

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

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
Будівельних конструкцій

/...../

підпис

«__» _____ 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

за другим рівнем вищої освіти

**На тему: «Дослідження роботи оболонки покриття під
навантаженням»**

Виконав (ла)	_____	Забуга О.О.
	(підпис)	(Прізвище, ініціали)
Група		ПЦБ 2202 м
(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

Забуга Олександр Олегович

Тема роботи: Дослідження роботи оболонки покриття під навантаженням

Затверджено наказом по університету № 602/ос від "28" 02 2024р.

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

Вихідні дані до роботи:

Конструктивне рішення оболонки покриття типу гіперболічний параболоїд

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

Дослідити формоутворення та особливості роботи поверхонь типу гіперболічний параболоїд. Прийняти для дослідження в рамках числового експерименту модель гіперболічної тонкостінної конгруентної оболонки покриття, що завантажена сніговим навантаженням за різними схемами. виконати статичні розрахунки моделей за різними схемами прикладення навантаження, проаналізувати результати та сформулювати висновки.

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

Мультимедійна презентація в форматі Microsoft PowerPoint

Керівник :

(підпис)

Н.М. Срібняк

(Прізвище, ініціали)

Консультант

(підпис)

В.М. Луцьковський

(Прізвище, ініціали)

Завдання прийняв до виконання:

Здобувач

(підпис)

О.О. Забуга

(Прізвище, ініціали)

АНОТАЦІЯ

Забуга Олександр Олегович. Дослідження роботи оболонки покриття під навантаженням – Кваліфікаційна робота магістра на правах рукопису

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

Робота складається із змісту, загальної характеристики роботи та її кваліфікаційних ознак, опису конструктивного рішення оболонки покриття, огляду досліджень за обраною темою, розділів основної частини, висновків за результатами досліджень (українською та англійською мовами).

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

Аналіз публікацій та досліджень включає огляд аналітичних, «докомп'ютерних» методів розрахунку гіперболічних поверхонь. Розглянуто реальні конструктивні вирішення монолітних гіперболічних оболонок, що мають місце в світовій практиці. На основі розрахунків досліджена специфіка напруженого стану цих оболонок та надані конкретні рекомендації щодо проектування тонкостінних гіперболічних оболонок. Наведено переваги та недоліки таких поверхонь. Наведено способи утворення поверхні та переваги тонкостінних монолітних оболонок подвійної від'ємної Гаусової кривини. Поверхні гіперболічного параболоїда різного виду схожі формами живої природи, тому вони відрізняються ефективною статичною роботою під навантаженням. Сформульовано мету, задачі, об'єкт та предмет дослідження, методи наукового дослідження.

В **основній частині** наведено опис конструктивного вирішення складеної з однакових фрагментів поверхні на квадратному плані гіперболічної оболонки. Виконано числовий експеримент з визначення та аналізу напружено-

деформованого стану такої поверхні в залежності в декількох способів прикладення снігового навантаження на її поверхню. Виконана перевірка стійкості стиснутих зон поверхні. Визначено площу робочої арматури за найбільш небезпечної схеми завантаження оболонки.

У **висновках** проаналізовано результати статичного конструкції за різних способів її завантаження сніговим навантаженням. Проаналізовано характер розподілу та зміни величин головних напружень розтягу та стиску в тілі оболонки; проаналізовано зміну жорсткості оболонки за різних умов її завантаження.

Практичне значення отриманих результатів дозволяє визначити найбільш небезпечні схеми завантаження снігом оболонки даного типу. В **додатках** наведено тези за темою роботи та презентацію доповіді.

Ключові слова: тонкостінна оболонка, гіперболічний параболоїд, головні напруження, поверхня, що не розгортається, Гаусова кривина, стріла підйому

Список публікацій та/або виступів на конференціях студента:

Забуга О.О., Срібняк Н.М. Класифікація укриттів цивільного захисту // Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої Міжнародному дню студента (13-17 листопада 2023 р.) – Суми, 2023. С. 74

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

Структура роботи. Робота складається з основного тексту на 63 сторінках, у тому числі 8 таблиць, 38 рисунка. Текст роботи містить 7 розділів, що включають загальну характеристику роботи й висновки, список з 18 джерел, 2 додатків на 46 сторінках. Графічна частина складається з 42 слайдів мультимедійної презентації.

Abstract

Zabuha Oleksandr Olehovych. Study of the behaviour of the roofing shell under load – Master's qualification work with manuscript rights.

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

The work consists of the content, the general characteristics of the work and its qualifying features, a description of the constructive solution of the coating shell, an overview of research on the chosen topic, sections of the main part, conclusions based on the results of research (in Ukrainian and English).

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

The **analysis of publications and studies** includes an overview of analytical, "pre-computer" methods of calculating hyperbolic surfaces. Real constructive solutions of monolithic hyperbolic shells, which take place in world practice, are considered. Based on the calculations, the specifics of the stress state of these shells were investigated and specific recommendations for the design of thin-walled hyperbolic shells were given. The advantages and disadvantages of such surfaces are given. Methods of surface formation and advantages of thin-walled monolithic shells of double negative Gaussian curvature are given. The surfaces of the hyperbolic paraboloid of various types are similar to the forms of living nature, so they differ in effective static work under load. The goal, tasks, object and subject of research, methods of scientific research are formulated.

In the **main part**, a description of the constructive solution of a floor composed of identical fragments on a square hyperbolic shell is given. A numerical experiment was performed to determine and analyze the stress-strain state of such a surface

depending on several methods of applying a snow load to its surface. The stability of the compressed zones of the floor has been checked. The area of the working armature under the most dangerous shell loading scheme is determined.

In the **conclusions**, the results of the static structure are analyzed in different ways of loading it with snow load. The nature of the distribution and changes in the magnitudes of the main tensile and compressive stresses in the body of the shell is analyzed; the change in shell stiffness under different loading conditions was analyzed.

The **practical value** of the obtained results allows to determine the most dangerous schemes of snow loading of the shell of this type. The theses on the topic of the work and the presentation of the report are given in the appendices.

