плити:





г) 

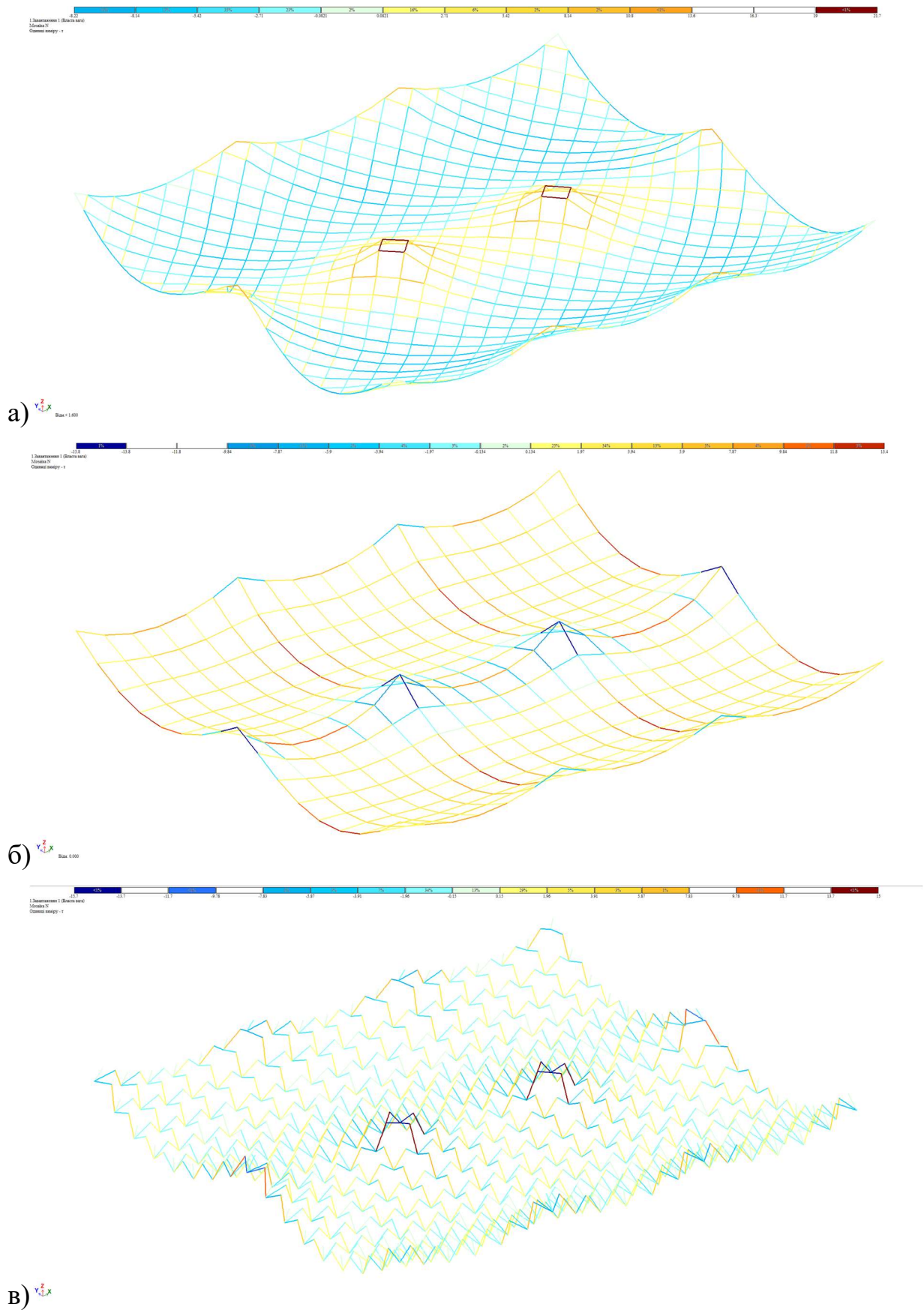
Рис. 6.8 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N дл конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

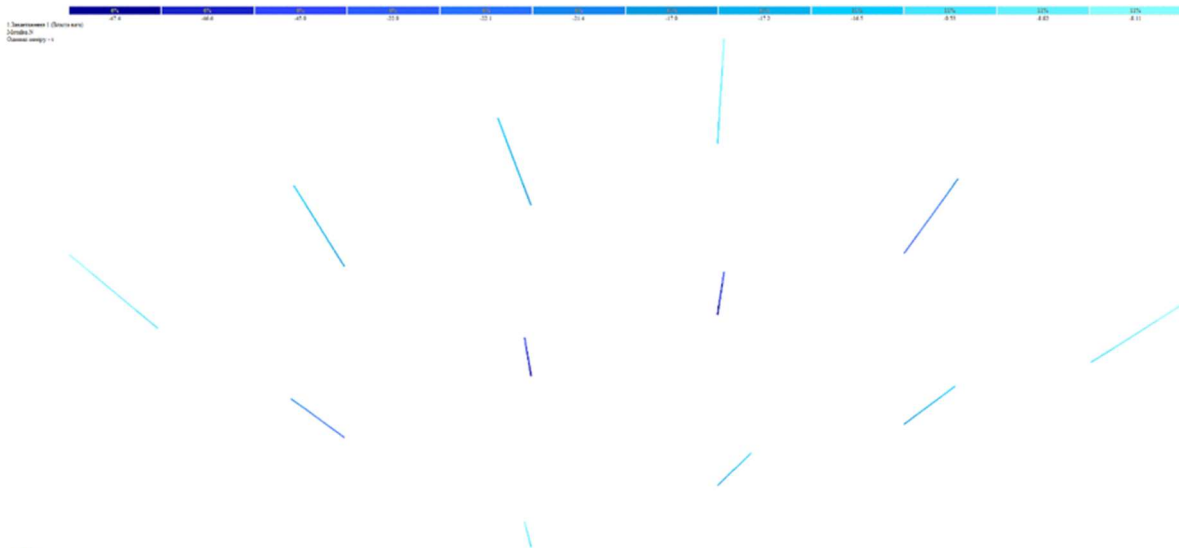
Таблиця 6.8 Результат підбору перерізів груп стержнів після 1-ого ітераційного розрахунку для схеми №8

Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-62.9	-7.86	5	ТБ219 х 18
	2	-7.86	34.5	6	ТБ219 х 8.5
Нижній пояс	1	0.591	17.3	7	ТБ152 х 6
	2	17.3	67.4	8	ТБ299 х 9
Решітка	1	-22.8	-0.225	9	ТБ114 х 5.5
	2	-0.225	22.5	10	ТБ168 х 5.5
Колони	1	-39.7	-23.9	11	ТБ377 х 9

### 6.1.9 Схема №9

На рисунку 6.9 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів плити:





г)

Рис. 6.9 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

Таблиця 6.9 Результат підбору перерізів груп стержнів після 1-ого ітераційного розрахунку для схеми №9

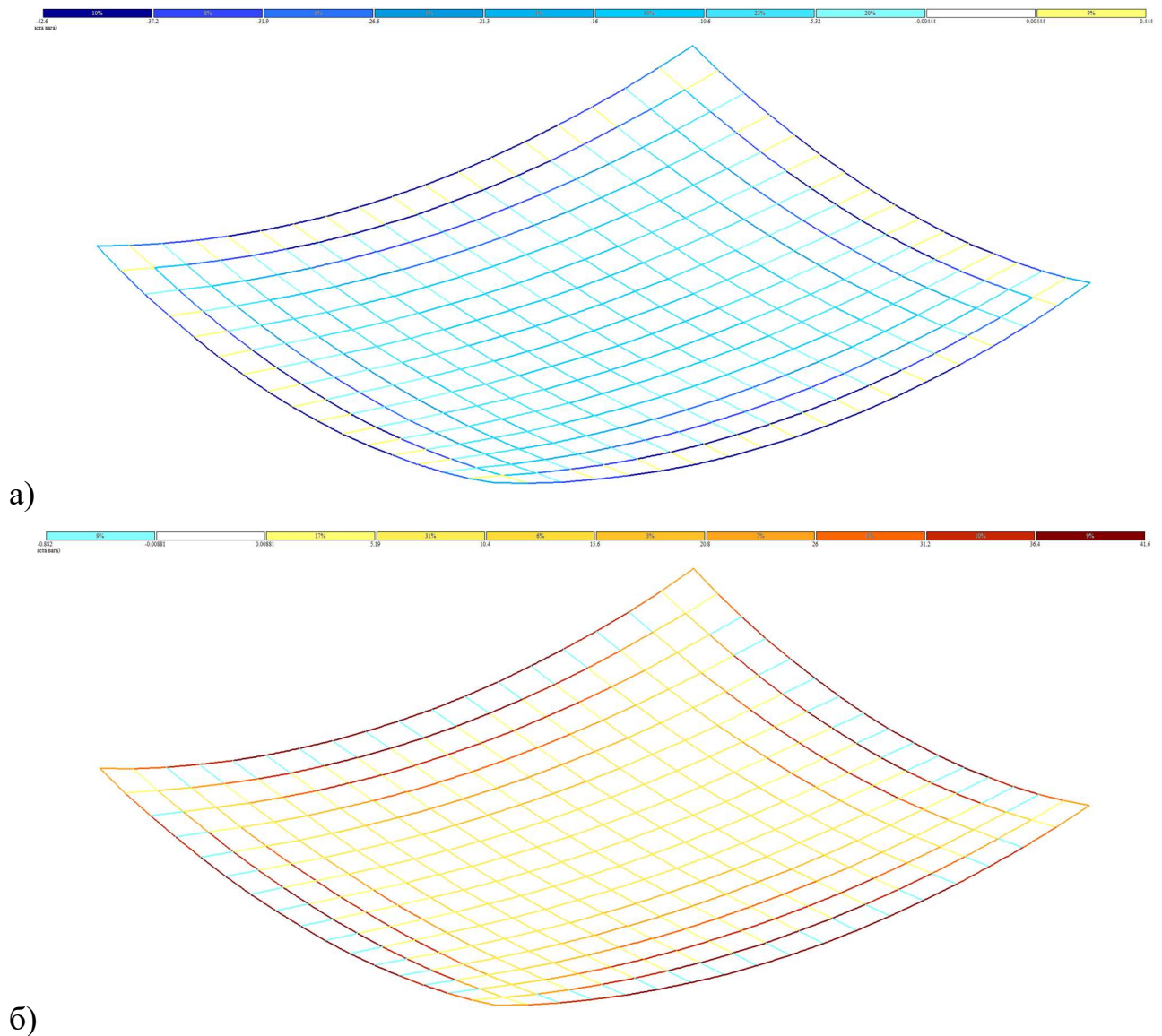
Тип елементів	Група	Діапазон зусилля $N$		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-8.22	2.71	5	ТБ95 х 4
	2	2.71	21.7	6	ТБ127 х 6
Нижній пояс	1	-15.8	1.97	7	ТБ68 х 9.5
	2	1.97	13.4	8	ТБ146 х 5
Решітка	1	-15.7	-0.15	9	ТБ108 х 9.5
	2	-0.15	15	10	ТБ140 х 6.5
Колони	1	-47.4	-8.11	11	ТБ245 х 7

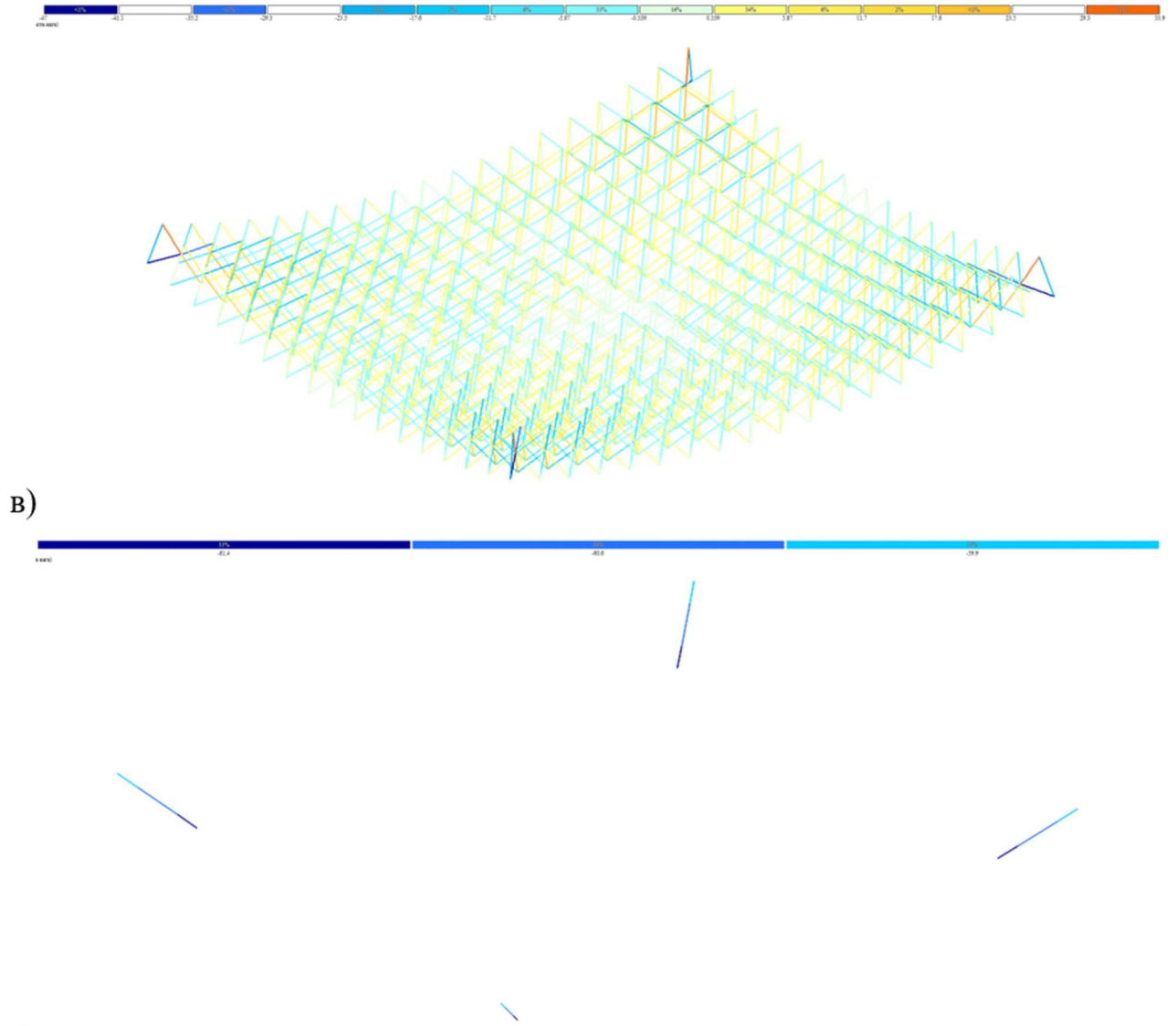
## 6.2 Ітераційний розрахунок №2 і підбір остаточних перерізів елементів

Виконаємо статичний розрахунок схем для визначення напружено-деформованого стану. Використовуючи результати 1-ого ітераційного розрахунку, визначені у пункті 6.1, застосуємо нові параметри жорсткості для кожної групи стержнів. Далі повторно виконаємо розрахунок металу та підбір оптимальних перерізів елементів. Визначаємо найбільший необхідний переріз елемента та приймаємо його для кожного стержня у групі, що розглядається.

### 6.2.1 Схема №1

На рисунку 6.10 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів плити:





В)

Г)

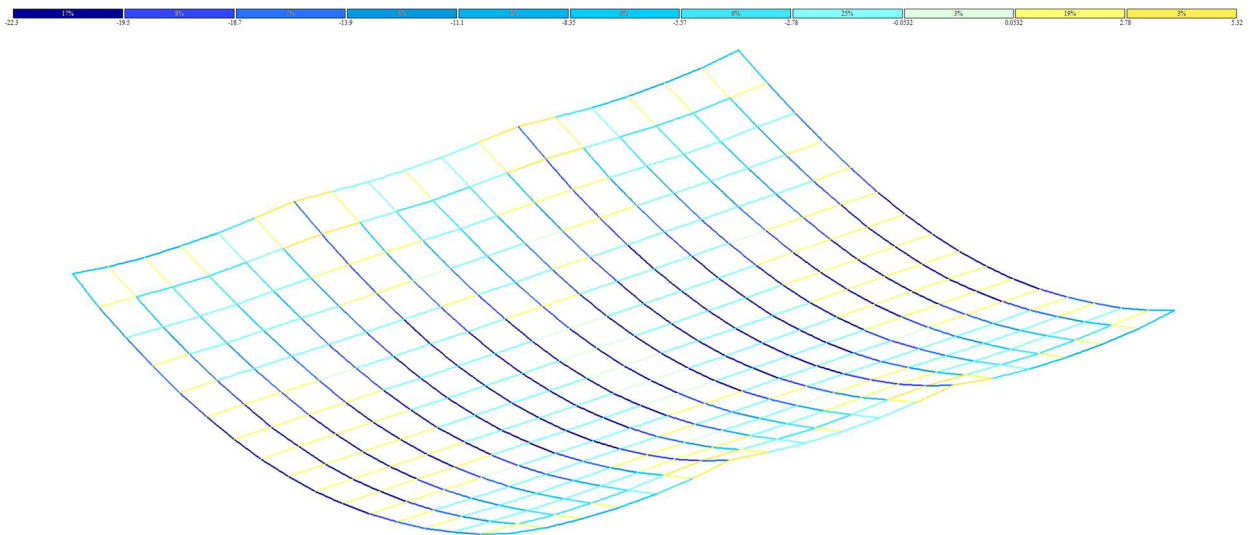
Рис. 6.10 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони – г

Таблиця 6.10 Результат підбору перерізів груп стержнів після 2-ого ітераційного розрахунку для схеми №1

Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-48.611	-24.3	5	ТБ 245 x 10
	2	-24.3	1.313	6	ТБ 127 x 9
Нижній пояс	1	-1.276	24.7	7	ТБ 159 x 4.5
	2	24.7	49.393	8	ТБ 299 x 7.5
Решітка	1	-47.371	-0.414	9	ТБ 194 x 15
	2	-0.414	41.385	10	ТБ 203 x 9.5
Колони	1	-61.361	-59.937	11	ТБ 500 x 9.5

### 6.2.2 Схема №2

На рисунку 6.11 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів плити:



a)