Key words: thin-walled shell, hyperbolic paraboloid, principal stresses, non-unfolding surface, Gaussian curvature, lift boom

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

Zabuha O.O., Sribniak N.M. Classification of civil defense shelters // Materials of the All-Ukrainian scientific conference of students and postgraduates dedicated to the International Student Day (November 13-17, 2023) - Sumy, 2023. P. 74

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

Structure of work. The work consists of the main text on 63 pages, including 8 tables, 38 figures. The text of the work contains 7 chapters, including a general description of the work and conclusions, a list of 18 sources, 2 appendices on 46 pages. The graphic part consists of 42 slides of a multimedia presentation.

ЗМІСТ

Завдання	
Анотація	
РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ	
1.1 Актуальність теми.....	
1.2. Мета, задачі, предмет та об'єкт дослідження.....	
РОЗДІЛ 2. БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ	
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	
РОЗДІЛ 4. ГІПЕРБОЛІЧНІ ПОВЕРХНІ	
4.1 Оболонки від'ємної гаусової кривини на прямокутному плані.....	
4.2. Гіпари, віднесені до асимптот.....	
РОЗДІЛ 5. РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ ГІПАРУ, ЩО ДОСЛІДЖУЄТЬСЯ	
5.1 Модель поверхні.....	
5.2. Конструктивне вирішення оболонки та граничні умови.....	
5.3 Матеріал для оболонки.....	
5.4 Навантаження на оболонку.....	
5.5 Перевірка стійкості стиснутих зон оболонки.....	
5.6 Жорсткісні характеристики елементів схеми.....	
РОЗДІЛ 6. РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЛОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОБОЛОНКИ	
6.1 Головні напруження в тонкій оболонці-«шкарлупі».....	
6.2 Армування оболонки.....	
6.3 Деформативність оболонки.....	
6.4 Зусилля в колонах.....	
РОЗДІЛ 7. ВИСНОВКИ	
Література	
Додатки	

Додаток 1.Тези доповіді на конференції

Додаток 2.Графічний матеріал (презентація)

РОЗДІЛ 1. ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

1.1 Актуальність теми

Для архітектора та проектувальника важливим є віднайти таку геометричну форму, що найкращим би чином відповідала вимогам проектування, що висуваються наперед. П.Л. Нерві вважав, що геометрична форма поверхні обумовлює її несучу здатність. Між цими двома величинами є прямий функційний зв'язок.

Отже, оптимізація поверхні та пошук її раціональної форми – є найпершою та однією із головних задач для інженера-будівельника.

Форма оболонки вирішальним чином впливає на її напружений стан оскільки вона першочергово залежить від гаусової кривини поверхні та від лінійчатості оболонки, що з нею пов'язана. Усі можливі поверхні в геометрії класифікують за трьома видами: з параболічними, гіперболічними та еліптичними точками (рис. 1.1, 1.2, 1.3).

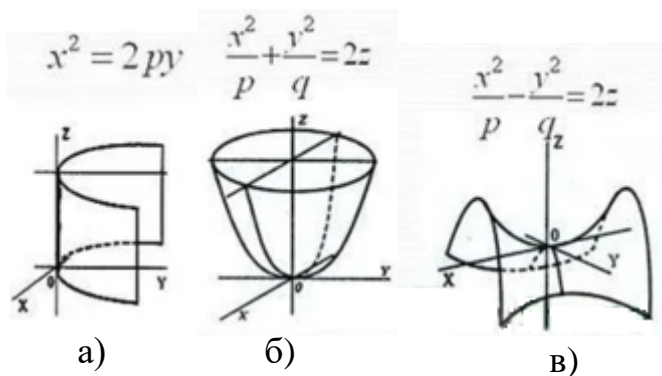


Рис. 1.1 Поверхні з параболічними точками: параболічний циліндр -а; еліптичний параболоїд-б; гіперболічний параболоїд -в

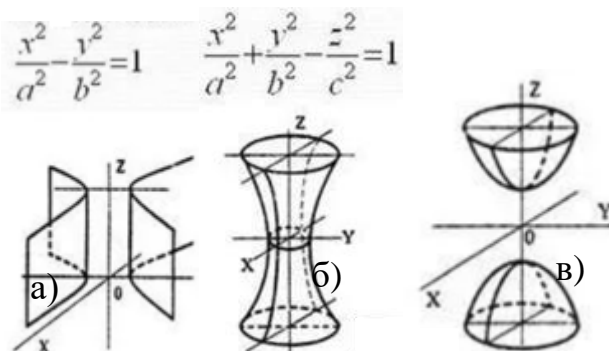


Рис. 1.2 Поверхні з гіперболічними точками: гіперболічний циліндр -а; однопорожнинний гіперболоїд-б; двопорожнинний гіперболоїд -в

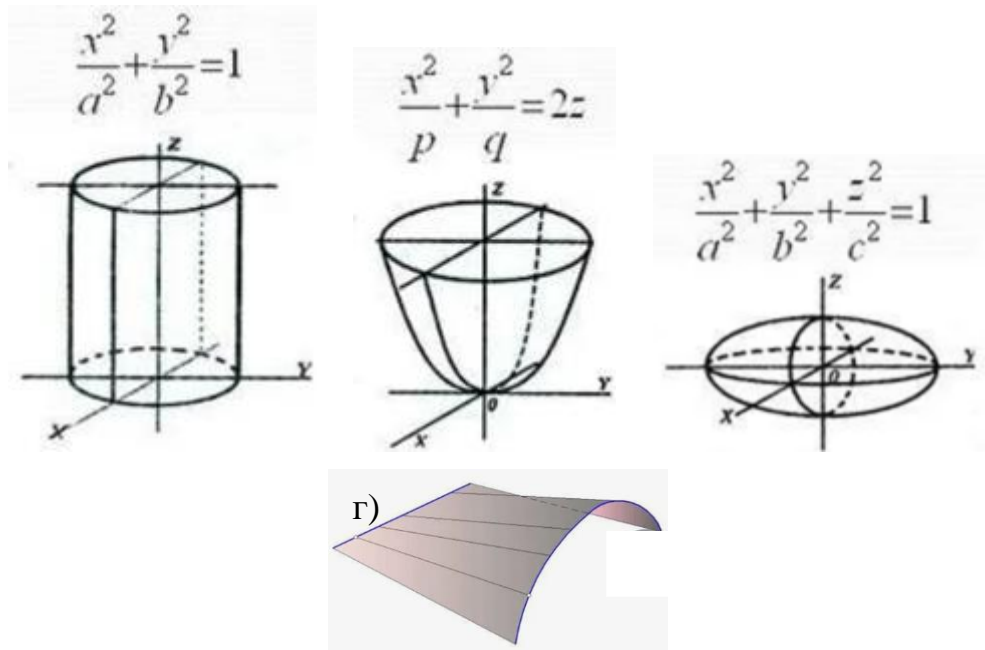


Рис. 1.3 Поверхні з еліптичними точками: еліптичний циліндр -а; еліптичний параболоїд-б; еліпсоїд -в; коноїд-г

Встановлено, що оболонки, що характеризуються кінчними чи циліндричними поверхнями гірше чинять опір моментом згину.

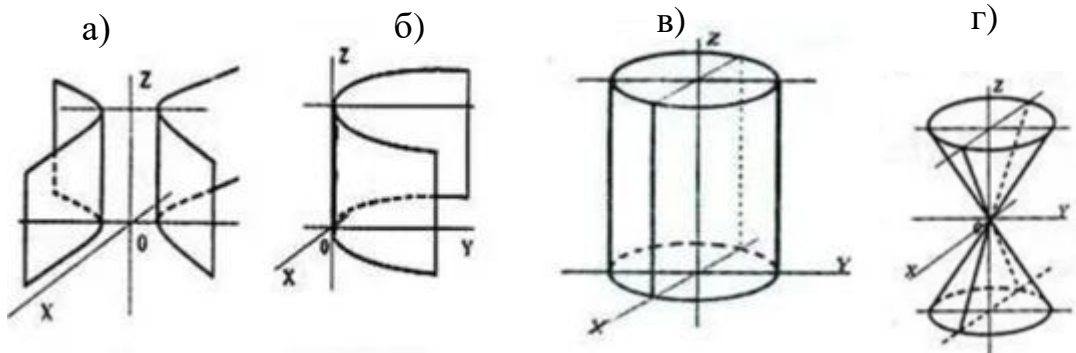


Рис. 1.4 Циліндричні поверхні-а, б, в; конічні поверхні - г

Й, тоді, зростає небезпека прогину. Окрім раціонально форми тонкостінної оболонки (шкарлупи), що повинна бути відповідно армована та закріплена, вона також повинна бути підсилена діафрагмами.

Оболонки, серединні поверхні котрих містять гіперболічні точки – гіперболічний параболоїд, однопорожнинний гіперболоїд (рис.1.2 б, в), а також коноїд (рис. 1.3, г) частина тора та ін., найкраще чинять опір моментам вигину.

1.2 Мета, задачі, предмет та об'єкт дослідження

Метою роботи є дослідження напружено-деформованого стану моделі тонкостінної залізобетонної оболонки типу гіперболічний параболоїд завантаженою за різними схемами сніговим навантаженням. Конструкція складена на квадратному плані 24,0 x 24,0 м. Від схем прикладення снігового навантаження залежить напружено-деформований стан оболонки.

Задачі, що були поставлені для досягнення поставленої мети:

- вивчення формоутворення гіперболічної поверхні типу гіперболічний параболоїд;
- дослідження особливостей статичної роботи гіперболічної поверхні, яка не розгортається;
- моделювання за допомогою МСЕ розрахункової моделі складеної на плані оболонки-гіпару, що спирається на колони в чотирьох точках.
- виконання статичного розрахунку моделі в ПК ЛІРА-САПР 2024 за різних схем її завантаження сніговим навантаженням
- аналіз результатів статичного розрахунку та вибір найбільш небезпечної схеми прикладення навантаження.

Об'єкт дослідження – тонкостінна залізобетонна складена на квадратному плані гіперболічна оболонка, що спирається на колони в чотирьох точках й завантажена тимчасовими навантаженням за різними схемами.

Предмет дослідження – напружено-деформований стан, що виникає в тонкостінній залізобетонній складеній з однакових фрагментів на квадратному плані гіперболічній оболонці від різних схем її завантаження сніговим навантаженням.

Практичне значення отриманих результатів

Результати досліджень дозволяють визначити з декількох можливих схем прикладення навантажень найбільш небезпечну схему завантаження тонкостінної оболонки.

Апробація та публікація результатів роботи

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

Забуга О.О., Срібняк Н.М. Класифікація укріплень цивільного захисту // *Матеріали Всеукраїнської наукової конференції студентів та аспірантів, присвяченої Міжнародному дню студента (13-17 листопада 2023 р.)* – Суми, 2023. С. 74

РОЗДІЛ 2

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ ОГЛЯД ДОСЛІДЖЕНЬ

В середині минулого століття багато дослідників – V. Gioncu, M. Melaragno, F. Candela, C. Faber, A. M. Haas, M. Farshad займалися питаннями розрахунку та проектування гіперболічних оболонок різних типів та конфігурацій [5-10].



Рис. 2.1 Покриття у вигляді гіпарів: ресторан готелю Casino de la Selva, Куернавака, Мексика-а; L'Oceanogràfic (El Oceanogràfico), Місто мистецтв і наук, Валенсія, Іспанія, з Альберто Домінго та Карлосом Лазаро-б

Серед багатьох різновидів просторових систем покриття найбільш яскравими є оболонки подвійної кривини. Вони є втіленням базової ідеї архітектурної конструкції: «яка є форма, такою є й несуча здатність». Тонкий лист із сталі, що спирається по контуру, прогинається при незначному натисканні на нього рукою. Але якщо такий же лист вигнути за обрисом

циліндру, перетворивши його на склепіння, то витримає вагу людини. Отже, із зміною форми, збільшується несуча здатність поверхні. Ця ідея із використанням різних матеріалів й видів навантаження використовується у конструкціях у різноманітний спосіб.