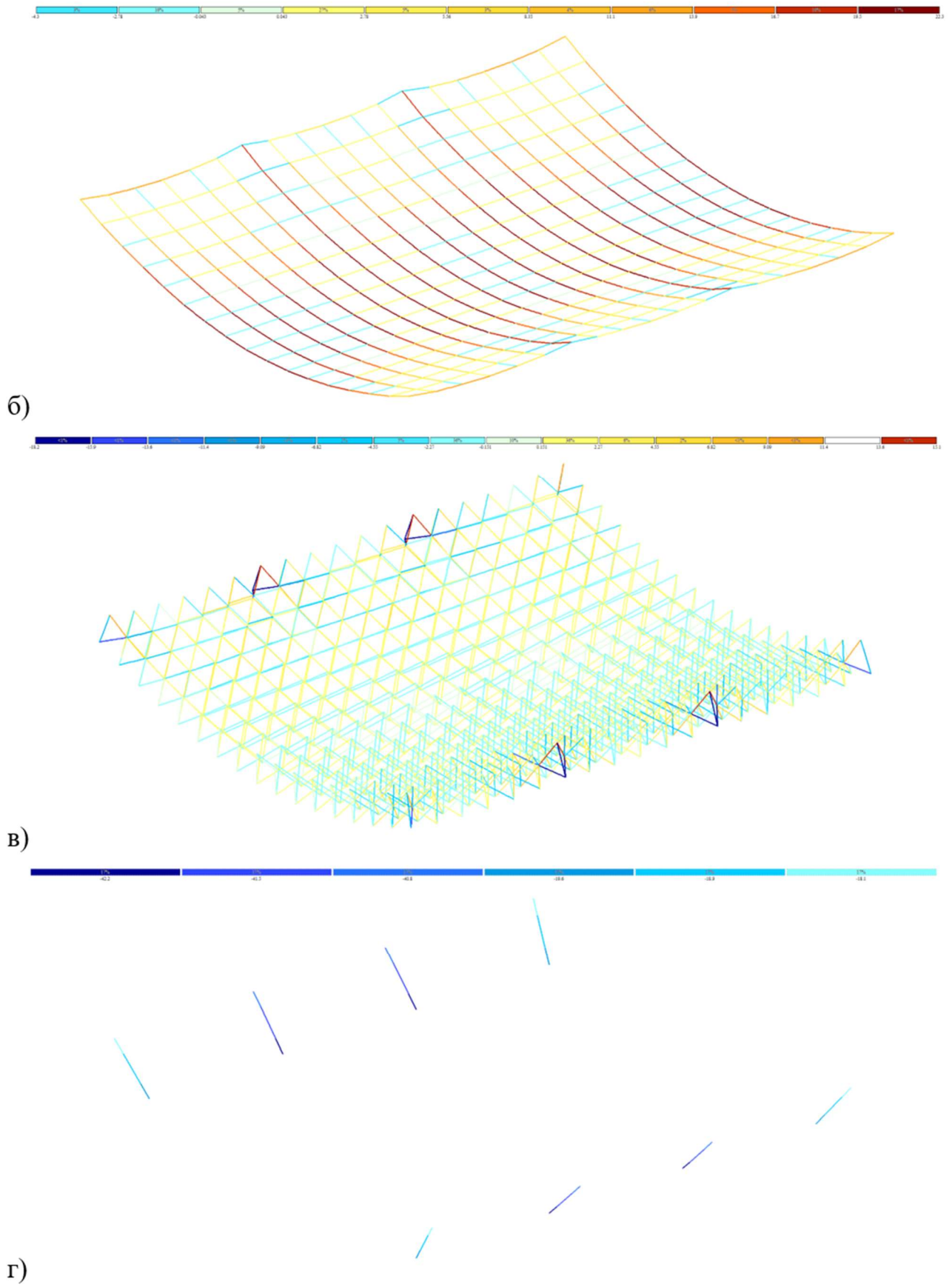


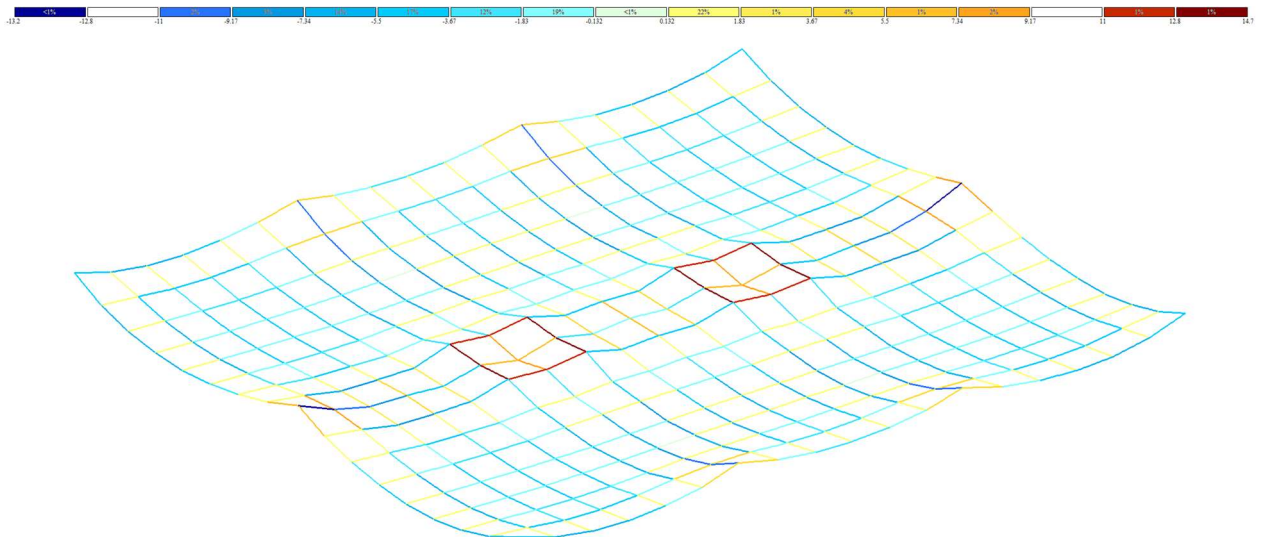
Рис. 6.11 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

Таблиця 6.11 Результат підбору перерізів груп стержнів після 2-ого ітераційного розрахунку для схеми №2

Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-22.713	-8.52	5	ТБ 152 x 8
	2	-8.52	6.068	6	ТБ 95 x 4
Нижній пояс	1	-3.901	5.83	7	ТБ 70 x 3
	2	5.83	23.333	8	ТБ 203 x 6
Решітка	1	-18.258	-0.15	9	ТБ 127 x 9
	2	-0.15	14.950	10	ТБ 159 x 5.5
Колони	1	-41.657	-18.729	11	ТБ 480 x 9

### 6.2.3 Схема №3

На рисунку 6.12 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів плити:



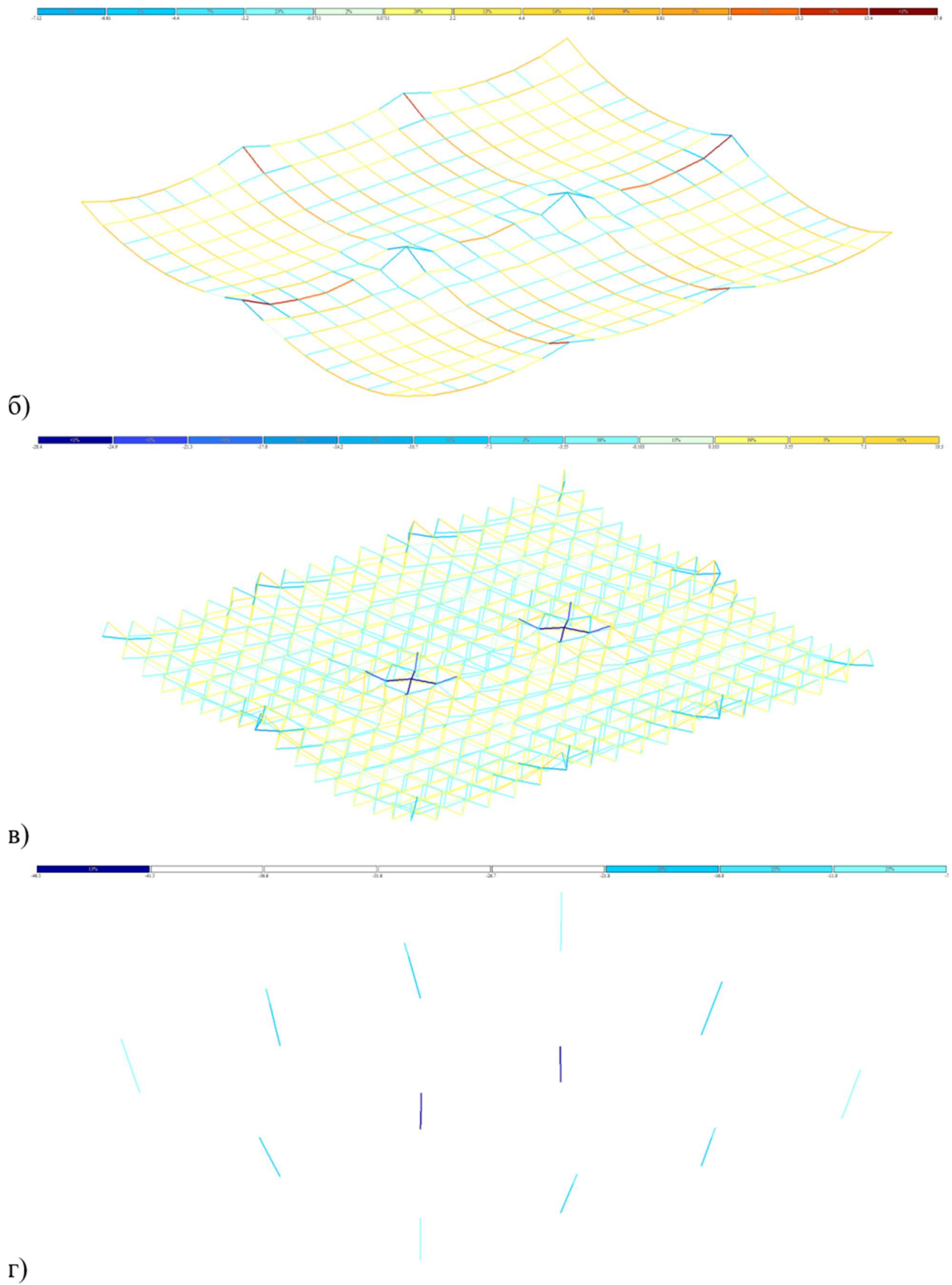


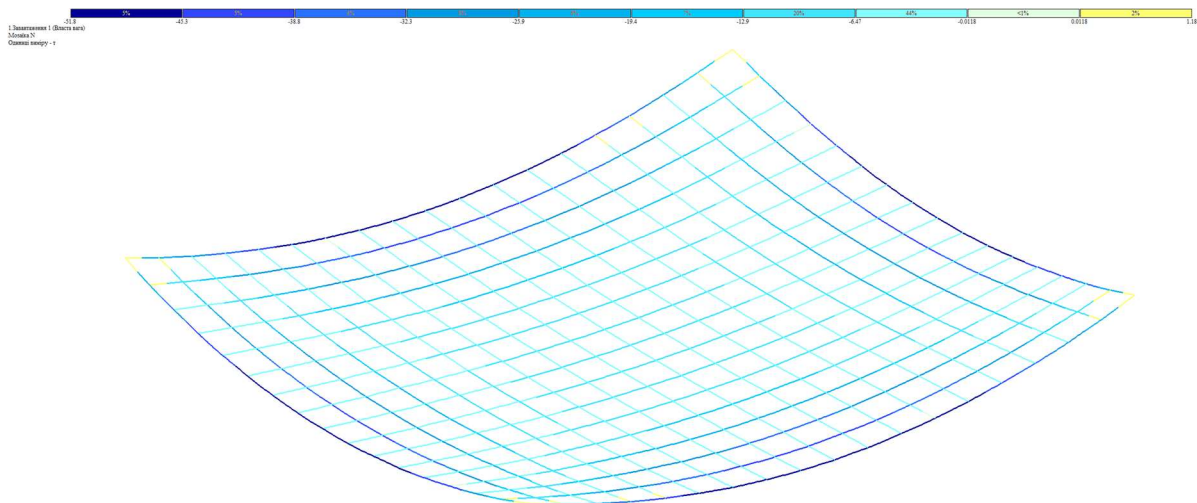
Рис. 6.12 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

Таблиця 6.12 Результат підбору перерізів груп стержнів після 2-ого ітераційного розрахунку для схеми №3

Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-16.785	-2.1	5	ТБ 114 x 7
	2	-2.1	12.074	6	ТБ 159 x 5.5
Нижній пояс	1	-7.794	2.43	7	ТБ 95 x 5
	2	2.43	19.416	8	ТБ 180 x 5.5
Решітка	1	-26.142	-0.128	9	ТБ 146 x 10
	2	-0.128	12.792	10	ТБ 127 x 4.5
Колони	1	-41.753	-7.502	11	ТБ 325 x 8.5

#### 6.2.4 Схема №4

На рисунку 6.13 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів плити:



а)  Вісь = 1.000

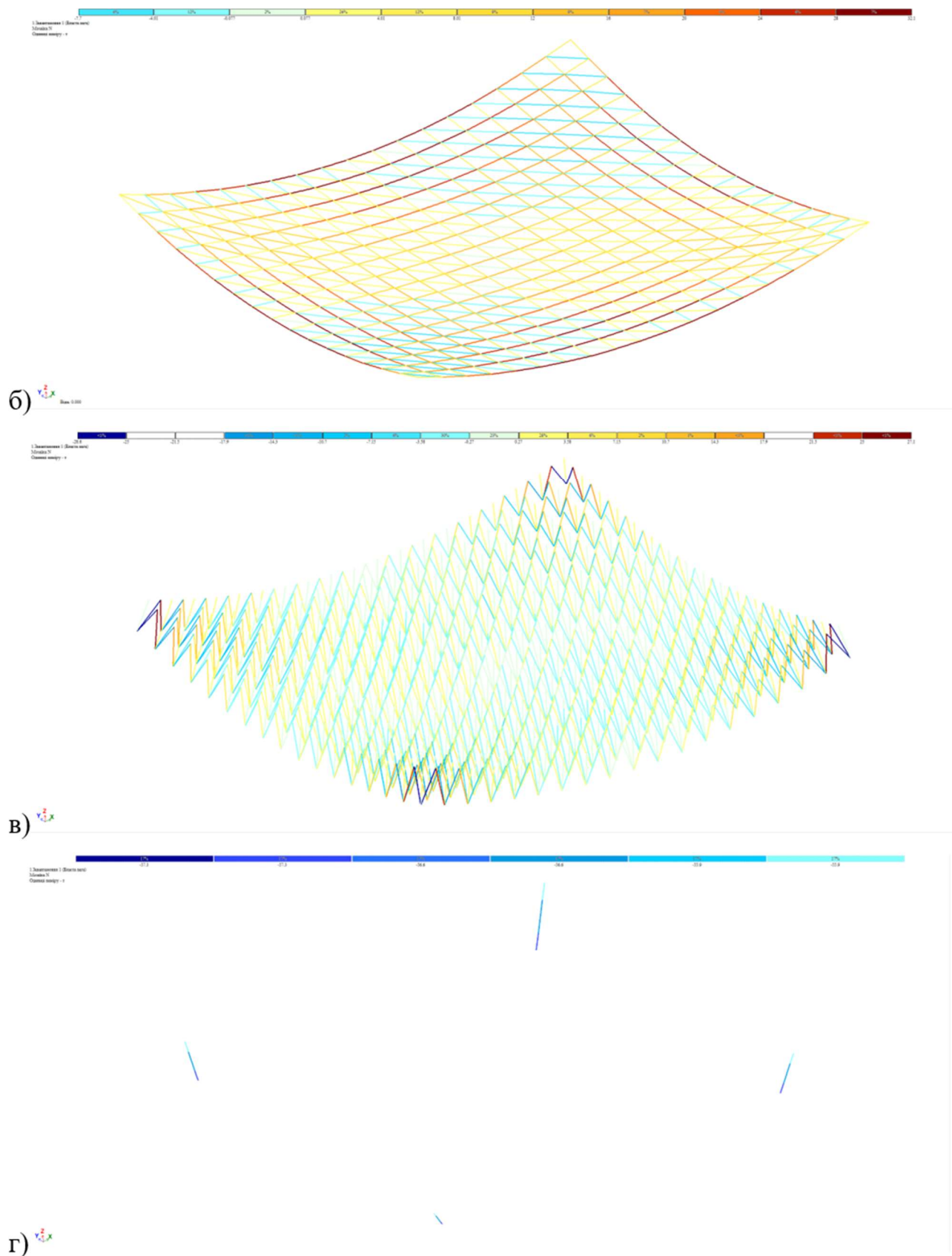


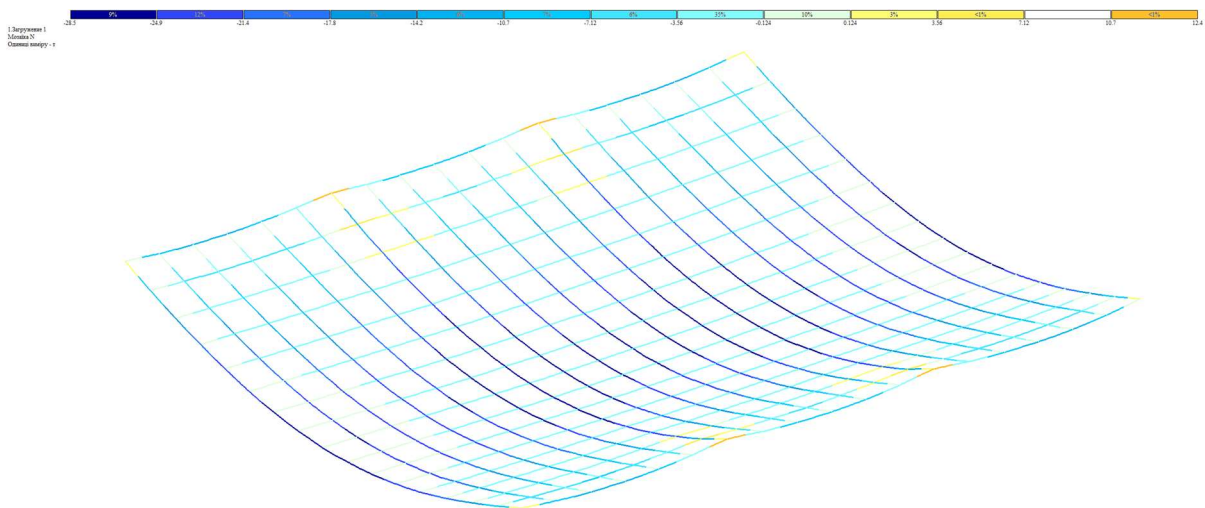
Рис. 6.13 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

Таблиця 6.13 Результат підбору перерізів груп стержнів після 2-ого ітераційного розрахунку для схеми №4

Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-56.5	-14.1	5	ТБ560 х 9.5
	2	-14.1	0.176	6	ТБ146 х 9.5
Нижній пояс	1	-11.4	7.65	7	ТБ146 х 4.5
	2	7.65	30.6	8	ТБ351 х 9
Решітка	1	-29.4	-0.291	9	ТБ203 х 15
	2	-0.291	29.1	10	ТБ245 х 10
Колони	1	-57.4	-55.8	11	ТБ820 х 15

### 6.2.5 Схема №5

На рисунку 6.14 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів плити:



а)  Вікн = 1300

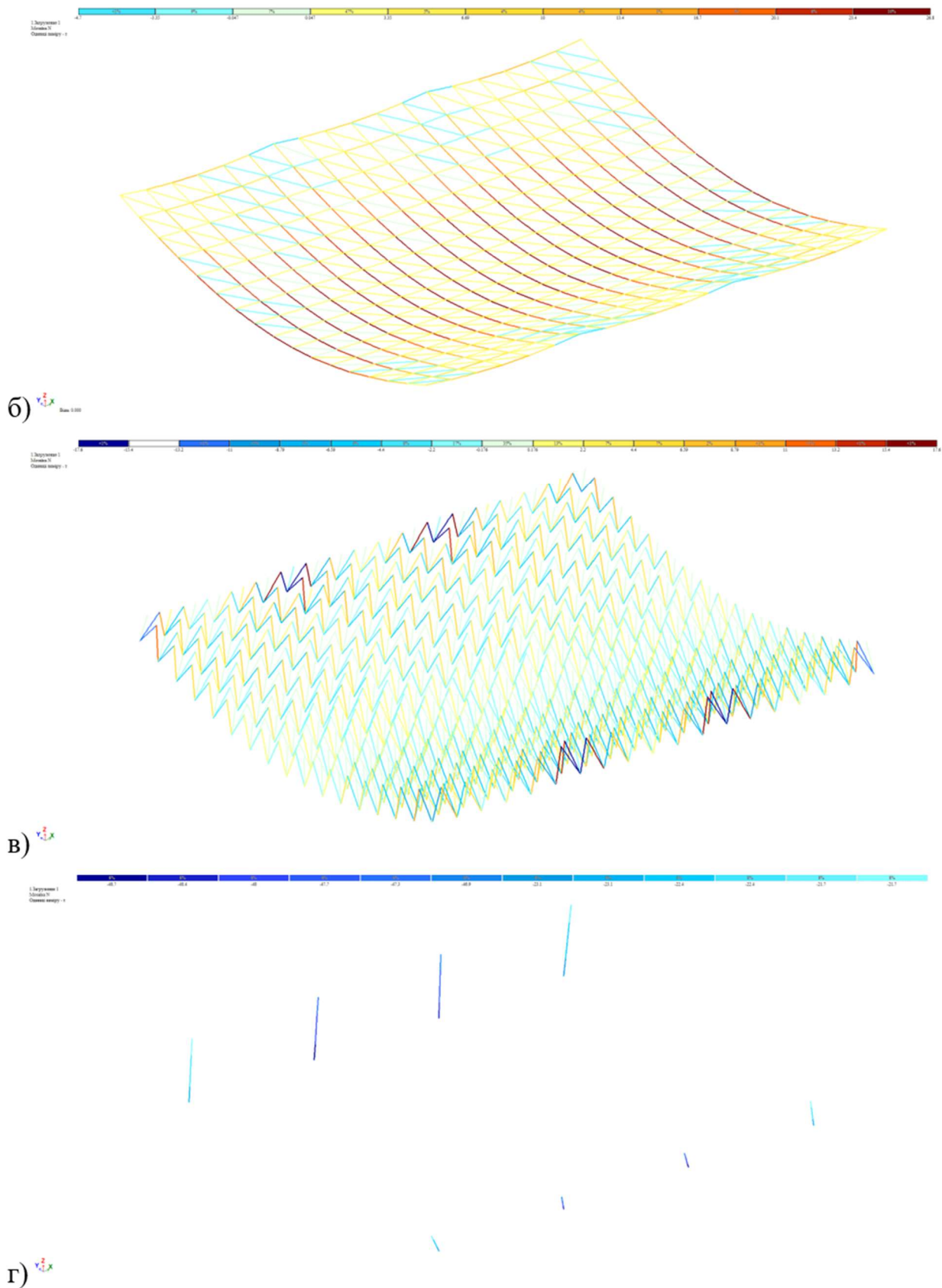


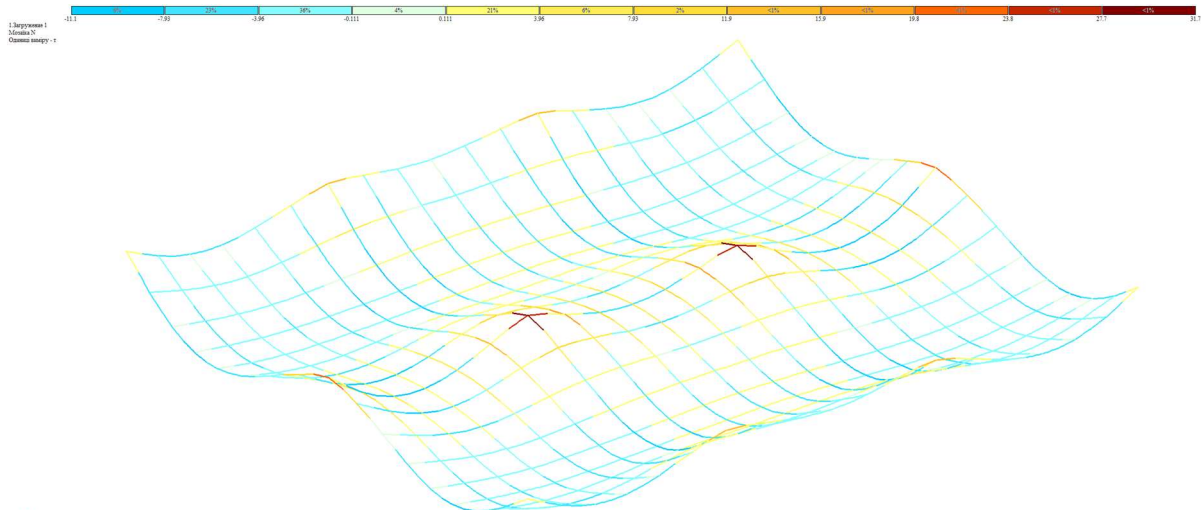
Рис. 6.14 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