У роботі [2] розглянуто питання проектування, розрахунку та виготовлення гіперболічних параболоїдних оболонок із масивних дерев'яних елементів. Враховуючи геометричне визначення, гіперболічні параболоїдні оболонки можна описати як дволінійчасті поверхні і, отже, збирати їх із скручених прямокутних пластин.

Дослідники та автори І.С. Мілейковський й А. К. Купар в дослідили та сконцентрували відомості у вигляді огляду архітектурно-конструктивних рішень оболонок гіпарів. В їх роботах розглянуто методи розрахунку пологих гіпарів із прямолінійним контуром (краями) – як окремих оболонок, так й складених систем згідно безмоментної та моментної теорій. В роботах цих авторів досліджено специфіку напруженого стану гіперболічних оболонок й надано рекомендації щодо проектування тонкостінних гіперболічних оболонок. Також надано таблиці для розрахунку систем, які скомпоновані з чотирьох оболонок на квадратному плані.

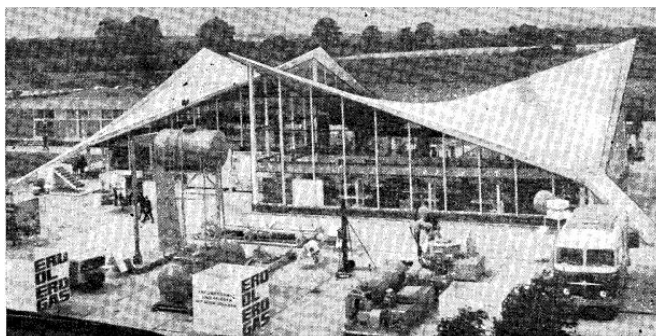
Встановлено, що у будівлях громадського призначення ефективним є використання покриттів у вигляді центричних композицій групою із трьох, чотирьох та п'яти оболонок.

Дослідженнями поверхонь за типом гіперболічного параболоїду займався математик Eugène-Charles Catalan (Бельгія), якого було визнано одним із найкращих геометрів ХІХ століття. Він надав визначення принципу конгруентності просторовим багатогранникам. Цей принцип в подальшому знайшов відображення в проектуванні конгруентних складених оболонок на квадратному чи прямокутному планах. Конгруентні грані – це грані, що можна перевести одна в одну шляхом зсуву, обертання чи відлунювання.

Г. Рюле [11] описує розвиток конструктивних форм оболонок-гіпарів, що втілені у монолітному залізобетоні. На рис. 2.2–2.3 приведено

конструктивні рішення гіперболічних оболонок, що є загальновідомими в світовій практиці проектування.

а)



б)

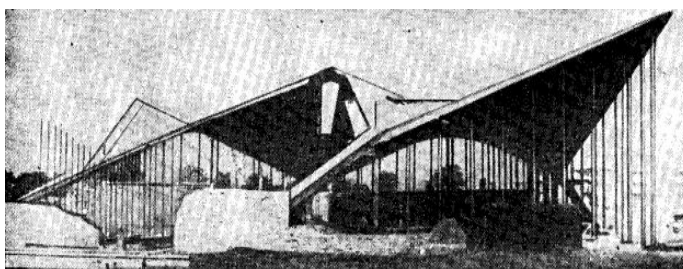
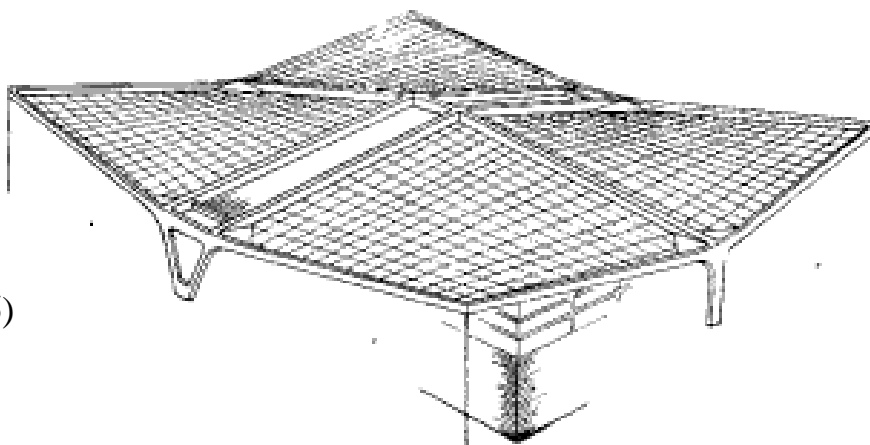


Рис. 2.2 Виставковий павільон в Ростоці (Німеччина)-а; покриття із оболонок-гіпарів в Росток-Люттен-Кляйні (Німеччина)-б

а)



б)

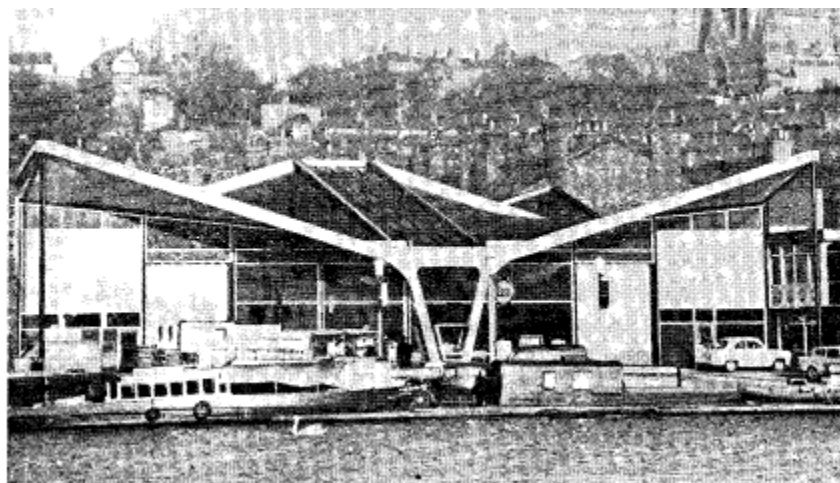


Рис. 2.3 Гараж в Лінкольні (Великобританія): схема покриття–а; загальний вигляд – б

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Як методи, що було задіяно в дослідженні можна назвати наступні:

1. **метод збирання та аналізування інформації.** Цей метод полягає в пошуку, огляді, аналізі змісту досліджень питань з розрахунку та проектування тонкостінних оболонок- покриттів, зокрема таких, що являють собою поверхні другого порядку типу гіперболічний параболоїд. Дослідження факторів, що впливають на зміну напружено-деформованого стану тонкостінних конструкцій теж є предметом пошуку та дослідження.
2. **математичний метод скінчених елементів,** що є також і найпоширенішим та найактуальнішим методом будівельної механіки. Його застосовано для моделювання із скінчених елементів (стержнів та пластин) моделі оболонки-гіпару з метою її подальшого статичного розрахунку (визначення напружень та зусиль в скінчених елементах).
3. **метод узагальнення й аналізу даних статичних розрахунків в ПК Ліра-МАПР за допомогою ПК Microsoft Excel.**

РОЗДІЛ 4. ГІПЕРБОЛІЧНІ ПОВЕРХНІ

4.1 Оболонки від'ємної гаусової кривини на прямокутному плані

Найпопулярнішими в будівництві із класу оболонок від'ємної гаусової кривини застосовують гіперболічні параболоїди, що розташовано на прямокутних чи квадратних планах. Гіперболічний параболоїд характеризується як поверхня переносу у двох варіантах [11]:

- ковзання (перенос або трансляція) прямої по двом прямим, які лежать навхрест (рис.4.1,а);
- ковзання (перенос або трансляція) параболі по параболі (рис.4.1,б)

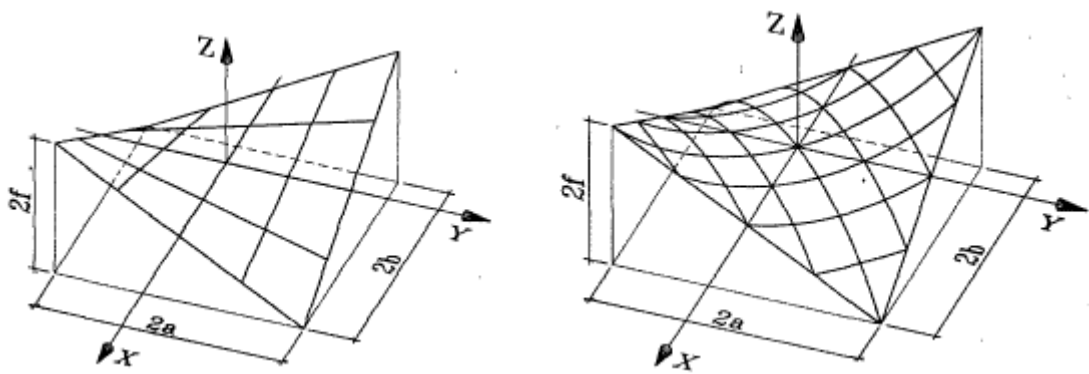


Рис. 4.1 Способи утворення поверхні гіпару: перенос прямої по двом прямим, що лежать навхрест – а; перенос параболі по параболі – б

При відповідному та раціональному виборі геометрії поверхні гіпару, як й інші оболонки подвійної кривини, характеризуються високою несучою здатністю. Стійкість оболонки-гіпару забезпечується завдячуючи кривині різного знаку у двох взаємно перпендикулярних напрямках. В оболонці типу гіпар (рис.4.2) виникають зусилля стиску за напрямом a й, також, розтягуючі зусилля виникають за напрямом b [3].

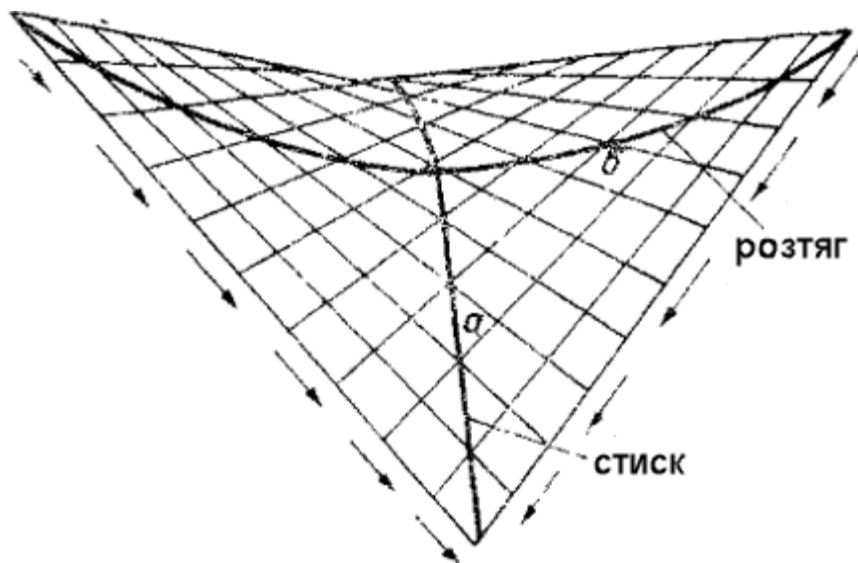


Рис. 4.2 Схема зусиль в оболонці-гіпарі

При навантаженні, що розподілено рівномірно на оболонку, нормальні зусилля, які спрямовано вздовж її твірних, є постійними по всій довжині. Такий факт свідчить про те, що навантаження на контурі оболонки, що спрямовано поперек, відсутнє, а балочні елементи контуру завантажені лише

погонними зусиллями зсуву. Отже, головні нормальні зусилля виникають в перерізах оболонки, які розташовані під кутом 45° до твірних.