Таблиця 6.14 Результат підбору перерізів груп стержнів після 2-ого ітераційного розрахунку для схеми №5

Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-30.9	-3.86	5	ТБ245 х 9.5
	2	-3.86	12.3	6	ТБ89 х 13
Нижній пояс	1	-6.46	3.32	7	ТБ89 х 4.5
	2	3.32	26.6	8	ТБ273 х 7
Решітка	1	-16.9	-0.169	9	ТБ146 х 9.5
	2	-0.169	17.2	10	ТБ152 х 9.5
Колони	1	-48	-22.2	11	ТБ720 х 9

### 6.2.6 Схема №6

На рисунку 6.15 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів плити:



a) Вік-1.60

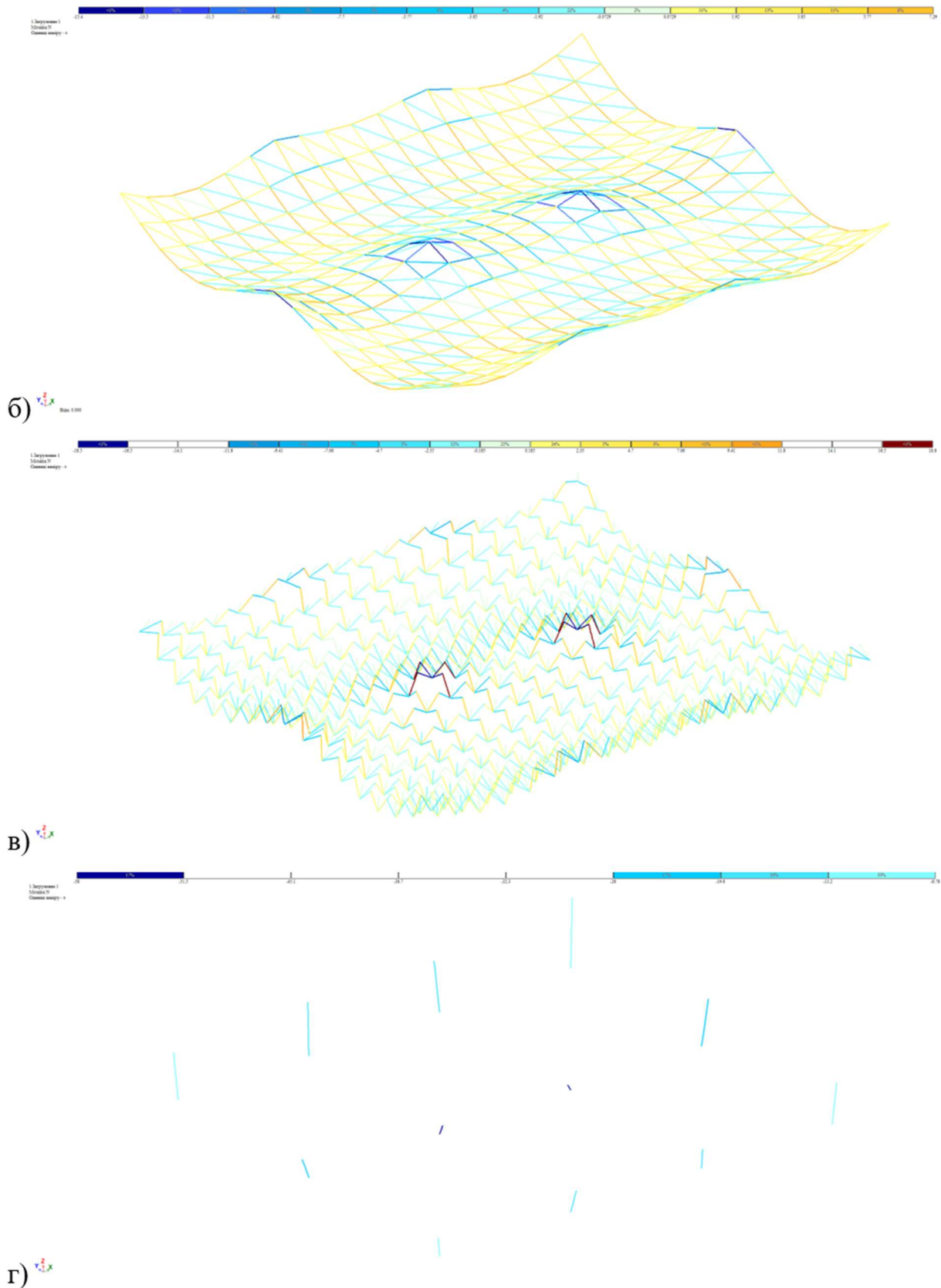


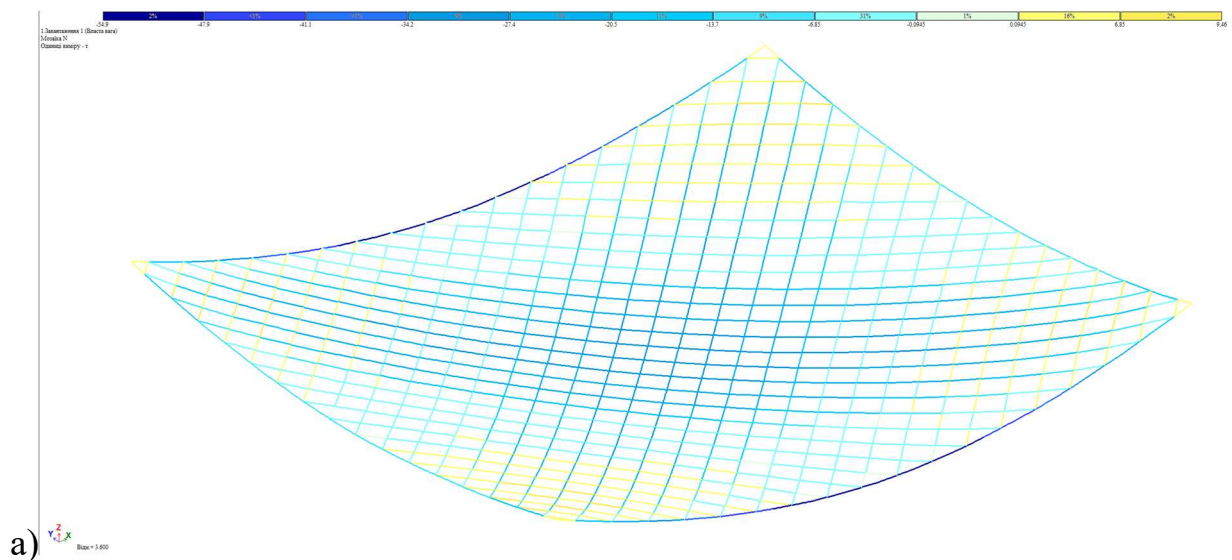
Рис. 6.15 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

Таблиця 6.15 Результат підбору перерізів груп стержнів після 2-ого ітераційного розрахунку для схеми №6

Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-14.7	-0.147	5	ТБ102 х 5.5
	2	-0.147	27.3	6	ТБ245 х 9.5
Нижній пояс	1	-12.6	0.0934	7	ТБ146 х 8
	2	0.0934	9.35	8	ТБ140 х 4.5
Решітка	1	-17.3	-0.173	9	ТБ146 х 12
	2	-0.173	17.5	10	ТБ245 х 6.5
Колони	1	-54	-7.67	11	ТБ377 х 14

### 6.2.7 Схема №7

На рисунку 6.16 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів плити:



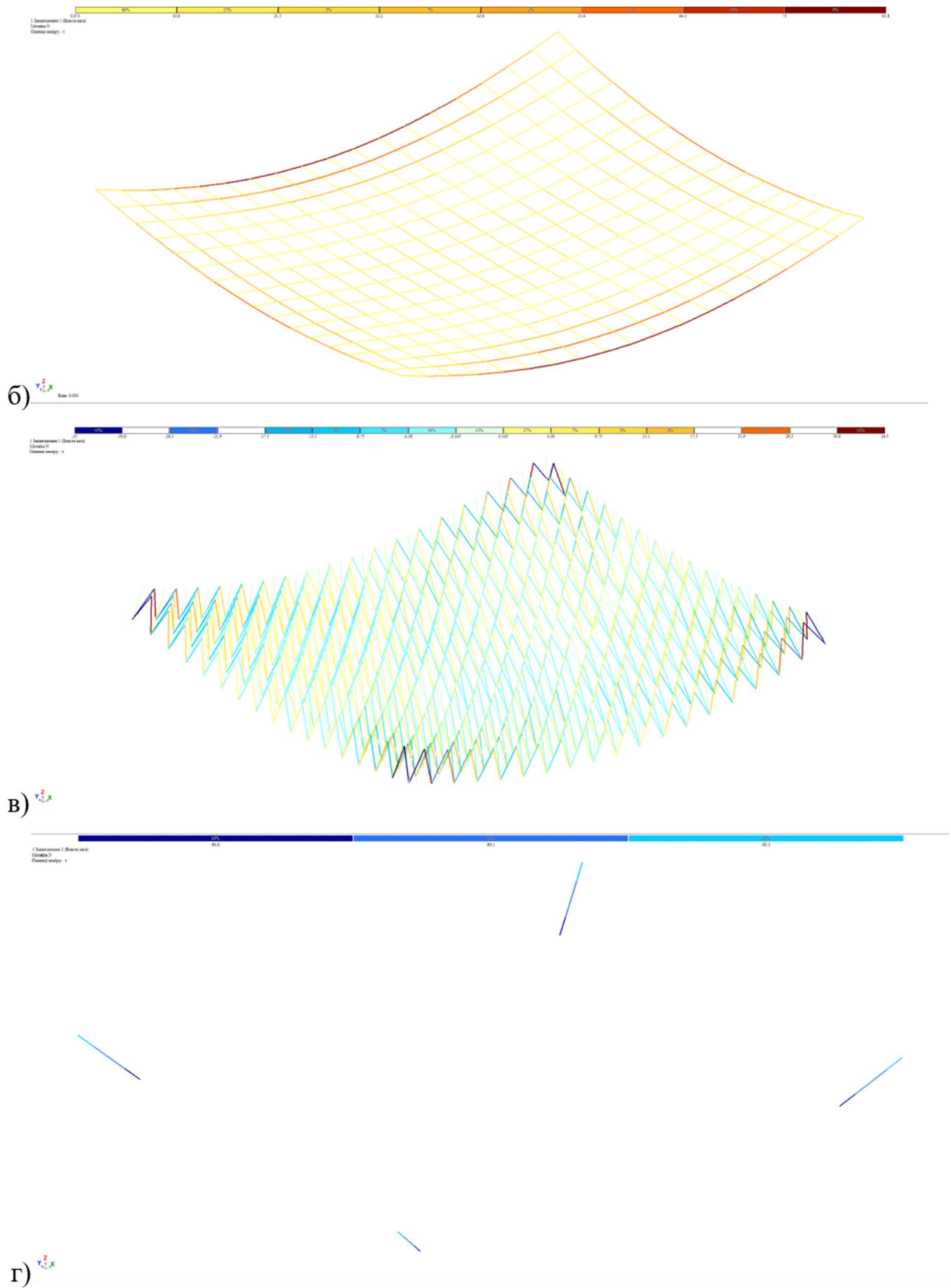


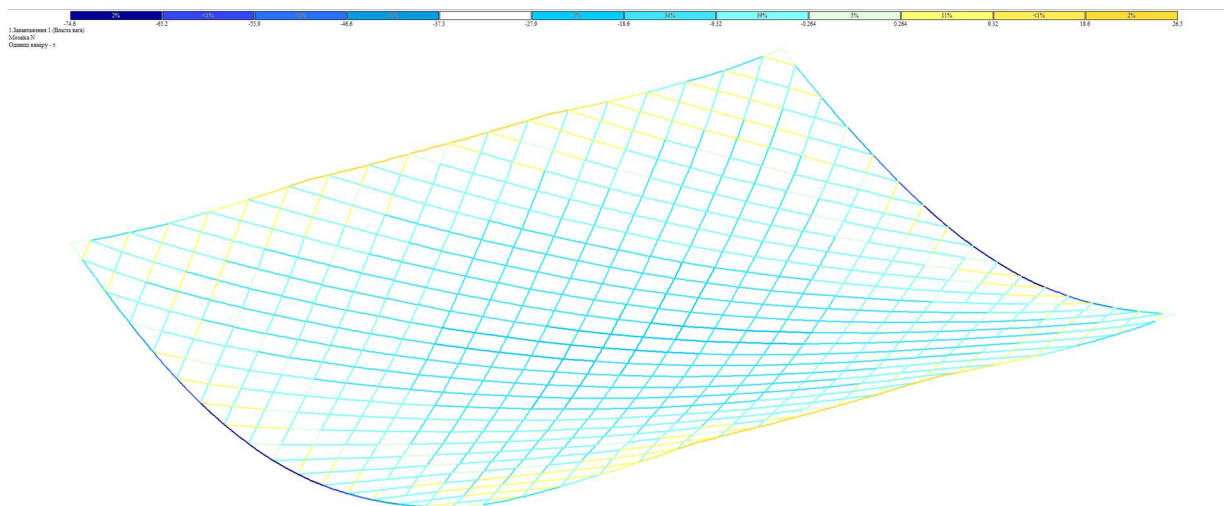
Рис. 6.16 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

Таблиця 6.16 Результат підбору перерізів груп стержнів після 2-ого ітераційного розрахунку для схеми №7

Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-49.1	-12.3	5	ТБ194 х 17
	2	-12.3	10.6	6	ТБ95 х 4
Нижній пояс	1	-0.0344	21.6	7	ТБ152 х 5
	2	21.6	86.3	8	ТБ465 х 9.5
Решітка	1	-35.1	-0.346	9	ТБ152 х 14
	2	-0.346	34.7	10	ТБ203 х 9.5
Колони	1	-64.8	-63.3	11	ТБ630 х 9

### 6.2.8 Схема №8

На рисунку 6.17 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів плити:



a)  Вікн + 1:200

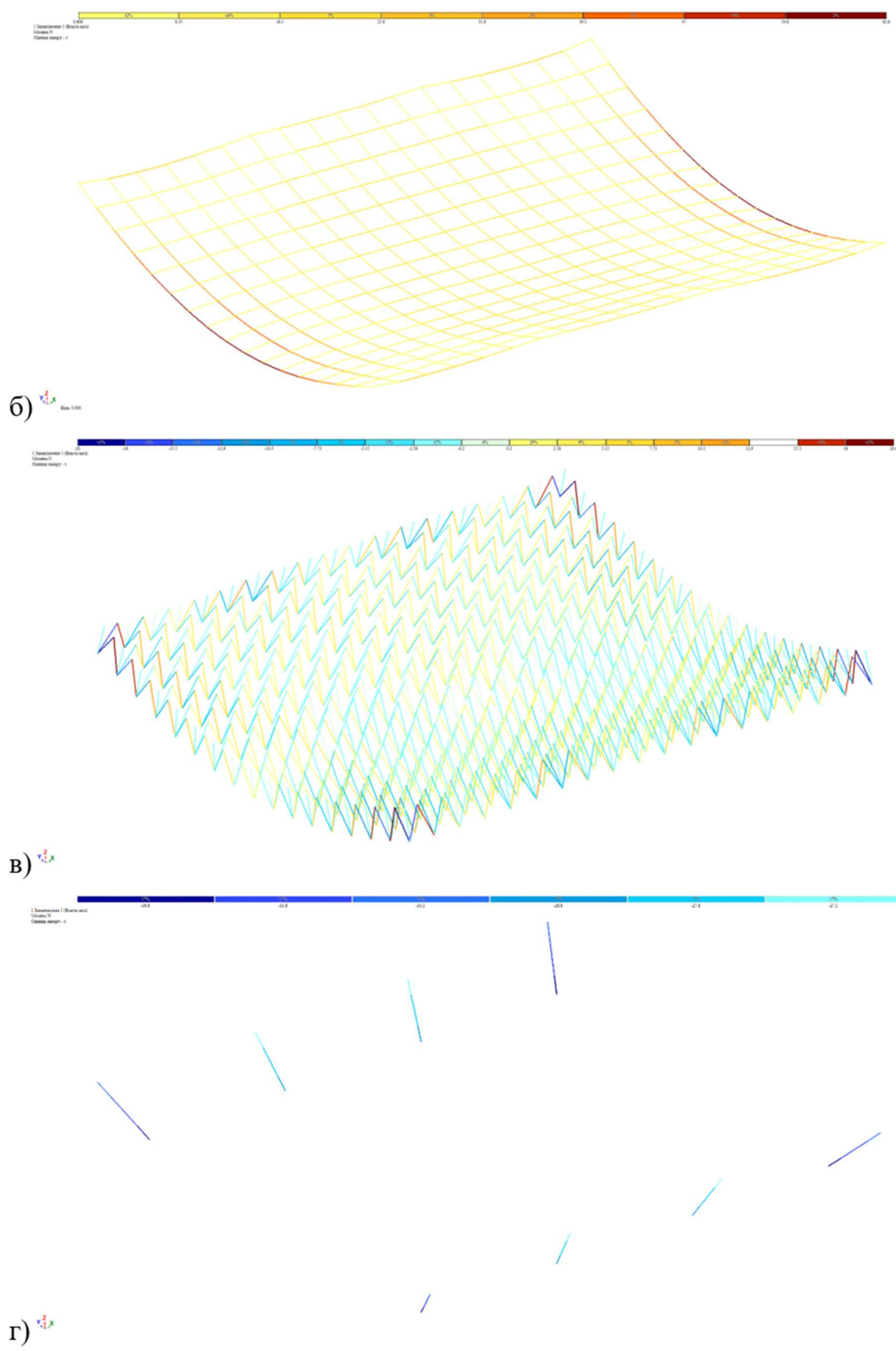


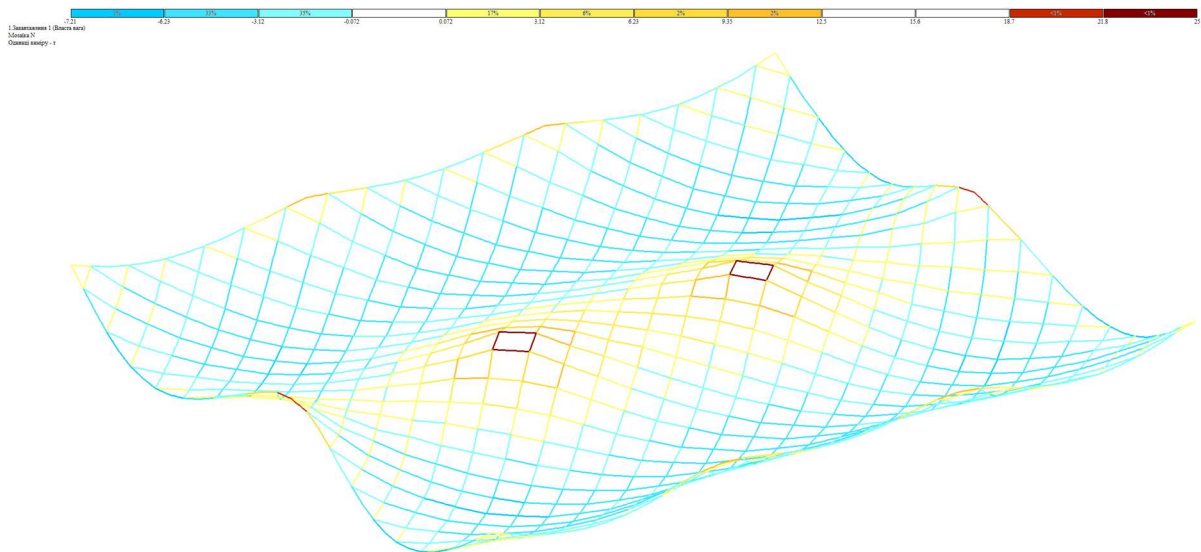
Рис. 6.17 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