Для сприймання сил зсуву по контуру оболонки передбачають бортові елементи або ребра. В ребрах в залежності від взаємного розміщення оболонок у покритті можуть з'являтися зусилля розтягу або зусилля стиску (рис.4.2).

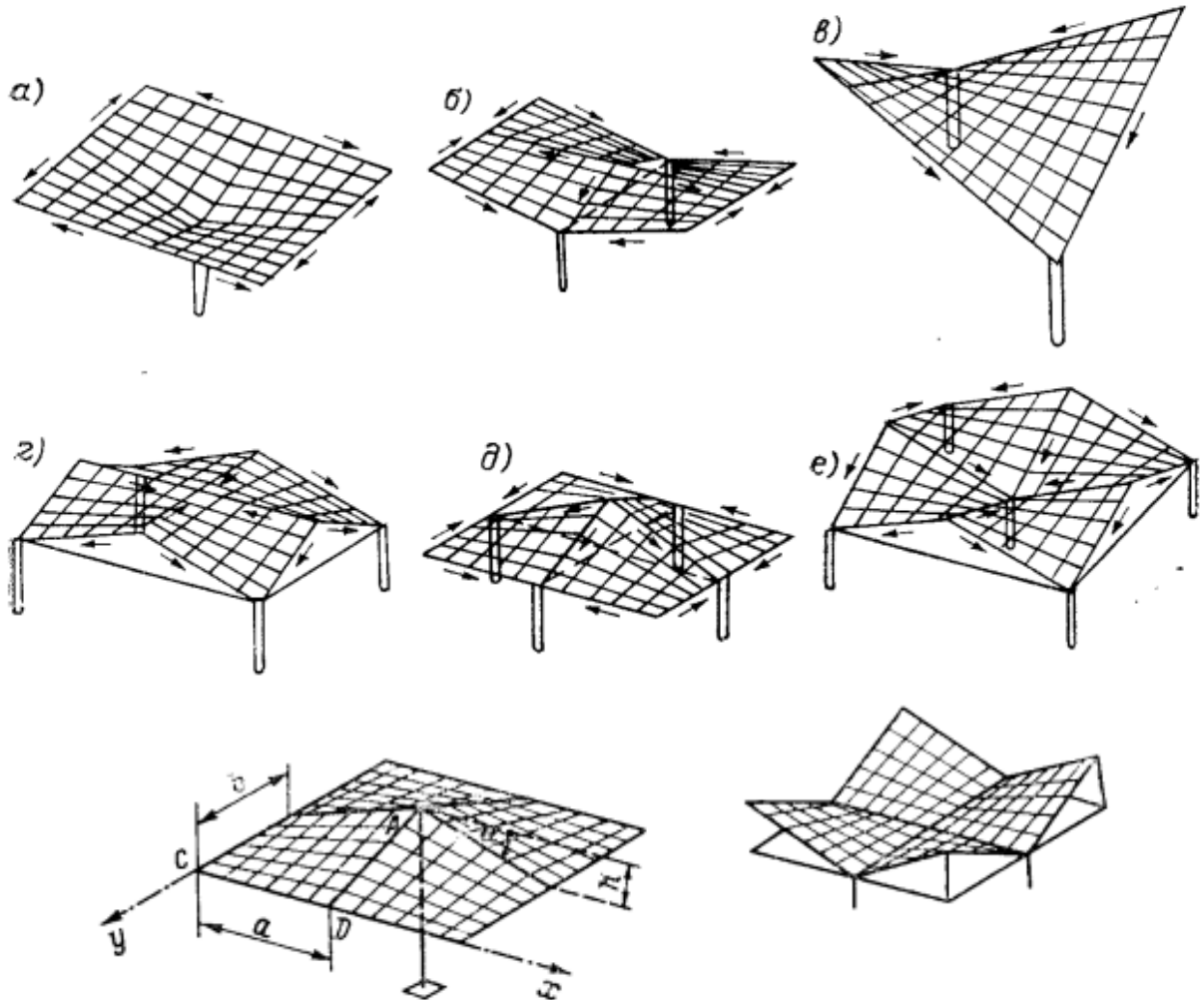


Рис. 4.3 Можливі форми покриттів з оболонок-гіпарів віднесених до асимптот

Принцип статичної роботи оболонок-гіпарів є досить нескладним, а форми їх просто втілити у практику проектування. Але необхідно враховувати наступне.

Оболонка, зазвичай, не може сприймати суттєвих вертикальних навантажень, які прикладено до її країв. В тому числі не здатна вона й до сприйняття навантажень від власної ваги бортових балочних елементів. Отже, необхідно звертати значну увагу на розрахунок й конструювання бортових

елементів та їх з'єднання з оболонкою. Несиметричні навантаження на оболонку можуть викликати неурівноважені зусилля у бортових елементах. В такому випадку рівновага оболонки загалом як жорсткої системи, є можливою тільки завдяки поширенню та розвитку деформацій вигину. У більшості випадків є достатнім розрахунок та подальше конструювання оболонок типу гіпар за безмоментною теорією. Це, перш за все, справедливо для досить жорстких оболонок при малих прольотах. Але існують такі формоутворення гіпарів, для яких урахування моментів вигину, є вкрай необхідним. Наприклад, покриття-оболонки, поверхня яких характеризується у всіх точках від'ємною кривизною, або оболонки, у яких співвідношення прольоту та висоти (стріли підйому) сприяє значній гнучкості конструкції).

У зв'язку із різноманітністю можливих форм оболонок не є реальним надання універсальних рекомендацій стосовно їх розрахунку. Дослідник Парм, зазначає, що моментами вигину можна нехтувати, у випадку коли співвідношення стріли підйому оболонки до довжини її сторони в плані більше 0,2.