Таблиця 6.17 Результат підбору перерізів груп стержнів після 2-ого ітераційного розрахунку для схеми №8

Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-62.9	-7.86	5	ТБ299 х 15
	2	-7.86	34.5	6	ТБ168 х 9
Нижній пояс	1	0.591	17.3	7	ТБ159 х 4.5
	2	17.3	67.4	8	ТБ377 х 9
Решітка	1	-22.8	-0.225	9	ТБ102 х 7
	2	-0.225	22.5	10	ТБ159 х 5.5
Колони	1	-39.7	-23.9	11	ТБ351 х 9

### 6.2.9 Схема №9

На рисунку 6.18 наведена деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля N для конструктивних груп стержнів плити:



a)  Вікн = 1:600

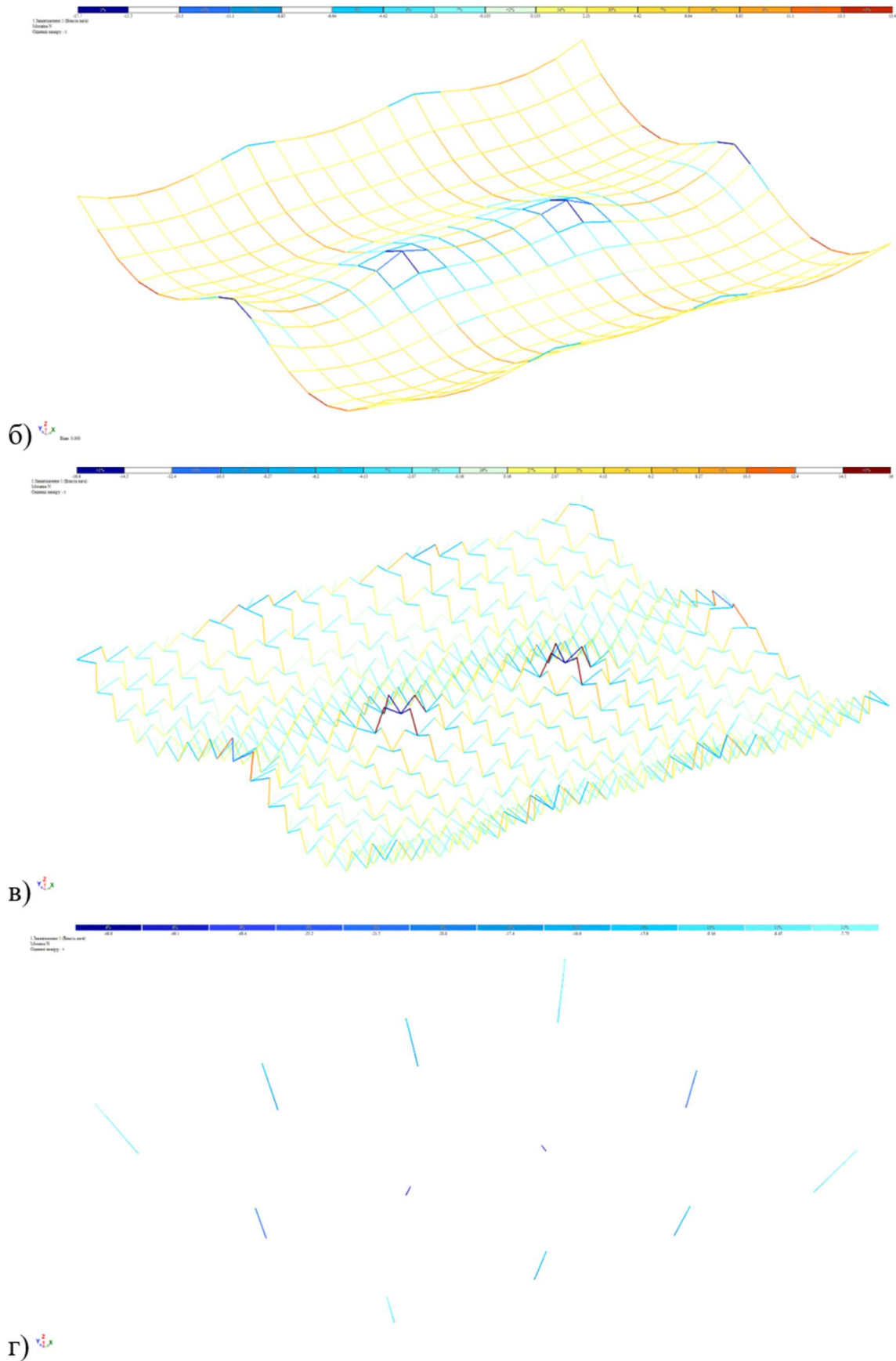


Рис. 6.18 Деформована схема та мозаїка внутрішнього зусилля  $N$  для конструктивних груп стержнів: верхній пояс – а; нижній пояс – б; - елементи решітки – в; колони - г

Таблиця 6.18 Результат підбору перерізів груп стержнів після 2-ого ітераційного розрахунку для схеми №9

Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N		№ типу жорсткості	Профіль
Верхній пояс	1	-8.22	2.71	5	ТБ95 х 4
	2	2.71	21.7	6	ТБ194 х 5.5
Нижній пояс	1	-15.8	1.97	7	ТБ95 х 4
	2	1.97	13.4	8	ТБ95 х 4
Решітка	1	-15.7	-0.15	9	ТБ102 х 11
	2	-0.15	15	10	ТБ140 х 7
Колони	1	-47.4	-8.11	11	ТБ273 х 7

### 6.3 Визначення загальної ваги конструкції

Використовуючи дані сортаменту ДСТУ 8938:2019 визначаємо вагу одного метра погонного підбраного профілю для елементів кожної групи. Знаючи їх кількість та довжину кожного елемента знаходимо загальну довжину та вагу. Сума ваги всіх груп елементів і буде загальною для всієї конструкції.

У таблицях 6.19-6.27 показані результати визначення ваги конструкції за кожною з розглянутих розрахункових схем згідно параметрів жорсткості елементів, підібраних за другим ітераційним розрахунком:

Таблиця 6.19 Вага конструкції за схемою №1

Тип елементів	Профіль	Вага 1м.п. (т)	Кількість елементів, (шт)	Довжина одного елемента, (м)	Загальна довжина елементів, (м)	Вага елементів, (т)
Верхній пояс	ТБ 245 х 10	0.057931	168	3	504	29.19717
	ТБ 127 х 9	0.02618	442	3	1326	34.71441
Нижній пояс	ТБ 159 х 4.5	0.017139	386	3	1158	19.84685
	ТБ 299 х 7.5	0.053894	224	3	672	36.2169
Решітка	ТБ 194 х 15	0.066189	864	2.78209	2446.926	161.9598
			12	3.6		
	ТБ 203 х 9.5	0.045316	1440	2.78209	4207.81	190.679
			56	3.6		
Колони	ТБ 500 х 9.5	0.11487	4	6.2	24.8	2.848776
Загальна вага конструкції, (т)						475.4629

Таблиця 6.20 Вага конструкції за схемою №2

Тип елементів	Профіль	Вага 1м.п. (т)	Кількість елементів, (шт)	Довжина одного елемента, (м)	Загальна довжина елементів, (м)	Вага елементів, (т)
Верхній пояс	ТБ 152 х 8	0.028399	242	3	726	20.61731
	ТБ 95 х 4	0.008973	368	3	1104	9.906336
Нижній пояс	ТБ 70 х 3	0.004955	342	3	1026	5.083768
	ТБ 203 х 6	0.029138	268	3	804	23.42695
Решітка	ТБ 127 х 9	0.02618	1048	2.66	2877.28	75.32661
			28	3.2		
	ТБ 159 х 5.5	0.020812	2304	2.66	6256.64	130.2132
			40	3.2		
Колони	ТБ 480 х 9	0.104497	8	6.2	49.6	5.183051
Загальна вага конструкції, (т)						269.7572

Таблиця 6.21 Вага конструкції за схемою №3

Тип елементів	Профіль	Вага 1м.п. (т)	Кількість елементів, (шт)	Довжина одного елементу, (м)	Загальна довжина елементів, (м)	Вага елементів, (т)
Верхній пояс	ТБ 114 х 7	0.018464	318	3	954	17.61456
	ТБ 159 х 5.5	0.020812	292	3	876	18.23131
Нижній пояс	ТБ 95 х 5	0.011093	351	3	1053	11.68114
	ТБ 180 х 5.5	0.023659	259	3	777	18.3832
Решітка	ТБ 146 х 10	0.033526	1035	2.27	2413.45	80.91332
			40	1.6		
	ТБ 127 х 4.5	0.013589	1269	2.27	2925.43	39.75396
			28	1.6		
Колони	ТБ 325 х 8.5	0.066319	12	6.2	74.4	4.934096
Загальна вага конструкції, (т)						191.5116

Таблиця 6.22 Вага конструкції за схемою №4

Тип елементів	Профіль	Вага 1м.п. (т)	Кількість елементів, (шт)	Довжина одного елементу, (м)	Загальна довжина елементів, (м)	Вага елементів, (т)
Верхній пояс	ТБ560 х 9.5	0.1289	420	1.5	630	81.207
	ТБ146 х 9.5	0.03197	802	1.5	1203	38.45991
Нижній пояс	ТБ146 х 4.5	0.0157	182 252	3 4.24264	1615.14528	25.3577809
	ТБ351 х 9	0.07588	428 36	3 4.24264	1436.73504	109.0194548
Решітка	ТБ203 х 15	0.06952	486 4	3.9 3.6	1909.8	132.769296
	ТБ245 х 10	0.05793	633 320	3.9 3.6	3620.7	209.747151
Колони	ТБ820 х 15	0.2977	4	6.2	24.8	7.38296
Загальна вага конструкції, (т)						603.9435527

Таблиця 6.23 Вага конструкції за схемою №5

Тип елементів	Профіль	Вага 1м.п. (т)	Кількість елементів, (шт)	Довжина одного елементу, (м)	Загальна довжина елементів, (м)	Вага елементів, (т)
Верхній пояс	ТБ245 х 9.5	0.05515	420	1.5	630	34.7445
	ТБ89 х 13	0.02436	802	1.5	1203	29.30508
Нижній пояс	ТБ89 х 4.5	0.009374	182 252	3 4.24264	1615.14528	15.14037185
	ТБ273 х 7	0.0459	428 36	3 4.24264	1436.73504	65.94613834
Решітка	ТБ146 х 9.5	0.03197	486 4	3.53412 3.2	1730.38232	55.32032277
	ТБ152 х 9.5	0.03337	633 320	3.53412 3.2	3261.09796	108.8228389
Колони	ТБ720 х 9	0.1577	8	6.2	49.6	7.82192
Загальна вага конструкції, (т)						317.1011719

Таблиця 6.24 Вага конструкції за схемою №6

Тип елементів	Профіль	Вага 1м.п. (т)	Кількість елементів, (шт)	Довжина одного елементу, (м)	Загальна довжина елементів, (м)	Вага елементів, (т)
Верхній пояс	ТБ102 х 5.5	0.01308	420	1.5	630	8.2404
	ТБ245 х 9.5	0.05515	802	1.5	1203	66.34545
Нижній пояс	ТБ146 х 8	0.02722	182 252	3 4.24264	1615.14528	43.96425452
	ТБ140 х 4.5	0.01503	428 36	3 4.24264	1436.73504	21.59412765
Решітка	ТБ146 х 12	0.03964	486 4	2.19317 1.6	1072.28062	42.50520378
	ТБ245 х 6.5	0.03822	633 320	2.19317 1.6	1900.27661	72.62857203
Колони	ТБ377 х 14	0.1253	12	6.2	74.4	9.32232
Загальна вага конструкції, (т)						264.600328

Таблиця 6.25 Вага конструкції за схемою №7

Тип елементів	Профіль	Вага 1м.п. (т)	Кількість елементів, (шт)	Довжина одного елементу, (м)	Загальна довжина елементів, (м)	Вага елементів, (т)
Верхній пояс	ТБ194 х 17	0.07418	100 456	1.5 2.12132	1117.32192	82.88294003
	ТБ95 х 4	0.008973	36 696	1.5 2.12132	1530.43872	13.73262663
Нижній пояс	ТБ152 х 5	0.01812	466	3	1398	25.33176
	ТБ465 х 9.5	0.1067	428	3	1284	137.0028
Решітка	ТБ152 х 14	0.04763	486 4	3.9 3.6	1909.8	90.963774
	ТБ203 х 9.5	0.04532	633 320	3.9 3.6	3620.7	164.090124
Колони	ТБ630 х 9	0.1378	4	6.2	24.8	3.41744
Загальна вага конструкції, (т)						517.4214647

Таблиця 6.26 Вага конструкції за схемою №8

Тип елементів	Профіль	Вага 1м.п. (т)	Кількість елементів, (шт)	Довжина одного елементу, (м)	Загальна довжина елементів, (м)	Вага елементів, (т)
Верхній пояс	ТБ299 х 15	0.105	76 568	1.5 2.12132	1318.90976	138.4855248
	ТБ168 х 9	0.03528	60 584	1.5 2.12132	1328.85088	46.88185905
Нижній пояс	ТБ159 х 4.5	0.01714	522	3	1566	26.84124
	ТБ377 х 9	0.08165	88	3	264	21.5556
Решітка	ТБ102 х 7	0.01639	602 8	3.53412 3.2	2153.14024	35.28996853
	ТБ159 х 5.5	0.02081	618 60	3.53412 3.2	2376.08616	49.44635299
Колони	ТБ351 х 9	0.07588	8	6.2	49.6	3.763648
Загальна вага конструкції, (т)						322.2641934

Таблиця 6.27 Вага конструкції за схемою №9

Тип елементів	Профіль	Вага 1м.п. (т)	Кількість елементів, (шт)	Довжина одного елементу, (м)	Загальна довжина елементів, (м)	Вага елементів, (т)
Верхній пояс	ТБ95 х 4	0.008973	100 1056	1.5 2.12132	2390.11392	21.4464922
	ТБ194 х 5.5	0.02556	36 96	1.5 2.12132	257.64672	6.585450163
Нижній пояс	ТБ95 х 4	0.008973	228	3	684	6.137532
	ТБ95 х 4	0.008973	382	3	1146	10.283058
Решітка	ТБ102 х 11	0.02468	610 6	2.19317 1.6	1347.4337	33.25466372
	ТБ140 х 7	0.02295	610 62	2.19317 1.6	1437.0337	32.97992342
Колони	ТБ273 х 7	0.0459	12	6.2	74.4	3.41496
Загальна вага конструкції, (т)						114.1020795

### 6.3 Аналіз результатів обчислень

Результати обчислень були занесені в таблиці 6.28-6.30, де вказані характеристики конструкції залежно від розрахункової схеми – загальну вагу конструкції, вагу кожної групи стержнів і максимальну величину переміщення відносно осей X, Y, Z:

Таблиця 6.28 Результати (1 тип кристалу)

№ Розрахункової схеми	1	2	3
Загальна вага конструкцій	475.5	269.8	191.5
Вага верхнього поясу	63.9	30.5	35.8
Вага нижнього поясу	56.1	28.5	30.1
Вага решітки	352.6	205.5	120.7
Вага опор	2.8	5.2	4.9
Переміщення вздовж осі X, мм	6.7	1.8	2.1
Переміщення вздовж осі Y, мм	5.9	6.2	2.3
Переміщення вздовж осі Z, мм	76.1	50.9	16.1

Таблиця 6.29 Результати (2 тип кристалу)

№ Розрахункової схеми	4	5	6
Загальна вага конструкцій	603.9	317.1	264.6
Вага верхнього поясу	119.7	64	74.6
Вага нижнього поясу	134.4	81.1	65.6
Вага решітки	342.5	164.1	115.1
Вага опор	7.4	7.8	9.3
Переміщення вздовж осі X, мм	5.9	3.9	1.5
Переміщення вздовж осі Y, мм	5.4	3.9	1.9
Переміщення вздовж осі Z, мм	42	36.2	11.1

Таблиця 6.30 Результати (3 тип кристалу)

№ Розрахункової схеми	7	8	9
Загальна вага конструкцій	517.4	322.3	114.1
Вага верхнього поясу	96.6	185.4	28
Вага нижнього поясу	162.3	48.4	16.4
Вага решітки	255.1	84.7	66.2
Вага опор	3.4	3.8	3.4
Переміщення вздовж осі X, мм	6.8	1.8	3.9
Переміщення вздовж осі Y, мм	4.1	6.2	4.1
Переміщення вздовж осі Z, мм	72.3	50.9	22.7

На основі даних таблиць 6.28-6.30 складені діаграми на рис. 6.19 і 6.20:

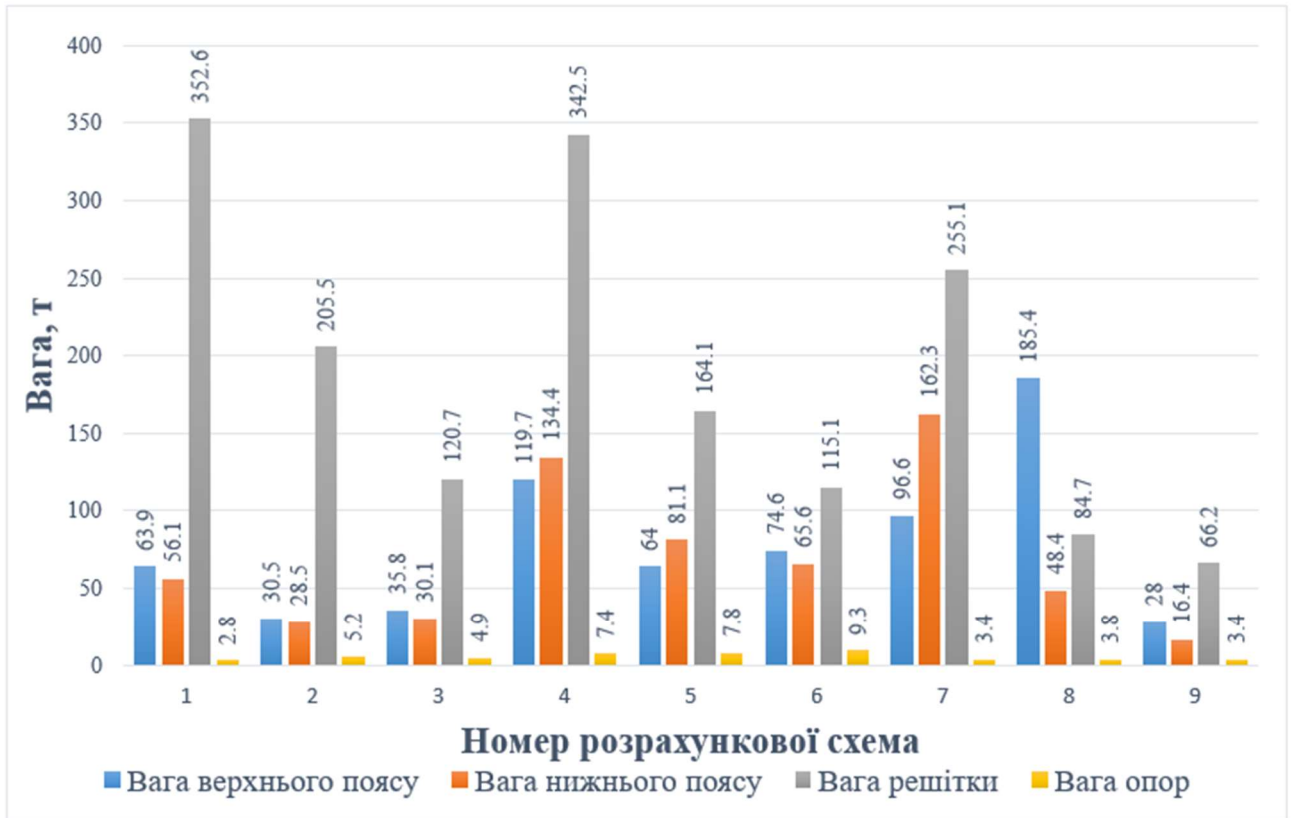


Рис. 6.19 Діаграма ваги груп елементів



Рис. 6.20 Діаграма ваги конструкцій за розрахунковими схемами 1-9

## РОЗДІЛ 7 ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Для кожного з розглянутих варіантів базового елемента зі збільшенням кількості опор зменшується маса просторової сітчастої конструкції, але подальше збільшення загальної ваги колон характерне лише для другого варіанту (див. табл. 6.28, 6.29, 6.30). Маса колон для кожної схеми лежить у діапазоні від 0,4 до 1,9 т.

За показником жорсткості найкращі результати показує схема №6, що має додаткові ребра жорсткості у конструкції базового елемента та максимальну, серед розглянутих варіантів кількість колон, і демонструє максимальне переміщення по осі Z – 11.1мм, а найменш жорсткою є схема №1, що спирається на чотири колони, розташовані по кутах з переміщенням по Z – 76.1мм.

Аналіз отриманих даних показав, що за критерієм металомісткості найбільш ефективним є конструктивне вирішення за схемою №9 з розташуванням колон уздовж периметру та додатково в середині каркасу та третім типом базового елемента. У цьому випадку загальна маса конструкції є мінімальною.

Слід зазначити що така форма кристалу сприяє меншій матеріалоемкості при збільшенні кількості опор, але її ефективність зменшується при зворотньому процесі, порівняно з іншими розглянутими варіантами. Так, при спиранні по двом сторонам (8 колон), схема №8 (3 тип кристалу) має найбільшу масу, а схема №2 (1 тип кристалу), відповідно – найменшу. При спиранні по кутах (4 колони), найефективнішим рішенням також являється базовий елемент 1, представлений у схемі №1, а найбільшу масу має схема №4 з базовим елементом 2. Це свідчить про найменш раціональне використання матеріалу, наслідком чого є найбільша загальна вага конструкції №4 серед усіх розглянутих.

За результатами розрахунку спостерігається тенденція до зменшення матеріалоемкості конструкцій при збільшенні кількості опор для кожного з типів базового елемента, з чого можна зробити висновок, що при проектуванні будівель, з метою отримати якомога більший внутрішній простір шляхом зменшення загальної кількості опор, або кількості внутрішніх опор, доцільно дотримуватись максимально можливої за цієї умови кількості опор, що призведе до зменшення загальної ваги конструкції і заощадить ресурси, необхідні для будівництва.

Аналіз даних, таблиці 6.30 та на діаграмі Рис. 6.19 показав що у більшості випадків найбільшу вагу, порівняно з іншими мають саме елементи решітки, за виключенням схеми №8. У даному випадку групою з найбільшою вагою є елементи верхнього поясу. Це пов'язано з початковим рішенням розбивати конструктивні групи саме на дві розрахункові, для яких переріз приймається по найбільшому необхідному. В цьому випадку для 644 стержнів був прийнятий переріз ТБ299 x 15, але це насправді необхідний лише для 4 елементів, іншим буде достатньо перерізу ТБ159 x 20 менше. Це наочно демонструє перевагу збільшення кількості розрахункових груп стержнів для економії матеріалу, але при цьому зменшується уніфікація стержнів, що призводить до ускладнення їх масового виробництва та монтажу.

Подальші дослідження можуть бути спрямовані на аналіз плитних конструкцій із збільшенням спектру розглянутих варіантів базового елемента, зміною схеми розташування колон при їх сталій кількості, а також на оцінку трудомісткості монтажу моделей.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Chilton, J. *Space Grid Structures*, 1st ed.; Routledge: London, England, 2007.
2. Alexander Graham Bell (June 1903). "Tetrahedral Principle In Kite Structure". *National Geographic Magazine*. XIV
3. Dorothy Harley Eber, via telephone (June 29, 1978). "Fuller on Bell"
4. БН В.2.6-198:2014 (2014). Сталеві конструкції. Норми проектування. Київ: Мінрегіонбуд
5. ДСТУ Б В.1.2-3:2006 (2006). Прогини і переміщення. Вимоги проектування. Київ: Мінрегіонбуд
6. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. Київ: Український науково-дослідний та проектний інститут сталевих конструкцій ім. В.М. Шимановського, 2006.
7. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. ПРОГИНИ І ПЕРЕМІЩЕННЯ. Вимоги проектування
8. "Design and Analysis of Barrel Vault Space Frame Structure". *www.ijraset.com*. Retrieved 2022-11-08.
9. Ashtul S.A. & Patil S.N. (2020). Review on Study of Space Frame Structure System. *International Research Journal of Engineering and Technology*, 7(4)
10. Huybrechts S. & Tsai S.W. (1996). Analysis and behavior of grid structures. *Composites Science and Technology*

## **ДОДАТКИ**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**

**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ  
АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

# **МАТЕРІАЛИ**

**науково-практичної конференції  
викладачів, аспірантів та студентів  
Сумського НАУ**

**(14-16 травня 2024 р.)**

УДК 631.4(477.52-25(06))

*Рекомендовано до друку науково-координаційною радою Сумського національного аграрного університету (протокол № 12 від 25.04.2024 р.)*

**Редакційна колегія:**

Данько Ю.І., д.е.н., професор  
Івченко О.В., к.т.н., доцент  
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

**М 34    Матеріали науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів  
Сумського НАУ (14-16 травня 2024 р.). – Суми, 2024. – 724 с.**

У збірку увійшли тези доповідей науково-практичної конференції викладачів, аспірантів та студентів Сумського національного аграрного університету.

Для викладачів, студентів, аспірантів інших навчальних закладів.

Відповідальність за точність наведених фактів, цитат та ін. лягає на авторів опублікованих матеріалів. Передрук матеріалів з дозволу редакції.

Друкується в авторській редакції

© Сумський національний  
аграрний університет, 2024

## ВАРІАНТНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ПЛИТИ ПОКРИТТЯ СКЛАДСЬКОЇ БУДІВЛІ

Грінка А.А., здобувач СО «Магістр», спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія», 1 курс  
Срібняк Н.М., к.т.н., доц., Сумський національний аграрний університет, науковий керівник  
Галушка С.А., ст. викладач, Сумський національний аграрний університет

Будівля складського комплексу має розміри 54,0 м × 48,0 м (в осях) і являє собою каркасну систему. Переkritтя такої будівлі може бути виконане не лише із традиційних конструкцій – легких ферм та прогонів по ним, але й у вигляді сучасної та ефективної конструкції – просторової сталевий структурної плоскої плити покриття.

Таке конструктивне вирішення покриття є нині актуальним, оскільки має ряд переваг й, зокрема, більш рівномірний, порівняно з традиційними конструкціями, розподіл напружень, що призводить до більш ефективного використання матеріалу. Кристал (або базовий, формоутворюючий елемент) плити виконано зі сталі С 235, розміром 3,0х3,0 м. Стержні конструкції прийняті із трубчатого профілю, який вважається найбільш ефективним для таких конструкцій. Товщина плити (її висота) залежить від прольоту конструкції. Рекомендовано приймати її в межах  $(1/15 \dots 1/16) L$ .

Плита розрахована на розподілене по площі навантаження, яке в розрахунковій моделі приведене до вузлового. Планується дослідити напружено-деформований стан плити в залежності від низки критеріїв – способу розташування колон та форми базового елемента.

Конструктивний розрахунок планується проводити для кожної моделі мінімум в дві ітерації.

За критерієм матеріалоемності планується виявити найбільш ефективну модель структурної плити.

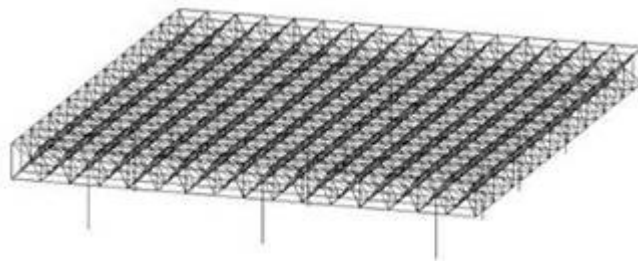


Рис. 1. Просторова схема одного з можливих варіантів структурної плити покриття



Рис. 2. Алгоритм виконання числового експерименту в ПК ЛІРА-САПР

Передбачається виконати декілька варіантних розрахунків аналітичної моделі структурної плити покриття згідно алгоритму, наведеного на рис. 2. На першому етапі розрахунку передбачається виконати числовий розрахунок плити за різних варіантів розташування несучих колон. Так, планується оцінити ефективність використання матеріалу відповідно можливих варіантів плити за різних умов спирання.

На другому етапі планується дослідити декілька варіантів найбільш ефективної конструкції, що була обрана як найбільш ефективна за першим критерієм – критерієм розташування опор. На другому етапі планується на базі визначеної моделі дослідити декілька моделей з різною формою базового (формоутворюючого елемента). Найменш матеріалоемний варіант будемо вважати найбільш ефективним.

### Література

1. Chilton J. Space Grid Structures. Routledge, 2007. URL: <https://doi.org/10.4324/9780080498188> (date of access: 16.04.2024).

Приходько М.Ф. ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНОГО ОБЛАДНАННЯ ПРИ ПЕРЕРОБЦІ М'ЯСНОЇ СИРОВИНИ.....	180
Рубцов І.О. ОСОБЛИВОСТІ ЕКСТЕР'ЄРУ ТВАРИН УКРАЇНСЬКОЇ ЧОРНО-РЯБОЇ МОЛОЧНОЇ ПОРОДИ ТОВ НВП ГЛОБІНСЬКИЙ М'ЯСО-МОЛОЧНИЙ КОМПЛЕКС .....	181
Рубцов І.О. ФОРМУВАННЯ МОЛОЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ТВАРИН УКРАЇНСЬКОЇ ЧОРНО-РЯБОЇ МОЛОЧНОЇ ПОРОДИ ТОВ НВП ГЛОБІНСЬКИЙ М'ЯСО-МОЛОЧНИЙ КОМПЛЕКС .....	182
Рубцов І.О. ВПЛИВ ОКРЕМИХ ФАКТОРІВ НА ПОКАЗНИКИ МОЛОЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ТВАРИН БУРОЇ МОЛОЧНОЇ ПОРОДИ ДП ДГ ІНСТИТУТУ ПІВНІЧНОГО СХОДУ НААН УКРАЇНИ.....	183
Рубцов І.О. ОСОБЛИВОСТІ ВІДТВОРЮВАЛЬНОЇ ЗДАТНОСТІ КОРІВ УКРАЇНСЬКОЇ БУРОЇ МОЛОЧНОЇ ПОРОДИ В УМОВАХ ТДВ МАЯК ОХТИРСЬКОГО РАЙОНУ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	184
Кузьмич В.І. ВПЛИВ ВІДТВОРНИХ ЯКОСТЕЙ НА МОЛОЧНУ ПРОДУКТИВНІСТЬ КОРІВ .....	185
Кулакова Ю.В. ОСОБЛИВОСТІ ЕКСТЕР'ЄРУ КОРІВ УКРАЇНСЬКОЇ ЧЕРВОНО-РЯБОЇ МОЛОЧНОЇ ПОРОДИ ПП «БУРИНСЬКЕ».....	186
Чернявська М.О. РОЛЬ ЛІНІИ ТА БУГАЙВ-ПЛІДНИКІВ У ФОРМУВАННІ ОЗНАК МОЛОЧНОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ ЇХНЬОГО ПОТОМСТВА .....	187
Бутенко Р.Ю. ВПЛИВ ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ РОСІЙСЬКОЇ ФЕДЕРАЦІЇ НА СТАН СВИНАРСТВА В УКРАЇНІ ...	188
Петренко Г.О. РОЗРОБКА МЕТОДУ ТЕРМОХІМІЧНОГО АНАЛІЗУ ДЛЯ СТАНДАРТИЗАЦІЇ ЯКОСТІ ХАРЧОВИХ ТА ІНКУБАЦІЙНИХ ЯЄЦЬ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКОЇ ПТИЦІ .....	189
Кучкова Т.П. СИРОПРИДАТНІСТЬ МОЛОКА КОРІВ БУРОЇ КАРПАТСЬКОЇ ПОРОДИ .....	190
Гончар В'ячеслав СУЧАСНІ НАПРЯМКИ ДОСЛІДЖЕНЬ У ГАЛУЗІ СВИНАРСТВА В КРАЇНАХ ЄВРОПИ .....	191
Бельченко А.С. СТРЕСОСТІЙКІСТЬ ЯК ВПЛИВ НА ПРОДУКТИВНЕ ДОВГОЛІТТЯ .....	192
Крамаренко О. В., Бордунова О.Г. ВИВЧЕННЯ ВПЛИВУ ПЕРЕДІНКУБАЦІЙНОЇ ОБРОБКИ ЯЄЦЬ ШТУЧНИМ ПОКРИТТЯМ «ЗЕЛЕНА КУТИКУЛА» НА РОЗВИТОК ЕМБРІОНІВ ТА УТРИМАННЯ КУРЧАТ .....	193
Компанець І.О. ЗАЛЕЖНІСТЬ ОЗНАК ДОВГОЛІТТЯ КОРІВ МОЛОЧНОЇ ХУДОБИ ВІД НАДОЮ ЗА ПЕРШУ ЛАКТАЦІЮ.....	194

### ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА ТРАНСПОРТУ

Беспалова О.В., Бородай С.П. ПАМ'ЯТКИ ІСТОРІЇ ТА ДРЕВНЬОЇ КУЛЬТУРИ У РЕГІОНІ СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	195
Беспалова О.В., Бородай Я.О. ТОП-7 СТИЛІВ В СУЧАСНІЙ АРХІТЕКТУРІ .....	196
Бистрик О.В., Бородай Д.С. ПРОБЛЕМАТИКА ФОРМУВАННЯ АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНОЇ ОРГАНІЗАЦІЇ КОМПЛЕКСІВ ВІДПОЧИНКУ ТА ОЗДОРОВЛЕННЯ В СУМСЬКІЙ ОБЛАСТІ.....	197
Бізокова К. О., Бородай Я.О. РЕКОНСТРУКЦІЯ ІСТОРИЧНИХ ОБ'ЄКТІВ: МЕТОДИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ АРХІТЕКТУРНОЇ СПАДЩИНИ .....	198
Бородай С. П. ЗАГАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ СТАРОДАВНЬОЇ КРИТО-МІКЕНСЬКОЇ КУЛЬТУРИ .....	199
Бурсук О. А., Бородай С.П. ВИЗНАЧНІ ПАМ'ЯТКИ АРХІТЕКТУРИ УКРАЇНСЬКОГО БАРОКО СУМЩИНИ .....	200
Велитченко С.Г., Новицький О.П. ПЕРЕВАГИ ТА НЕДОЛІКИ ВИКОРИСТАННЯ BIM (BUILDING INFORMATION MODELING) ТЕХНОЛОГІЙ ДЛЯ ПРОЄКТУВАННЯ БУДІВЕЛЬ ЧИ СПОРУД.....	201
Галушка С.А. ПРОСТОРОВА РОБОТА ЯЧЕЙКИ ЗІ ЗБІРНИХ РЕБРИСТИХ ПЛИТ ПОКРИТТЯ .....	202
Гордієнко Д.О., Бородай С.П. ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ В АРХІТЕКТУРІ.....	203
Гордієнко Д.О., Бородай Я.О. ВИКОРИСТАННЯ ВІРТУАЛЬНОЇ РЕАЛЬНОСТІ В АРХІТЕКТУРНОМУ ПРОЄКТУВАННІ.....	204
Гризодуб Б.А., Срібняк Н.М., Галушка С.А. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОСТОРОВОЇ РОБОТИ ПЕРЕКРИТТЯ ГРОМАДСЬКОЇ БУДІВЛІ .....	205
Грінка А.А., Срібняк Н.М., Галушка С.А. ВАРІАНТНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРНОЇ ПЛИТИ ПОКРИТТЯ СКЛАДСЬКОЇ БУДІВЛІ.....	206
Грінчук В.Р., Бородай С.П. ЗНАЧЕННЯ ГРАФІКИ В АРХІТЕКТУРНОМУ ПРОЄКТУВАННІ .....	207
Демченко Л.А., Бородай Д.С. КЛЮЧОВІ ЧИННИКИ, ЩО ВПЛИВАЮТЬ НА ФУНКЦІОНАЛЬНО-ПЛАНУВАЛЬНУ ОРГАНІЗАЦІЮ ЦЕНТРІВ НАДАННЯ АДМІНІСТРАТИВНИХ ПОСЛУГ .....	208
Дьомін Є.В., Срібняк Н.М. ДИСК ПЕРЕКРИТТЯ ІЗ ЛЕГКИХ СТАЛЕВИХ ФЕРМ.....	209
Дяченко С.С., Бородай С. П. ТВОРЧИСТЬ МІКЕЛАНДЖЕЛО БУОНАРРОТІ.....	210
Дяченко С.С., Бородай Я.О. РОЛЬ КОМПОЗИЦІЇ В АРХІТЕКТУРІ .....	211
Єпіфанова О.А., Бородай А.С. АДАПТИВНА ПЕРЕБУДОВА: ЗБЕРЕЖЕННЯ ІСТОРИЧНИХ БУДІВЕЛЬ У СУЧАСНОМУ СВІТІ .....	212
Жилов Д.М., Новицький О.П. РЕКОНСТРУКЦІЯ КОРПУСУ ЛАБОРАТОРІЇ МІКРОБІОЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЮ В М.КИЇВ .....	213
Зарецький К.О., Сіробаба В.О. СУЧАСНІ ТЕНДЕНЦІЇ ЗАЛУЧЕННЯ СТУДЕНТСТВА ДО ВІДБУДОВИ УКРАЇНИ. ....	214
Колодяжний С.В., Ярошенко П.М. ПРО ДЕЯКІ ПРАВИЛА ПЕРЕВЕЗЕННЯ ФРУКТІВ ТА ОВОЧІВ .....	215
Лобусова К.Я., Бородай С. П. РУЧНА ГРАФІКА В АРХІТЕКТУРНОМУ ПРОЄКТУВАННІ .....	216
Макаров Д.С., Ярошенко П.М. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ВИВЕЗЕННЯ СМІТТЯ .....	217
Матвієнко Д.С., Новицький О. П. ПЕРСПЕКТИВИ БУДІВНИЦТВА ПАСИВНИХ БУДИНКІВ В УКРАЇНІ .....	218
Мусіяка О.В., Циганенко Л.А. ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПОКРИТТЯ .....	219
Найда А.А., Новицький О.П. ПРОБЛЕМАТИКА ВИПРОБУВАНЬ ҐРУНТІВ-ОСНОВ ФУНДАМЕНТІВ, ЗАКРІПЛЕНИХ ЦЕМЕНТНИМИ ТА ПОЛІМЕР-ЦЕМЕНТНИМИ СУМІШАМИ ЗА ДОПОМОГОЮ ШТАМПУ .....	220
Немчина Ю.І., Бородай А.С. АРХІТЕКТУРНО-ПЛАНУВАЛЬНА ОРГАНІЗАЦІЯ ГОТЕЛЬНО-РЕКРАЦІЙНИХ КОМПЛЕКСІВ НА ПРИКЛАДІ м. СУМИ.....	221
Почкун А.М., Ярошенко П.М. ОПТИМІЗАЦІЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ.....	222
Строкач Д.В., Бородай Я.О. ПЕРЕОСМИСЛЕННЯ РОЛІ ТА ПРИЗНАЧЕННЯ БУДІВЕЛЬ У ПІСЛЯВОЄННІЙ ВІДБУДОВІ .....	223
Тендіт Є.В., Богінська Л.О. ЕКОЛОГІЧНО ЧИСТІ БУДІВЕЛЬНІ МАТЕРІАЛИ.....	224

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

*Тематичний напрямок*  
**Будівництво та архітектура**

# **ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СТРУКТУРНОЇ ПЛИТИ ПОКРИТТЯ СКЛАДСЬКОЇ БУДІВЛІ В МІСТІ ЧЕРНІГІВ**

**Грінка Артем Андрійович**

здобувач СО «Магістр», 2 курсу Будівельного факультету  
Спеціальності: 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

**Науковий керівник: Срібняк Н. М.**

к.т.н., доцент кафедри будівельних конструкцій

# Актуальність теми дослідження

- Структурні конструкції, як сучасний спосіб зменшення матеріалоємності та собівартості конструкцій.
- уніфікація елементів, легкість, зручність виготовлення і транспортування.
- Вільне використовувати простору, зручне проектування ліній підвісного транспорту, підвісних стель, огорожувальних конструкцій та комунікацій.
- Дослідження структурних плит допоможе зробити внесок у вирішення актуальної проблеми впровадження енергоощадних та ресурсозберігаючих технологій та конструкцій України.

# Мета роботи

- визначення найменш матеріалоємної моделі структурної плити. Регуляторами напружень прийнято варіанти розташування опорних колон та тип базового елемента

# Задачі роботи

- створення кінцевоелементних моделей плит в ПК Ліра-САПР для дослідження їх статичної роботи при зміні базового елемента, схеми розташування та кількості колон;
- аналіз результатів статичного розрахунку та вибір найбільш ефективною за критерієм найменшої ваги при збереженні достатньої несучої здатності.

## Об'єкт дослідження

- структурні стержньові плити покриття з поясними сітками що мають різну кількість та розташування опор та зконструйовані з певних базових елементів на основі правильної піраміди з прямокутною основою

## Предмет дослідження

- напружено-деформований стан структурних стержньових плит покриття у представлених конфігураціях.

## Методи дослідження

- метод комп'ютерного моделювання конструкцій із застосуванням програмних комплексів, що реалізують метод кінцевих елементів (ПК ЛіРА-САПР).