4.2. Гіпари, віднесені до асимптот

Покриття з поверхнями, що є рівнобічними гіперболічними параболоїдами, віднесеними до асимптот, можуть бути створені з одного, двох чи чотирьох елементів, що є конгруентними (рис.4.3). Конструкції такого виду виявилися зручними для перекриття просторів, що мають прямокутний чи квадратний план. Такі покриття можуть «набиратися» з однотипних елементів, які повторюються. Елементи можуть мати вигляд прямокутних або квадратних у плані плит. Ці плити являють собою «скручені» прямокутники, які обрамлені прямолінійними ребрами. Оболонка характеризується розташуванням по контуру чи по діагоналям затяжок, що забезпечують загальну незмінність всієї системи. Коли покриття має значні розміри, застосовують трикутні контурні ферми. У цих оболонках затяжки, розташовані по діагоналі чи по контуру, як правило виконують попередньо-напруженими.

Основною перевагою покриттів-гіпарів є простота у їх виготовленні. Опалубка для їх зведення може бути набрана із прямолінійних елементів. Усі контурні ребра також є прямолінійними. Формоутворення плит – так званих «скручених» прямокутників, відбувається за допомоги віброрейки чи вібронасадки [5].

Оболонки від'ємної гаусової кривини, що складені з конгруентних елементів, можуть бути застосовані для будівель з планом-квадратом чи планом-прямокутником. Співвідношення сторін при цьому становить від 1:1 до 1:2. Оболонками, що є складеними, перекривають прольоти в діапазоні від 12,0 до 60,0 м.

Розрізняють пологі оболонки-гіпари, що мають стрілу підйому f від $1/10$ до $1/5$ прольоту та непологі оболонки із стрілою підйому f від $1/5$ до $1/2$ прольоту. Конструктивно оболонка має такі елементи: власне оболонка (шкаралупа) та бортові елементи, на які оболонка спирається. Висота бортового елемента приймається в межах від $1/40$ до $1/80$ прольоту. Ця величина залежить від умов його обпирання та величини прольоту. Бортові елементи обпираються на діафрагми. Діафрагми являють собою балки, ферми, колони чи стіни, рис. 4.4.

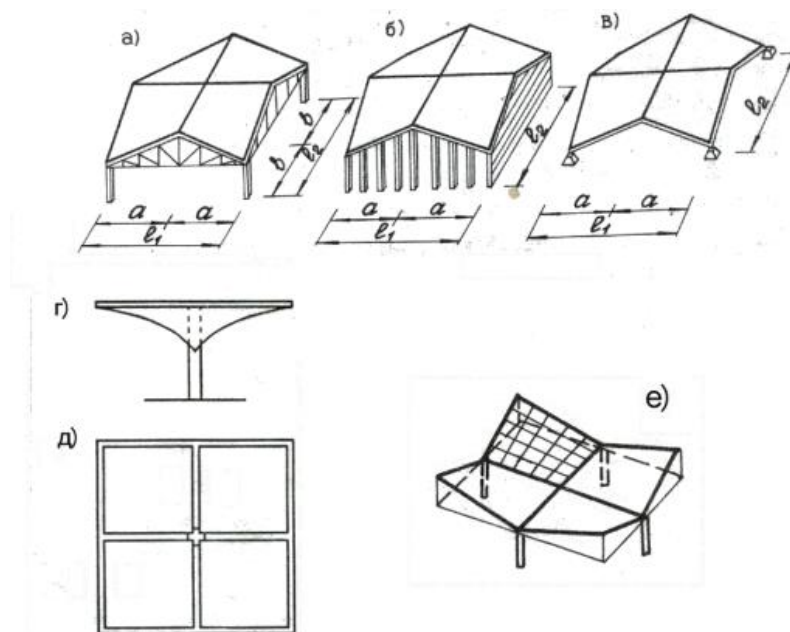


Рис. 4.4 Залізобетонні гіпари на квадратному плані:

а ÷ в – шатровий гіпар; а – зі спиранням на ферми; б – зі спиранням на колони і стіни; в – зі спиранням в спадаючих кутах на фундамент; г, д – гіпару типу «грибок»; е – типу «квітка»

При спиранні контурних елементів на колони, розміри поперечного перетину колон повинні бути такими, аби забезпечити їх гнучкість відносно будь-якої осі не більше $\lambda \leq 120$. Для колон прямокутного перетину ця умова забезпечується, коли ширина колони обрхована за емпіричною формулою:

$$b_x = 7H_x/120, \quad (4.1)$$

де: b_x – ширина перерізу колони; H_x – висота колони.

Товщина оболонки приймається в межах $1/400 \div 1/600$ прольоту оболонки-гіпару, але повинна за конструктивною вимогою бути не меншою 40 мм. При прольоті гіпару більше 36,0 м можливо встановити ребра висотою від $1/100$ до $1/120$ прольоту. Ширину ребер приймають від $1/5$ до $1/2$ їх висоти. В місцях стикування оболонки з бортовими елементами потрібно проектувати збільшення товщини оболонки в 1,5 – 2 рази з метою розташування другого ряду арматури, щоб сприймати моменти вигину в приопірній зоні. Ці стикування необхідно виконувати гладкими на ширині, що дорівнює не менше 10 товщин оболонки від бортового елемента.

Опуклі параболи (кривина спрямована вгору) оболонки працюють як арки на стиск, а зони, що є увігнутими, (кривина спрямована вниз) – працюють на розтяг за подобою гнучкої нитки. Стиснуті зони оболонки, подібно до стиснутих елементів, необхідно перевіряти на стійкість.

Стійкість оболонки вважають забезпеченою, коли середнє значення інтенсивності розподіленого навантаження q_{av} не перевищує критичного її значення q_{cr} .

$$q_{av} \leq q_{cr} = 0,05 E_b \cdot t^2 / (R_{av})^2, \quad (4.2)$$

де: E_b – початковий модуль пружності бетону; t – товщина оболонки; R_{av} – радіус кривизни, що має середнє значення, головної опуклої параболи базової оболонки (вздовж діагоналі основи), вираховується за співвідношенням:

$$R_{av} = (\ell^2/8f_p) + f_p/2, \quad (4.3)$$

де: f_p – стріла підйому опуклої параболи оболонки, що обчислюється в середині діагоналі базового гіпару; ℓ – довжина діагоналі основи базового гіпару.