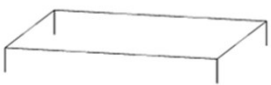

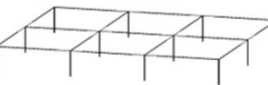

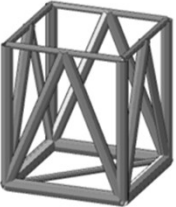
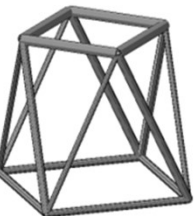
# Етапи дослідження

- 1. Огляд літератури: вивчення наукових публікацій та досліджень, які вже проводилися в цій галузі;
- 2. Створення 3D-моделі металевого каркасу будівлі;
- 3. Проведення числового експерименту;
- 4. Підбір оптимальних перерізів елементів;
- 5. Розрахунок загальної ваги конструкції;
- 6. Висновки на основі аналізу результатів розрахунку.

# Алгоритм виконання числового експерименту

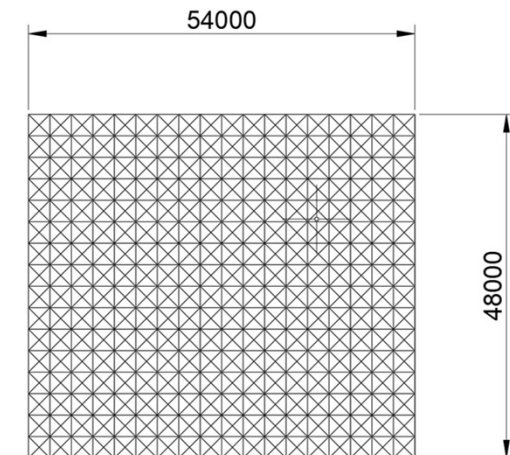


# Конструкція, що досліджується

Тип базового елемента	Схема розташування опор		
			
	Схема №1	Схема №2	Схема №3
	Схема №4	Схема №5	Схема №6
	Схема №7	Схема №8	Схема №9

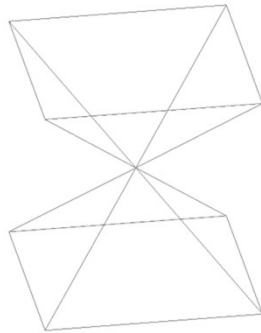
- Регулювання напружено-деформованого стану (НДС) конструкції

№ схеми	Відстань між колонами, м	Кількість колон
1	48, 54	4
2	48, 18	8
3	24, 18	12

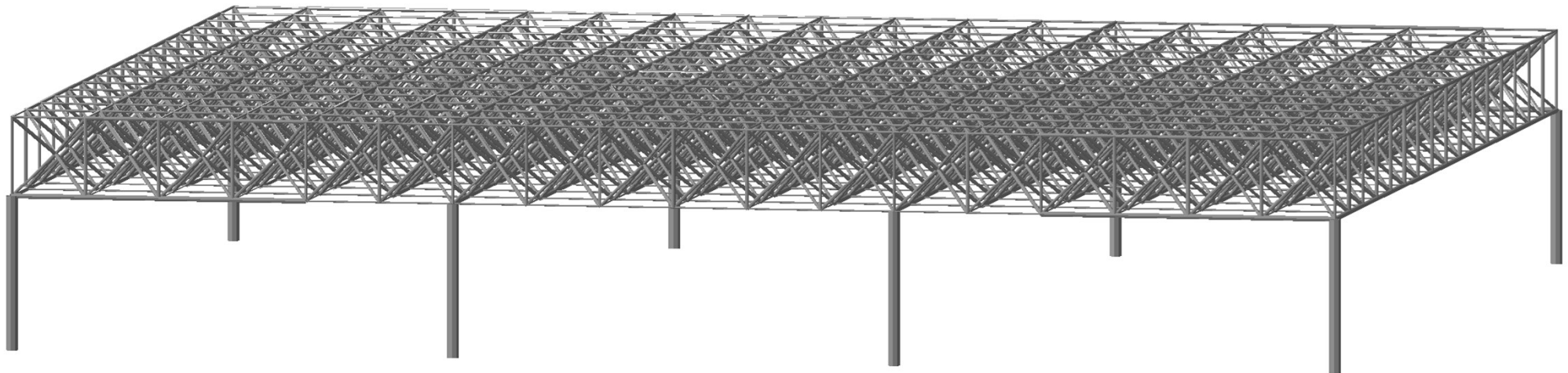
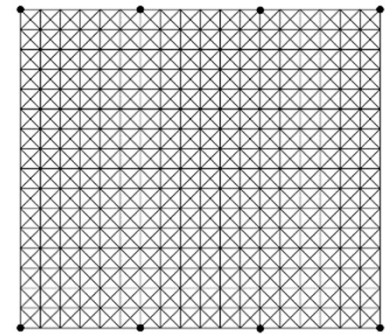


# Конструкція, що досліджується, схема №2

- Правильна чотирикутна піраміда.

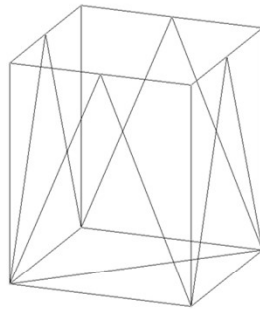


- Опори по двом сторонам.

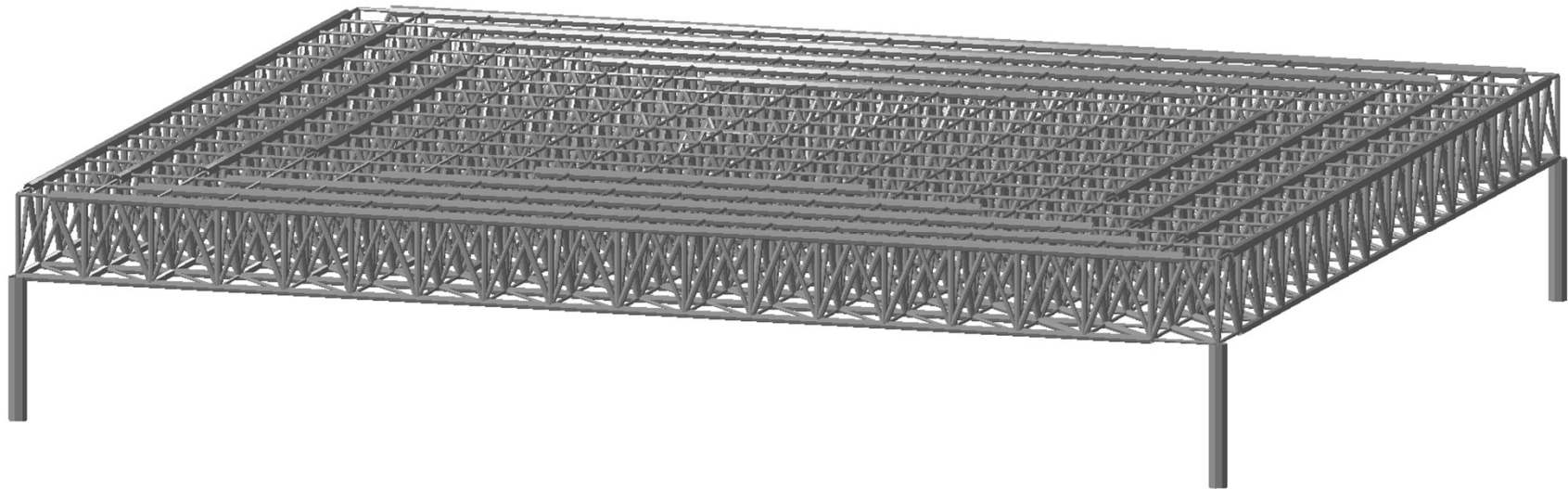
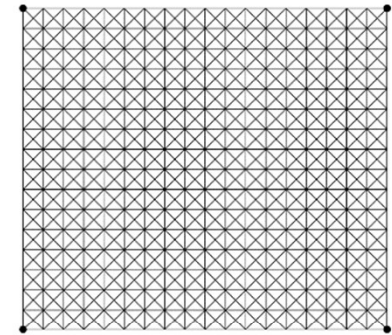


# Конструкція, що досліджується, схема №4

- Паралелепіпед з додатковими ребрами.

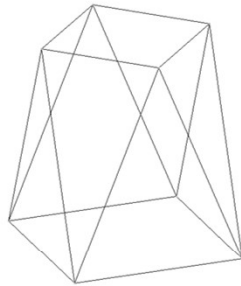


- Опори по чотирьом кутам.

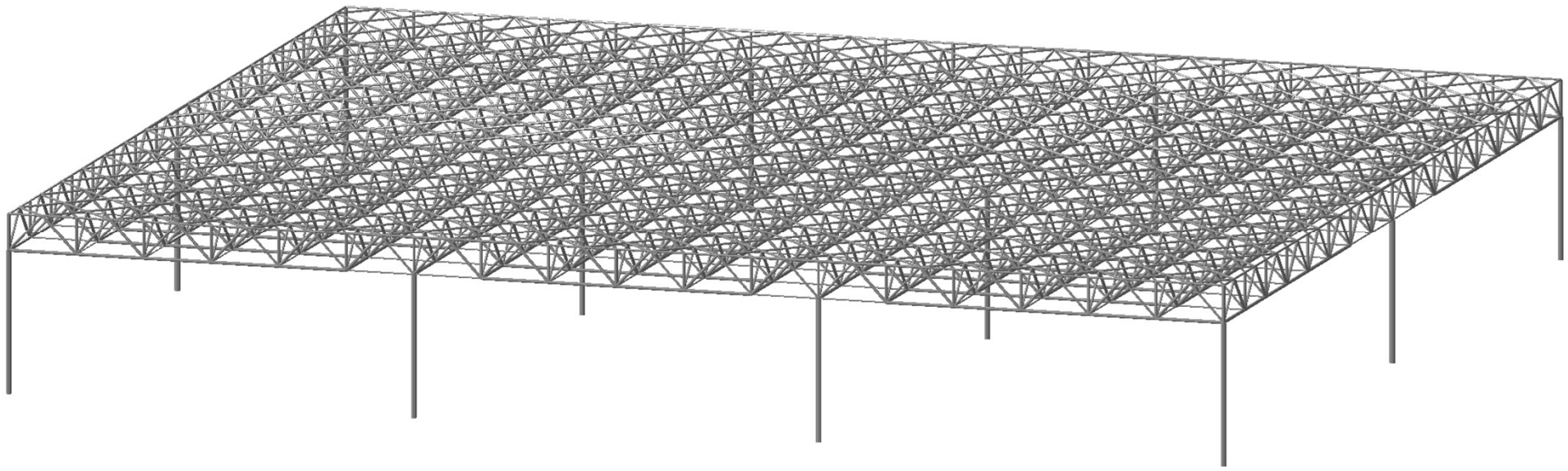
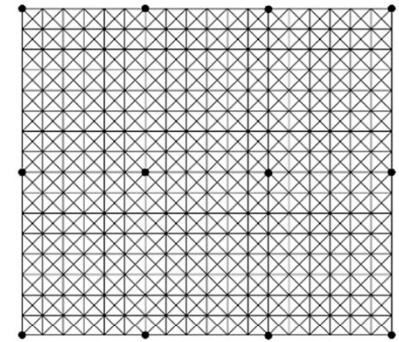


# Конструкція, що досліджується, схема №9

- Перетин паралелепіпеда з пірамідою.



- Опори по двом сторонам та центральній осі.



# Призначення параметрів для конструювання

- Всі стержні прийняті із сталі звичайної, класу С235, з прокатних профілів трубчатого перерізу.
- Навантаження:  
власна вага – враховується автоматично;  
покрівля –  $79.4 \text{ кг/м}^2$   
Сніг –  $196.08 \text{ кг/м}^2$

The screenshot displays three overlapping windows from a software application:

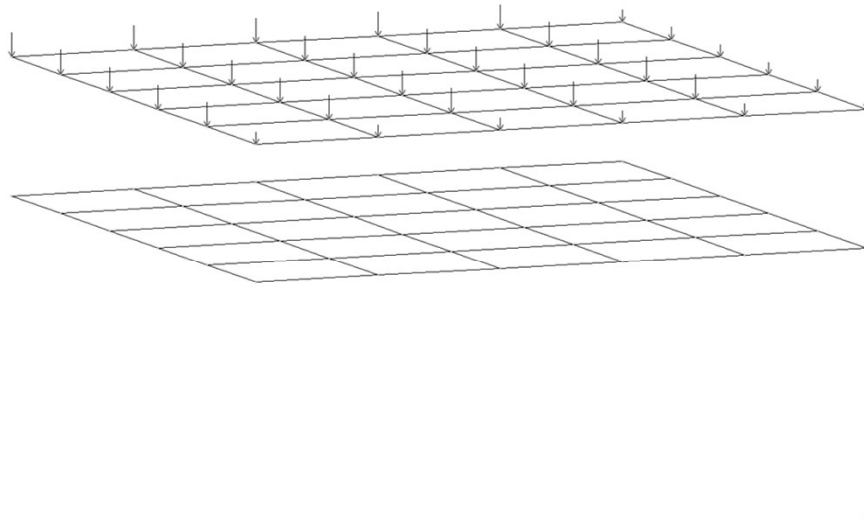
- Жорсткості** (Stiffness) window: Shows a list of structural elements (1. Верхній пояс, 2. Нижній пояс, 3. Решітка, 4. Колона) and material selection options (Матеріал, Додаткові характеристики, Обмеження підбору). A 'Призначити поточним' (Assign current) button is visible at the bottom.
- Параметри** (Parameters) window: A table showing material details for 'Верхній пояс' (Upper beam).

Параметр	Значення
Номер	1
Коментар	Верхній пояс
Набір параметрів	Точна відповідність
Переріз	
Таблиця матеріалів	Сталь, лист (ДБН В.2.6-198:2014) <...>
Матеріал	C235
Скорочений сорта...	Ні
- Редактор навантажень** (Load Editor) window: Shows settings for a specific load (Завантаження 1 (Власна вага)). It includes a table of loads:

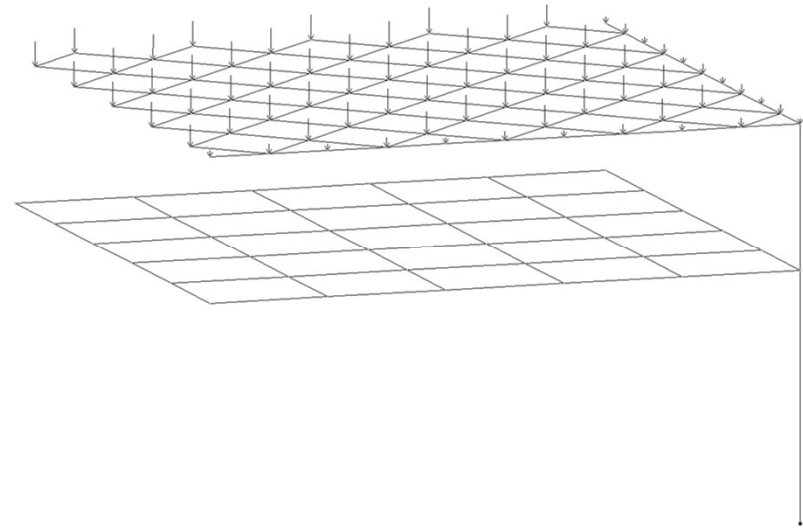
#	Ім'я навантаження	Підзадача	Вид
1	Завантаження 1 (Власна вага)	1. Основна задач...	
2	Завантаження 2 (Покрівля)	1. Основна задач...	
3	Завантаження 3 (Сніг)	1. Основна задач...	

# Призначення параметрів для конструювання

- Схема 1-6 – 3 групи вузлів (внутрішні -1, фронтіві - 1, кутові -1)



- Схема 7-9 – 4 групи вузлів (внутрішні -1, фронтіві - 2, кутові -1)



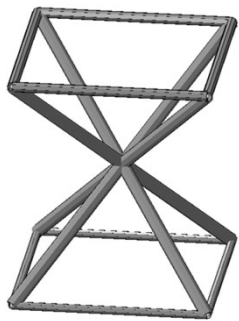
# Статичний розрахунок

- Підбір перерізів розтягнутих елементів виконується згідно норм ДБН В.2.6-198:2014 Сталеві конструкції. Проводиться розрахунок на міцність і стійкість елементів.
- Враховуються граничні гнучкості елементів і вертикальні переміщення всієї конструкції.
- Для підбору перерізів сталевих профілів задається спочатку чотири групи конструктивних елементів, потім - 7.
- Розрахунок сталевих конструкцій проводиться в пружній стадії роботи матеріалу.

# Результати числового дослідження структурного покриття

- Опирання по чотирьом кутам.

Схема 1:  
Вага конструкції – **475,5т**



- Рис. 1 – Верхній пояс
- Рис. 2 – Решітка
- Рис. 3 – Нижній пояс
- Рис. 4 – Колони

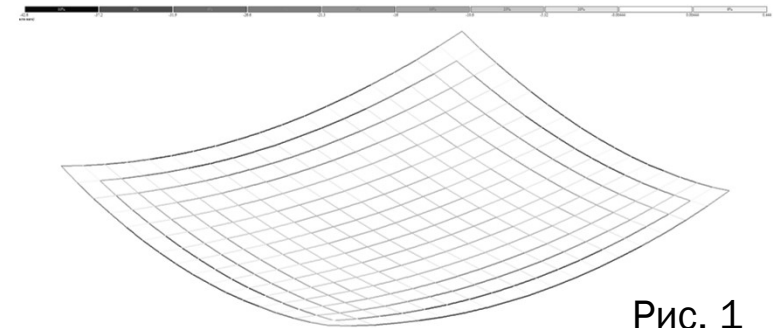


Рис. 1

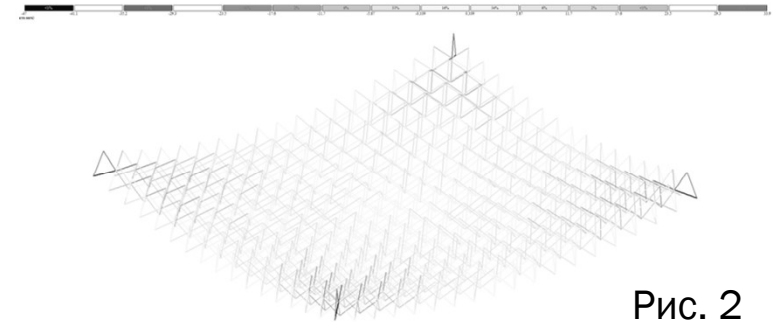


Рис. 2

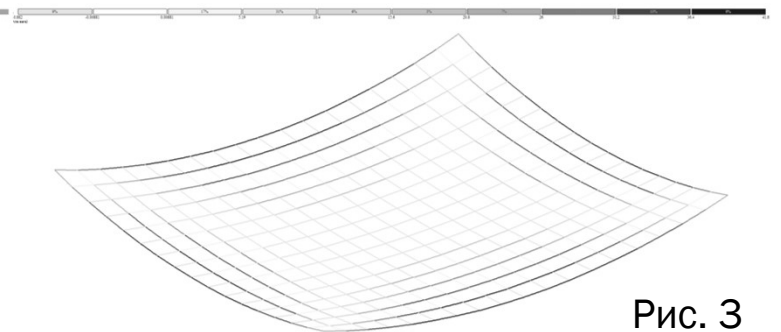


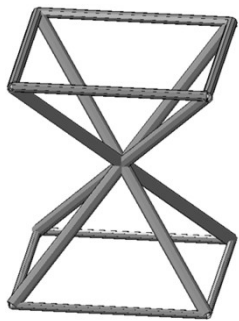
Рис. 3

Рис. 4

# Результати числового дослідження структурного покриття

- Опирання по двом сторонам.

Схема 2:  
Вага конструкції – 269,8т



- Рис. 1 – Верхній пояс
- Рис. 2 – Решітка
- Рис. 3 – Нижній пояс
- Рис. 4 – Колони

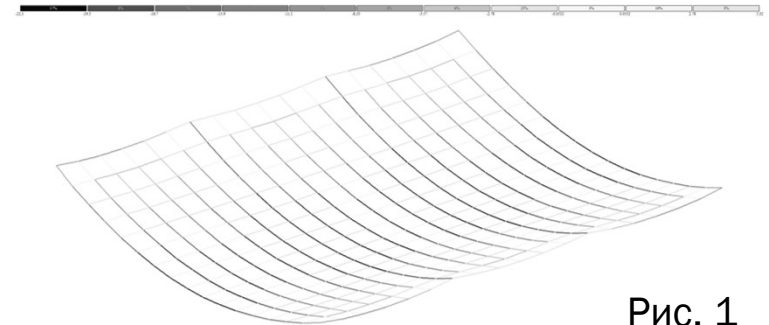


Рис. 1

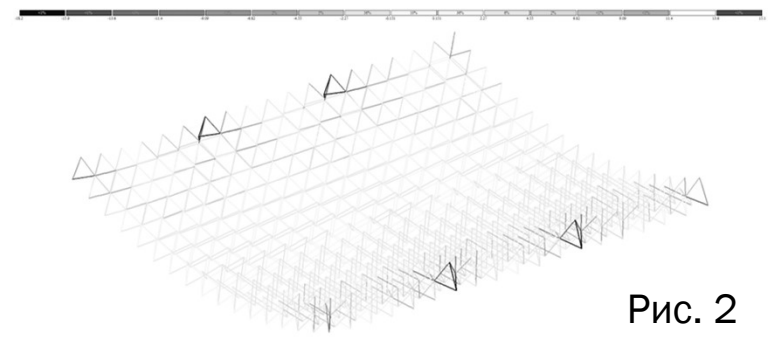


Рис. 2

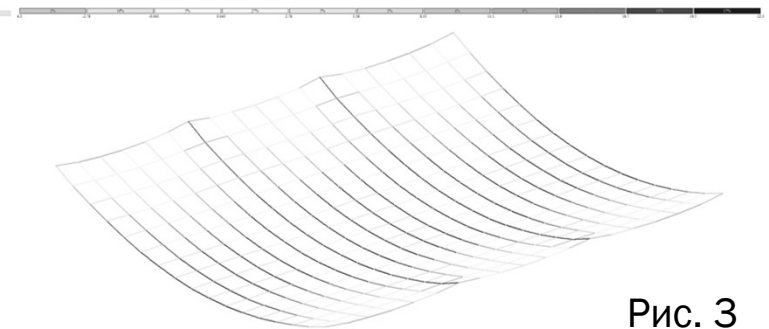


Рис. 3

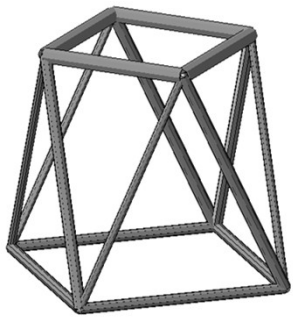
Рис. 4



# Результати числового достідження структурного покриття

- Опирання по двом  
сторонам та  
центральної осі.

Схема 9:  
Вага конструкції – 114,1т



- Рис. 1 – Верхній пояс
- Рис. 2 – Решітка
- Рис. 3 – Нижній пояс
- Рис. 4 – Колони

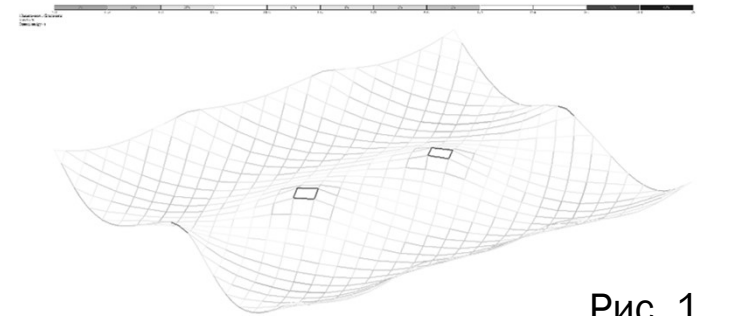


Рис. 1

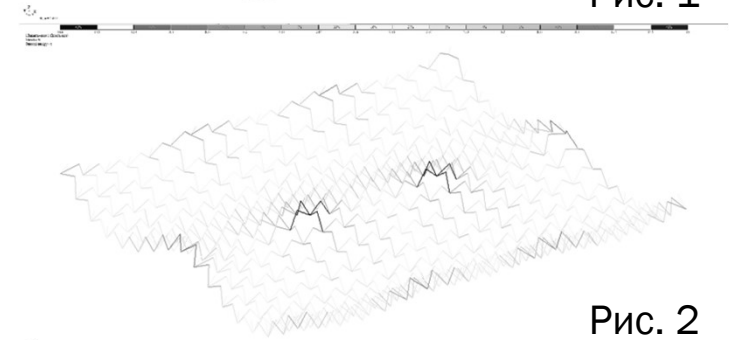


Рис. 2

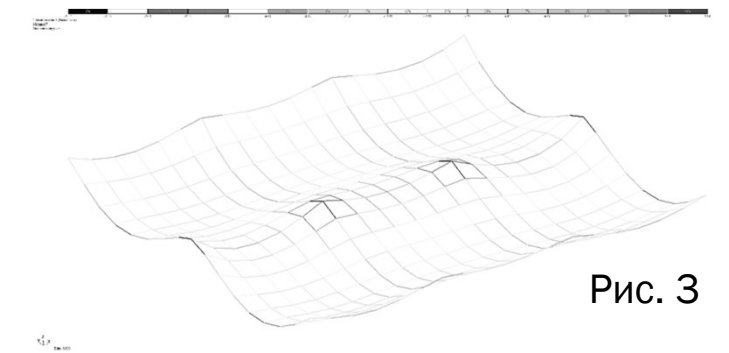


Рис. 3

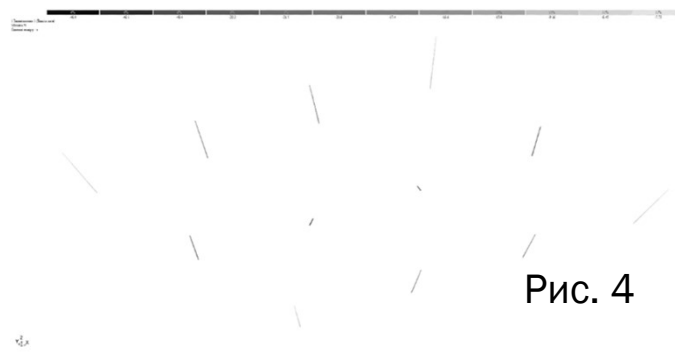
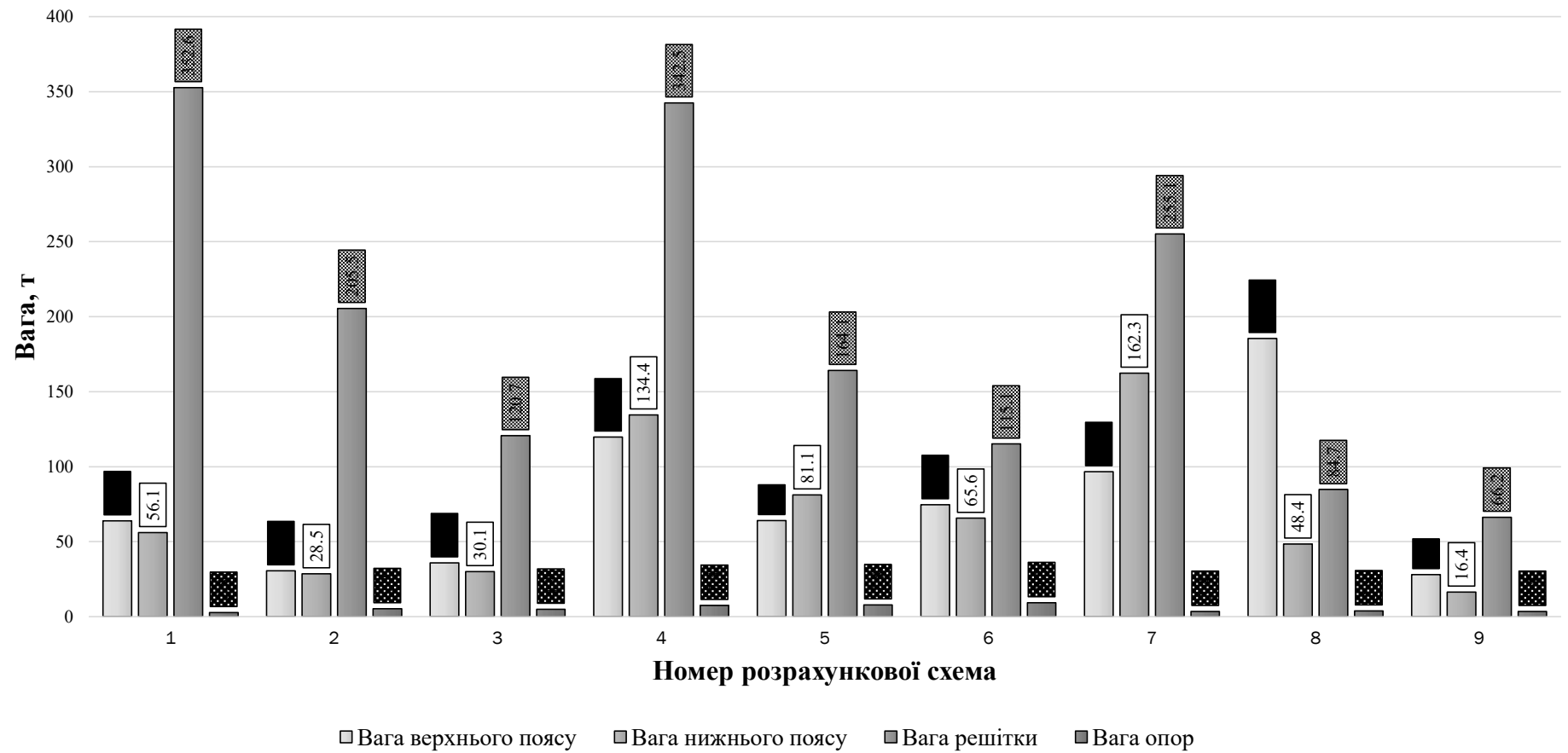
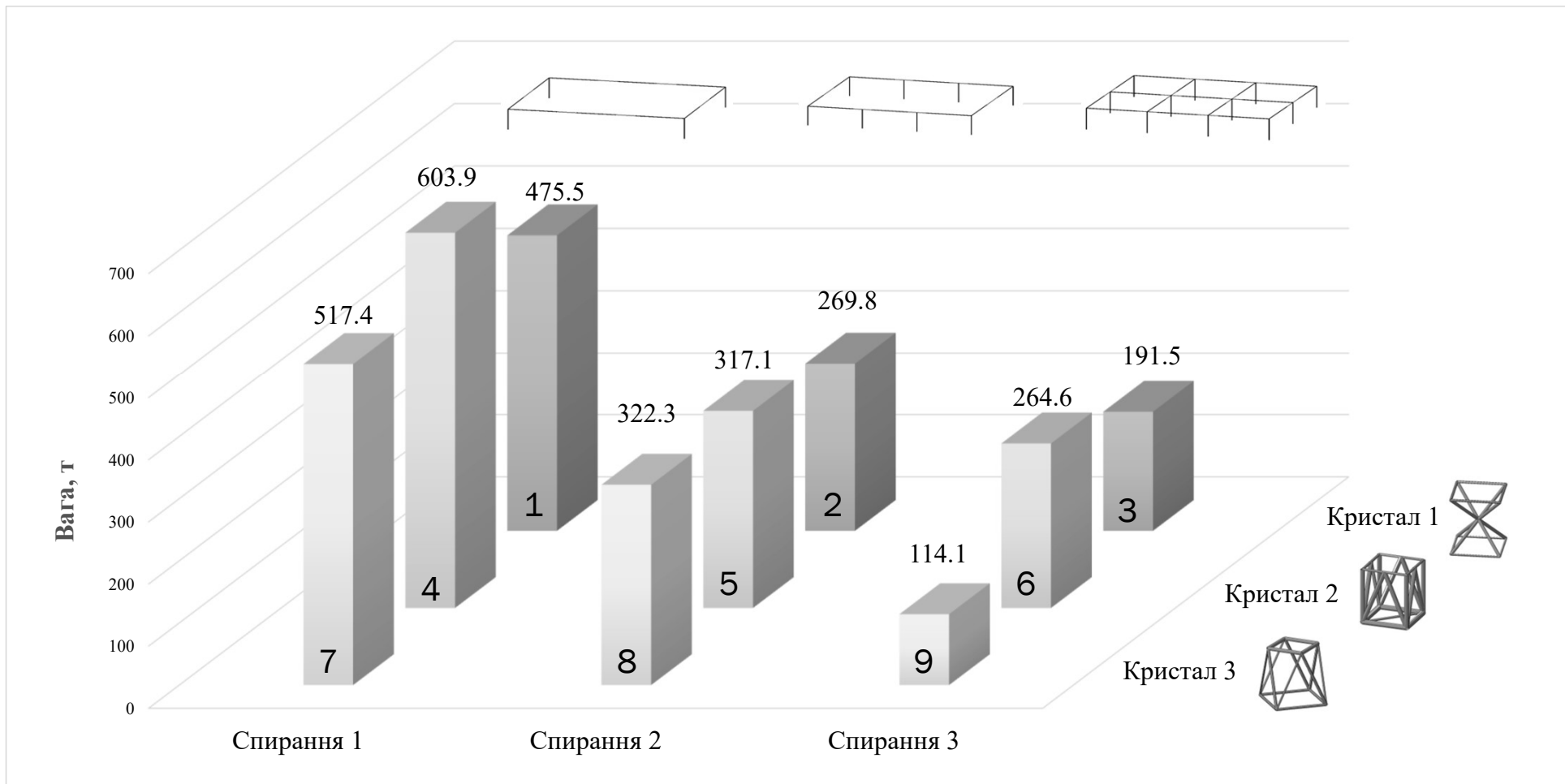


Рис. 4

# Аналіз отриманих результатів

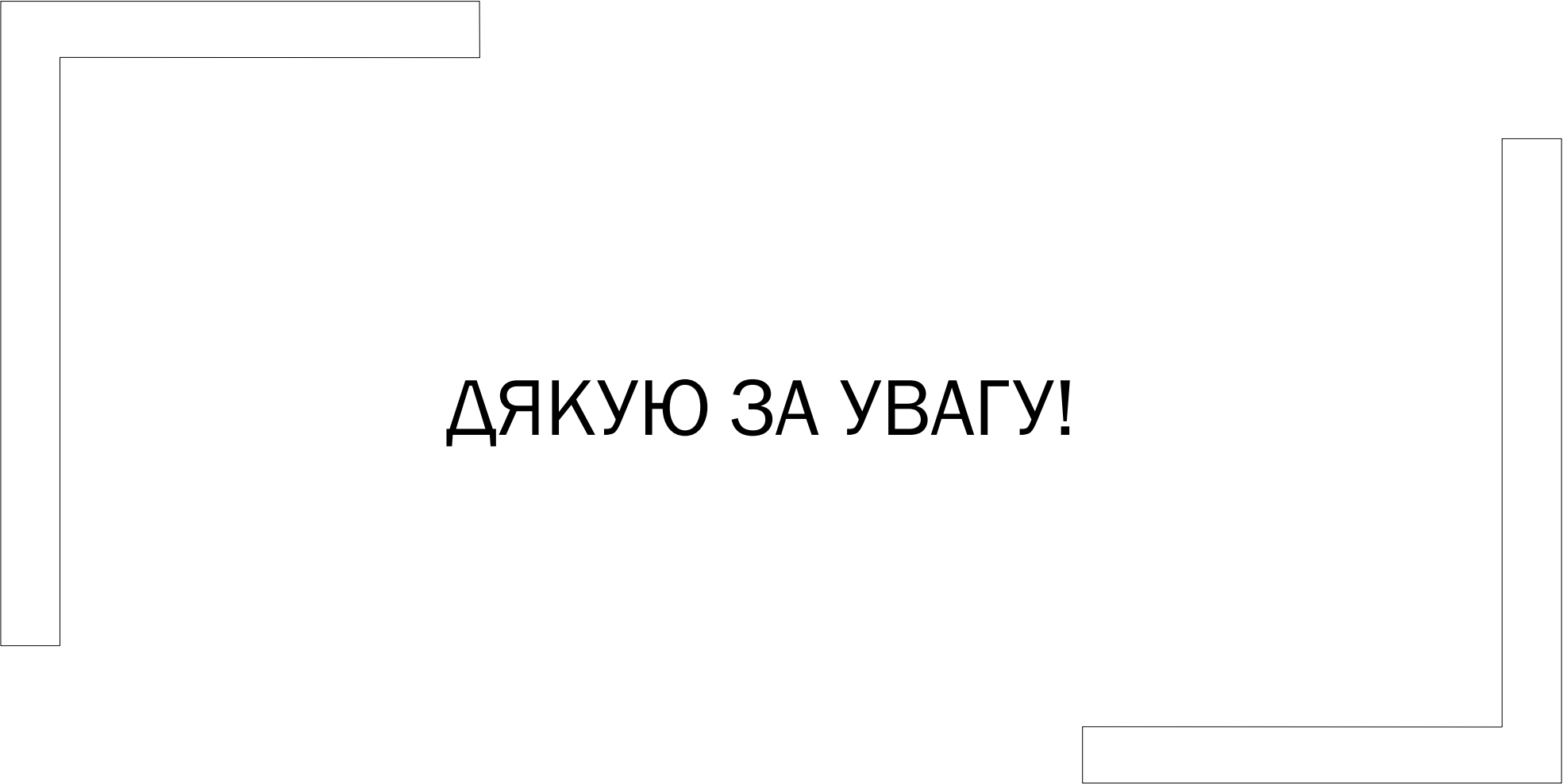


# Аналіз отриманих результатів



# Висновки

- Найбільш **ефективною** з розглянутих конструкцій структурної плити є **схема №9**
- **Подальші дослідження** слід спрямувати на аналіз конструкцій із збільшенням спектру **варіантів базового елемента**, зміною схеми **схем опирання**, а також на оцінку **трудомісткості монтажу** моделей.

The image features two decorative L-shaped corner brackets. One is located in the top-left corner, and the other is in the bottom-right corner. Both are drawn with thin black lines. The text "ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!" is centered in the middle of the page.

**ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!**

### Додаток 3 Огляд статей

SARIKAB. SHINDE, M. SHIMPALE (2015)

У цій статті зосереджено увагу на двошарових аркових склепіннях (DLBV) секційного типу в 3D-форматі. Аркові склепіння є відомим підходом для покриття великих територій з мінімальною кількістю опор. Балковий двошаровий арковий склепіння являє собою просту конструкцію, що складається з поздовжніх, перехресних і підтримувальних елементів із кривизною в одному напрямку. Було досліджено та спроектовано аркові склепіння для різних навантажень, таких як власна вага, вітрове навантаження та їх комбінації. Розрахунок виконувався відповідно до стандарту IS: 800-2007, а оцінка проведена за допомогою програми STAAD.Pro 2007. Ця робота включає аналіз прольотів, максимального відхилення, власної ваги та моделей вартості.

K. SELVAM, R. DIVYAMEENA (2016)

Цей проєкт стосується оптимізації сталевих просторових конструкцій. Оптимізація включає зменшення кількості матеріалу в конструкції до мінімального рівня, забезпечуючи при цьому використання кожного елемента на понад 80%. Важливо, щоб початкові властивості не були порушені, а конструкція залишалася стійкою. Просторові конструкції проєктуються методом скелетного підходу, а не поетапним будівництвом. Під час проєкту форма конструкції була оптимізована для досягнення найкращих результатів. Завершивши моделювання з різною глибиною, було визначено оптимальну форму.

AMIT KUMAR, ANANT KUMAR, SHYAM KISHOR KUMAR, KRISHNA MURARI (2014)

Сейсмічні сили, створені на рівні поверхів будівлі, передаються через балки і колони до основи. Відмова колони може серйозно вплинути на стабільність всієї конструкції, тоді як відмова балки має локальний вплив. Тому розумніше проєктувати балки як точки можливої відмови. Цей підхід називається "міцні колони — слабкі балки". У багатоповерхових будівлях це досягається шляхом створення пластичних шарнірів на кінцях балок, тоді як колони залишаються в еластичному стані. Цей метод відомий як проєктування

на основі потужності і є перспективним для сейсмічного проектування багатоповерхових будівель.

JAYASHREE'S, R. RAKULBHARATWAJ

Використання технології попереднього напруження, а також розвиток конструктивних концепцій і рішень також стосуються сучасних просторових конструкцій. Це включає композитні просторові конструкції, сітчасті структури з відкритими осередками, багатогранні просторові рамкові конструкції, часткові двошарові оболонки, системи зі сталевими кабелями, конструкції деревоподібного типу тощо. У цій статті розглянуто характеристики і приклади застосування сучасних жорстких і еластичних просторових конструкцій у Китаї.

FATTAH K. ABBAS ADEL ABDUL JABBAR AL-WAILY (2000)

Незважаючи на те, що кутове зміщення між балками і колонами є відносно невеликим у навантажених каркасних конструкціях, воно суттєво впливає на числову поведінку каркасу і, відповідно, на проектування його елементів. Було доведено, що врахування напівжорстких з'єднань є критично важливим для аналізу каркасних конструкцій.

SANTOSH KUMAR (2007)

У цій статті описано експериментальне дослідження масштабної моделі двошарової конструкції для сонячного трекера, яку пропонували використовувати для Національної опери в Афінах, Греція. Масштабна модель мала прольот 5 м і кубічні модулі з довжиною ребра 1,25 м. Основна мета експерименту — вивчення монтажу конструкції, особливо попереднього натягу. Було використано унікальну методику натягу, де верхні і нижні рівні елементи розтягувалися, а вертикальний натягний елемент збільшувався. Завчасне підтвердження попереднього натягу є важливим, і в цій роботі описано доцільну методику оцінки попереднього напруження в діагональних елементах конструкції за допомогою аналізу вібрацій.

## Додаток 4 Опис методів досліджень

**Метод скінченних елементів (МСЕ)** — це числовий метод розв'язання диференціальних рівнянь, що описують фізичні процеси в інженерних конструкціях та системах. Він широко використовується в будівництві для аналізу напружень, деформацій, теплопровідності, динаміки рідин та інших задач.

### Суть методу

Метод скінченних елементів розбиває складну геометрію конструкції на більш прості елементи — скінченні елементи, які мають стандартну форму (трикутники, квадрати, тетраедри тощо). Властивості кожного елемента описуються лінійними або нелінійними рівняннями, а всі елементи з'єднуються у вузлах.

Розв'язок шукається шляхом мінімізації енергії деформації або іншого фізичного критерію в межах кожного елемента, а потім ці результати об'єднуються, щоб отримати глобальний розв'язок для всієї конструкції.

### Основні етапи застосування МСЕ

1. **Дискретизація моделі:** поділ об'єкта на скінченні елементи.
2. **Вибір функцій наближення:** визначення математичних моделей для кожного елемента (лінійні, квадратичні або більш складні).
3. **Задавання матеріальних властивостей:** міцність, жорсткість, теплопровідність тощо.
4. **Побудова матриць жорсткості:** визначення співвідношення між силами та переміщеннями у вузлах.
5. **Задання граничних умов:** закріплення, навантаження або температурні впливи.
6. **Розв'язання рівнянь:** отримання переміщень, напружень або інших шуканих параметрів.

7. **Аналіз результатів:** оцінка отриманих даних для прийняття рішень.

## **Застосування МСЕ в будівництві**

### **1. Аналіз міцності і жорсткості:**

- Розрахунок напружень і деформацій у конструктивних елементах (балки, плити, рами, арки).
- Перевірка міцності на різні типи навантажень (вітрові, сейсмічні, снігові, власна вага).

### **2. Сейсмічний аналіз:**

- Моделювання поведінки будівель під час землетрусів.
- Аналіз пластичних деформацій та ймовірності руйнування.

### **3. Проектування мостів і тунелів:**

- Аналіз навантажень, включаючи трафік, вітрові та температурні впливи.
- Оцінка взаємодії ґрунту з фундаментами.

### **4. Тепловий аналіз:**

- Розрахунок теплоізоляційних властивостей будівель.
- Аналіз теплових впливів на будівельні конструкції.

### **5. Динамічний аналіз:**

- Моделювання впливу коливань від транспорту, машин або вітру.
- Розрахунок частот власних коливань конструкцій.

### **6. Оптимізація конструкцій:**

- Визначення оптимальної форми та матеріалів для забезпечення міцності при мінімальних витратах.

## **Переваги МСЕ**

- Можливість моделювання складних геометрій та матеріалів.
- Розв'язання нелінійних задач (пластичність, тріщини, великий прогин).
- Універсальність для різних типів задач у будівництві та машинобудуванні.

## **Недоліки МСЕ**

- Високі обчислювальні витрати.
- Необхідність точного задання граничних умов і властивостей матеріалів.
- Помилки дискретизації можуть впливати на точність розрахунків.

МСЕ став основним інструментом у сучасному будівництві завдяки своїй точності, гнучкості та можливості моделювання складних систем, що сприяє зниженню ризиків і підвищенню ефективності конструкцій.

## Використання ПК Microsoft Excel для аналізу і розрахунків

В основу проектного розрахунку ваги конструкції покладені дані сортаменту ДСТУ 8938:2019 "Труби сталеві безшовні гарячедеформовані" для діаметрів труб в діапазоні від ТБ25 x 2.5, 1.387 кг/м до ТБ550 x 75, 878.2 кг/м. Для збереження та аналізу даних, отриманих після ітераційних розрахунків у ПК ЛІРА САПР в середовищі Microsoft Excel було розроблено розрахунковий бланк у вигляді таблиць, представлених в розділі 6 (Рис. 8.1), а також бланк вихідних даних, де вказані початкові типи жорсткості, тип базового елементу та таблиця "Збір навантаження" (Рис. 8.2). За допомогою інструментів ПК Microsoft Excel була розроблена система пошуку відповідного показника маси для кожного перерізу (Рис. 8.3), що вноситься до бланку, у вищезазначеному діапазоні, а також проведення подальшого розрахунку.

Уточнені перерізи елементів						
Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N	№ типу жорсткості	Профіль		
Верхній пояс	1	-8.22	2.71	5	ТБ95 x 4	177 ТБ95 x 4 C235
	2	2.71	21.7	6	ТБ127 x 6	8 ТБ127 x 6 C235
Нижній пояс	1	-15.8	1.97	7	ТБ68 x 9.5	153 ТБ68 x 9.5 C235
	2	1.97	13.4	8	ТБ146 x 5	13 ТБ146 x 5 C235
Решітка	1	-15.7	-0.15	9	ТБ108 x 9.5	4 ТБ108 x 9.5 C235
	2	-0.15	15	10	ТБ140 x 6.5	12 ТБ140 x 6.5 C235
Колони	1	-47.4	-8.11	11	ТБ245 x 7	17 ТБ245 x 7 C235

Остаточні перерізи елементів						
Тип елементів	Група	Діапазон зусилля N	№ типу жорсткості	Профіль		
Верхній пояс	1	-8.22	2.71	5	ТБ95 x 4	173 ТБ95 x 4 C235
	2	2.71	21.7	6	ТБ194 x 5.5	11 ТБ194 x 5.5 C235
Нижній пояс	1	-15.8	1.97	7	ТБ95 x 4	173 ТБ95 x 4 C235
	2	1.97	13.4	8	ТБ95 x 4	173 ТБ95 x 4 C235
Решітка	1	-15.7	-0.15	9	ТБ102 x 11	1 ТБ102 x 11 C235
	2	-0.15	15	10	ТБ140 x 7	7 ТБ140 x 7 C235
Колони	1	-47.4	-8.11	11	ТБ273 x 7	27 ТБ273 x 7 C235

Вага конструкції						
Тип елементів	Профіль	Вага 1м.п. (т)	Кількість елементів, (шт)	Довжина одного елементу, (м)	Загальна довжина елементів, (м)	Вага елементів, (т)
Верхній пояс	ТБ95 x 4	0.008973	100	1.5	2390.11392	21.4464922
	ТБ194 x 5.5	0.02556	36	1.5	257.64672	6.585450163
			96	2.12132		
Нижній пояс	ТБ95 x 4	0.008973	228	3	684	6.137532
	ТБ95 x 4	0.008973	382	3	1146	10.283058
Решітка	ТБ102 x 11	0.02468	610	2.19317	1347.4337	33.25466372
			6	1.6		
	ТБ140 x 7	0.02295	610	2.19317	1437.0337	32.97992342
			62	1.6		
Колони	ТБ273 x 7	0.0459	12	6.2	74.4	3.41496
Загальна вага конструкції, (т)						114.1020795

Рис. 8.1 Фрагмент робочого аркуша, розрахунковий бланк

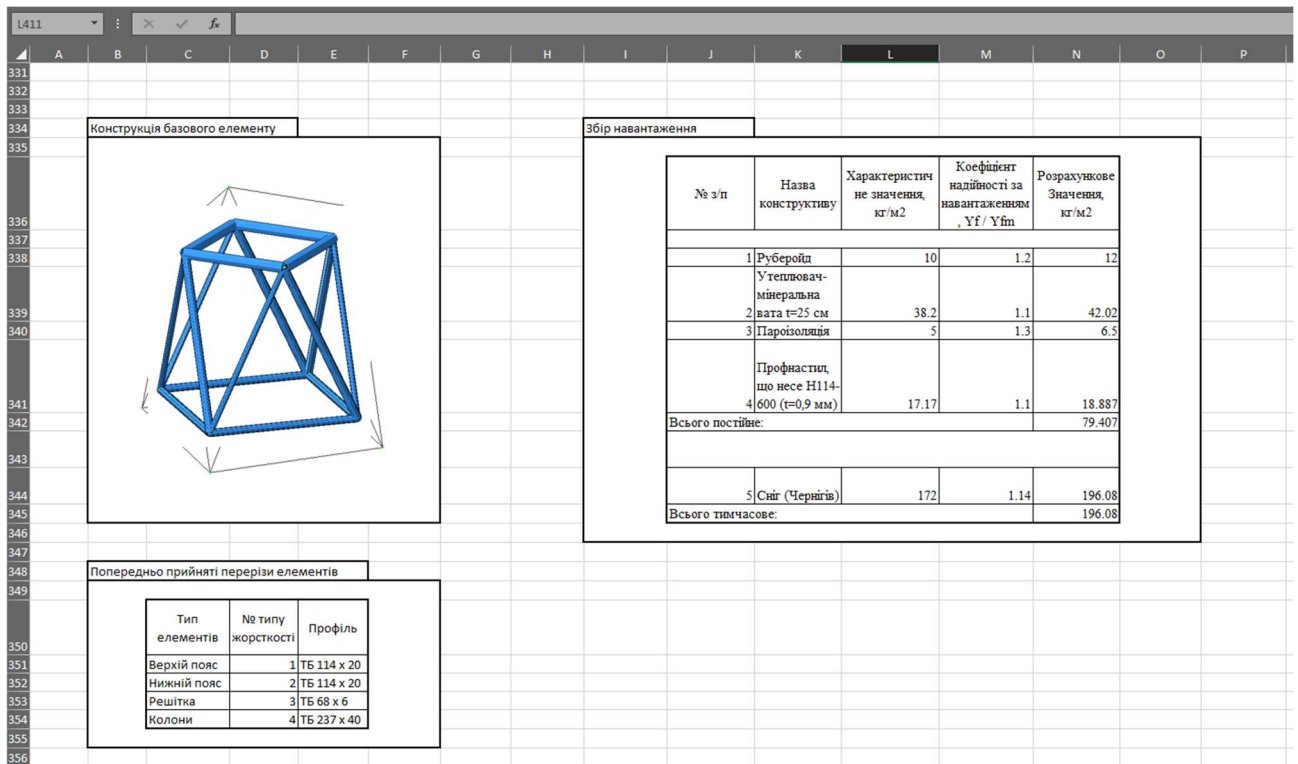


Рис. 8.2 Фрагмент робочого аркуша, бланк вихідних даних

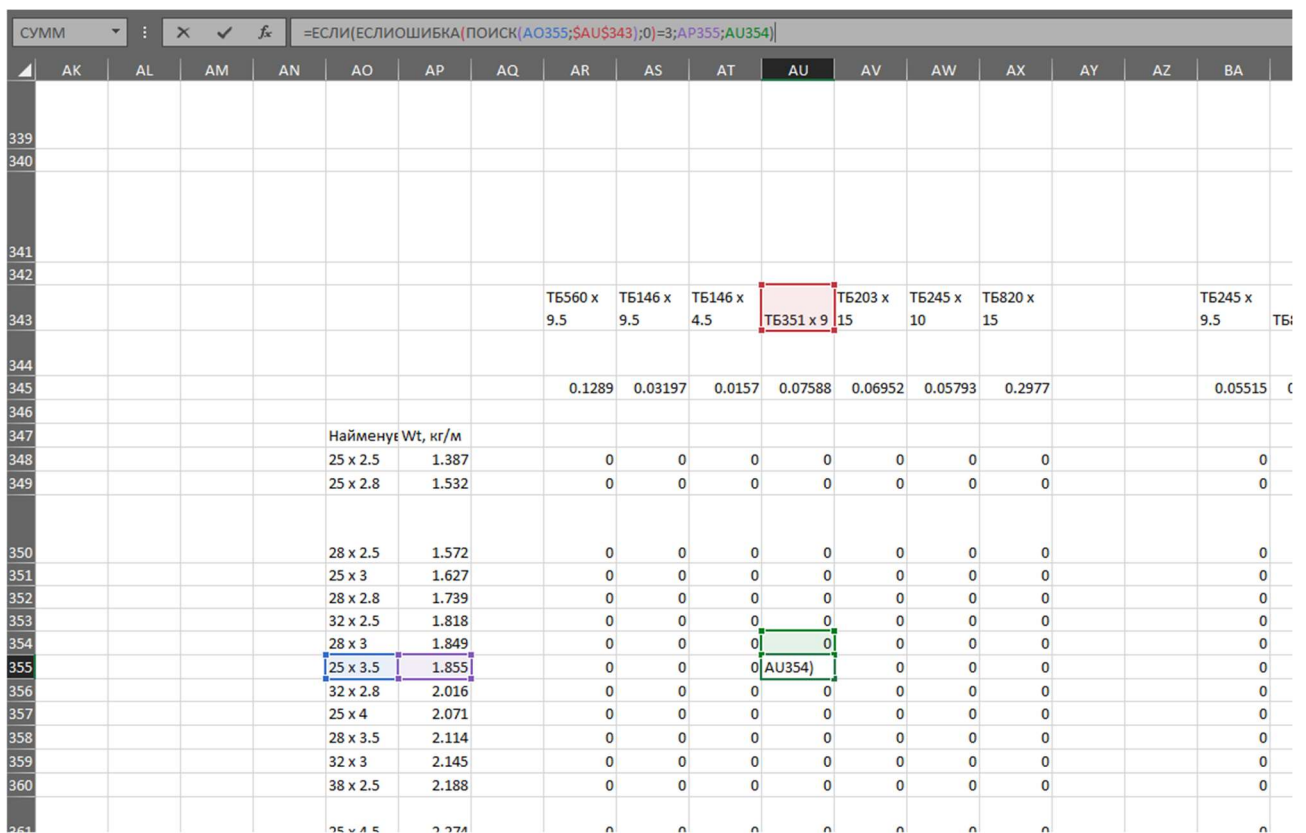


Рис. 8.3 Фрагмент робочого аркуша, система пошуку показника маси перерізу

Зображений на рисунку 8.1 розрахунковий бланк організований і використовується таким чином:

1. У стовбець К, для кожного рядка, що відповідає розрахунковій групі стержнів у таблицях 1 та 2 бланку, вводяться дані перерізів, що були підібрані за допомогою ПК ЛІРА САПР після розрахунку моделі. Внесені перерізи автоматично дублюються у стовбці Н, а також перерізи з таблиці 2 дублюються у стовбці D, таблиці 3.

2. У стовбці Е та F, для таблиць 1 та 2, вносяться дані максимальних та мінімальних зусиль N, в межах яких була визначена відповідна розрахункова група стержнів.

3. У стовбець F, таблиці 3, вносяться дані про кількість стержньових елементів для кожної групи. Так як конструкцією зумовлена можлива наявність стержнів різної довжини, їх кількість вказується окремо.

4. У стовбець G, таблиці 3, вносяться дані про довжину стержньових елементів для кожної групи, відповідно даних про їх кількість у стовбці F.

5. У стовпчику Н, таблиці 3, обчислюється Загальна довжина елементів для кожної групи.

6. У стовпчику Н, таблиці 3, обчислюється Загальна вага елементів для кожної групи, а також загальна вага усієї конструкції, що розглядається.

Шляхом копіювання бланків вихідних даних та розрахунку і їх заповнення можливо виконати розрахунок для необхідної кількості моделей.

Результати розрахунку були винесені в окремий бланк та на їх основі створені діаграми розподілу маси у конструктивних групах стержнів для кожної схеми (Рис. 8.4), а також порівняння їх загальної маси (Рис. 8.5).

№ Розрахункової схеми	1	2	3
Загальна вага конструкцій	475.462923	269.757225	491.511593
Вага верхнього поясу	63.9115884	30.5236465	35.8458726
Вага нижнього поясу	56.0637486	28.5107204	30.064338
Вага решітки	352.63881	205.539807	120.667286
Вага опор	2.848776	5.1830512	4.9340964
Переміщення вздовж осі X, мм	6.72	1.75	2.09
Переміщення вздовж осі Y, мм	5.88	6.19	2.27
Переміщення вздовж осі Z, мм	76.1	50.9	16.1

0.712194 0.6478814 0.4111747

№ Розрахункової схеми	4	5	6
Загальна вага конструкцій	603.943553	317.101172	264.600328
Вага верхнього поясу	119.66691	64.04958	74.58585
Вага нижнього поясу	134.377236	81.0865102	65.5583822
Вага решітки	342.516447	164.143162	115.133776
Вага опор	7.38296	7.82192	9.32232
Переміщення вздовж осі X, мм	5.87	3.93	1.5
Переміщення вздовж осі Y, мм	5.44	3.94	1.88
Переміщення вздовж осі Z, мм	42	36.2	11.1

1.84574 0.97774 0.77686

№ Розрахункової схеми	7	8	9
Загальна вага конструкцій	517.421465	322.264193	114.102079
Вага верхнього поясу	96.6155667	185.367384	28.0319424
Вага нижнього поясу	162.33456	48.39684	16.42059
Вага решітки	255.053898	84.7363215	66.2345871
Вага опор	3.41744	3.763648	3.41496
Переміщення вздовж осі X, мм	6.81	1.75	3.89
Переміщення вздовж осі Y, мм	4.12	6.19	4.05
Переміщення вздовж осі Z, мм	72.3	50.9	22.7

0.85436 0.470456 0.28458

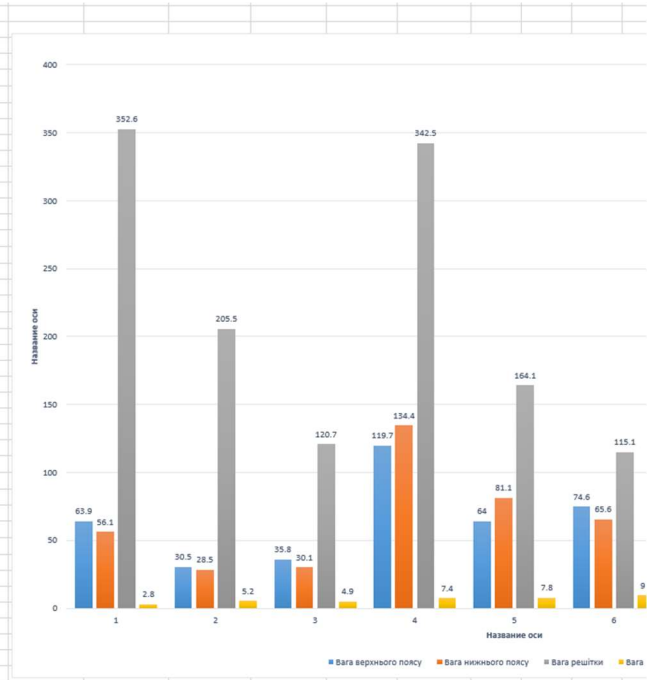


Рис. 8.4 Фрагмент робочого аркуша, бланк результатів розрахунку та діаграма розподілу маси

№ Розрахункової схеми	1	2	3
Загальна вага конструкцій	475.5	269.8	191.5
Вага верхнього поясу	63.9	30.5	35.8
Вага нижнього поясу	56.1	28.5	30.1
Вага решітки	352.6	205.5	120.7
Вага опор	2.8	5.2	4.9
Переміщення вздовж осі X, мм	6.7	1.8	2.1
Переміщення вздовж осі Y, мм	5.9	6.2	2.3
Переміщення вздовж осі Z, мм	76.1	50.9	16.1

№ Розрахункової схеми	4	5	6
Загальна вага конструкцій	603.9	317.1	264.6
Вага верхнього поясу	119.7	64	74.6
Вага нижнього поясу	134.4	81.1	65.6
Вага решітки	342.5	164.1	115.1
Вага опор	7.4	7.8	9.3
Переміщення вздовж осі X, мм	5.9	3.9	1.5
Переміщення вздовж осі Y, мм	5.4	3.9	1.9
Переміщення вздовж осі Z, мм	42	36.2	11.1

№ Розрахункової схеми	7	8	9
Загальна вага конструкцій	517.4	322.3	114.1
Вага верхнього поясу	96.6	185.4	28
Вага нижнього поясу	162.3	48.4	16.4
Вага решітки	255.1	84.7	66.2
Вага опор	3.4	3.8	3.4
Переміщення вздовж осі X, мм	6.8	1.8	3.9
Переміщення вздовж осі Y, мм	4.1	6.2	4.1
Переміщення вздовж осі Z, мм	72.3	50.9	22.7

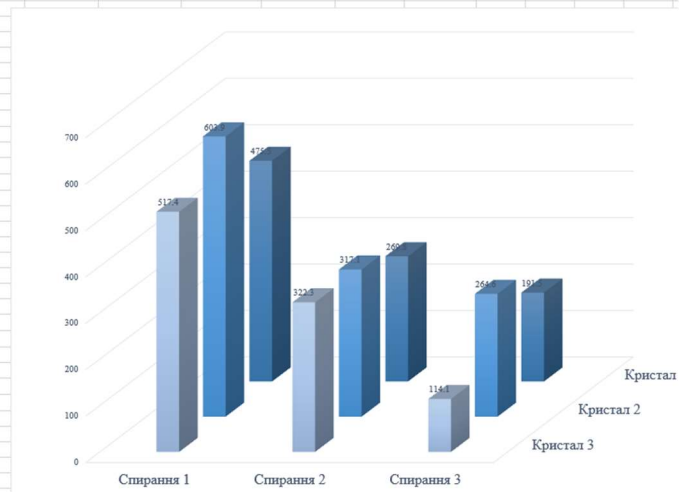


Рис. 8.5 Фрагмент робочого аркуша, бланк результатів розрахунку та діаграма загальної маси