Лінії сполучення оболонок мають назву лініями коньків. У залежності від кута їх нахилу та нахилу ліній зовнішнього контуру утворюються різноманітні, оригінальні в архітектурному відношенні конструктивні схеми. По контуру такі оболонки зазвичай спираються або на ферми, що мають значну жорсткість, чи на балки чи стійки фахверку. Вздовж ліній коньку розміщуються балки, які характеризуються малою жорсткістю. Тому спирання таких оболонок по зовнішньому контуру наближено може розглядатися у двох варіантах: як на абсолютно жорсткі конструкції у своїй площині та ідеально гнучкі із площини. Обпирання оболонок-гіпарів уздовж конькових ліній розглядають як обпирання на пружні балки. Покриття в вигляді гіпарів з прямолінійними контурами є переважно пологими. Але на напружений стан таких оболонок суттєво впливають прогини конькових елементів (балок) та пов'язане із цим завдяки складчатості усього покриття «розповзання» оболонок у горизонтальному напрямленні. Тому для розрахунку систем із чотирьох оболонок-гіпарів точно враховуються кути θ_1 та θ_2 . Це кути θ_1 та θ_2 поєднання оболонок враховують переломи поверхні по лініям коньків як для вшпарушених оболонок.

В якості матеріалу для виготовлення оболонки приймають бетони класів С 16/20 і вище й дровову та стержневу арматуру. Для виконання армування поля оболонки застосовують дровову арматуру класу В400, діаметром від 4 до 6 мм, що вкладається із кроком 100, 150 або 200 мм. Арматурні стрижні розташовують як паралельно сторонам основи, так й

паралельно діагоналям основи (рис. 4.5). Для армування контурних елементів використовують стержневу арматуру класів А400 і вище.

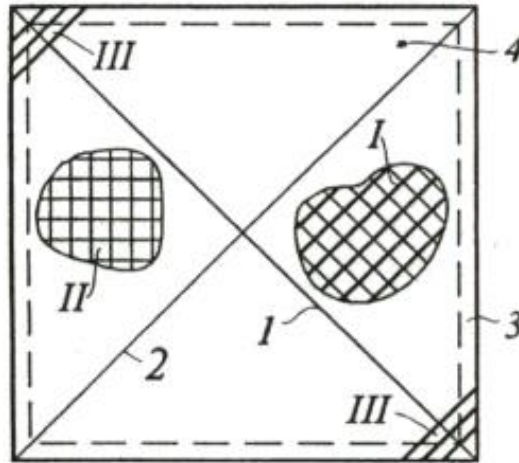


Рис. 4.5 Схеми армування гіпару:

- I – сітка зі стрижнями уздовж діагоналей; II – сітка зі стрижнями уздовж контурних елементів; III – додаткова арматура в кутових зонах;
- 1 – опукла головна параболола; 2 – увігнута головна параболола; 3 – бортовий елемент; 4 – власне оболонка

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНКОВА МОДЕЛЬ ГІПАРУ, ЩО ДОСЛІДЖУЄТЬСЯ

5.1 Модель поверхні

Оболонка, яка досліджується, належить до поверхонь, складених на квадратному плані скручених прямокутників. Вони являють собою конгруентні гіперболічні параболоїди (рис.4.4 е, 5.1,а,б). Оболонка являє собою конструкцію із горизонтальними розжолобками. Гіпар спирається на чотири колони, що локалізовано по центрам сторін квадратної основи.

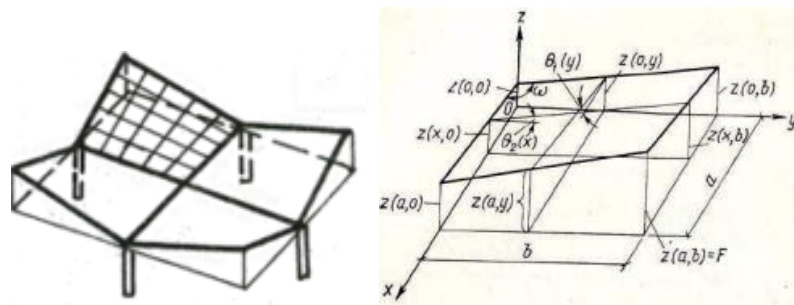
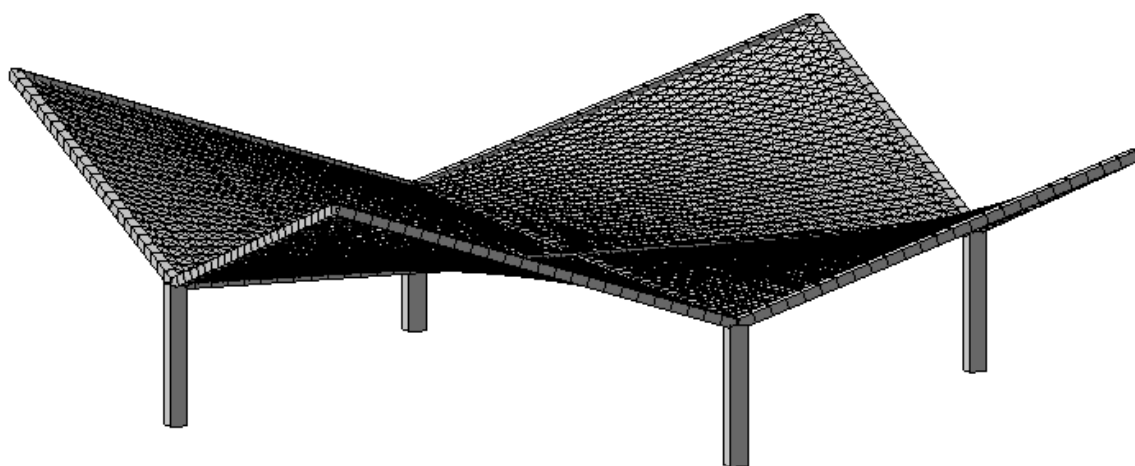
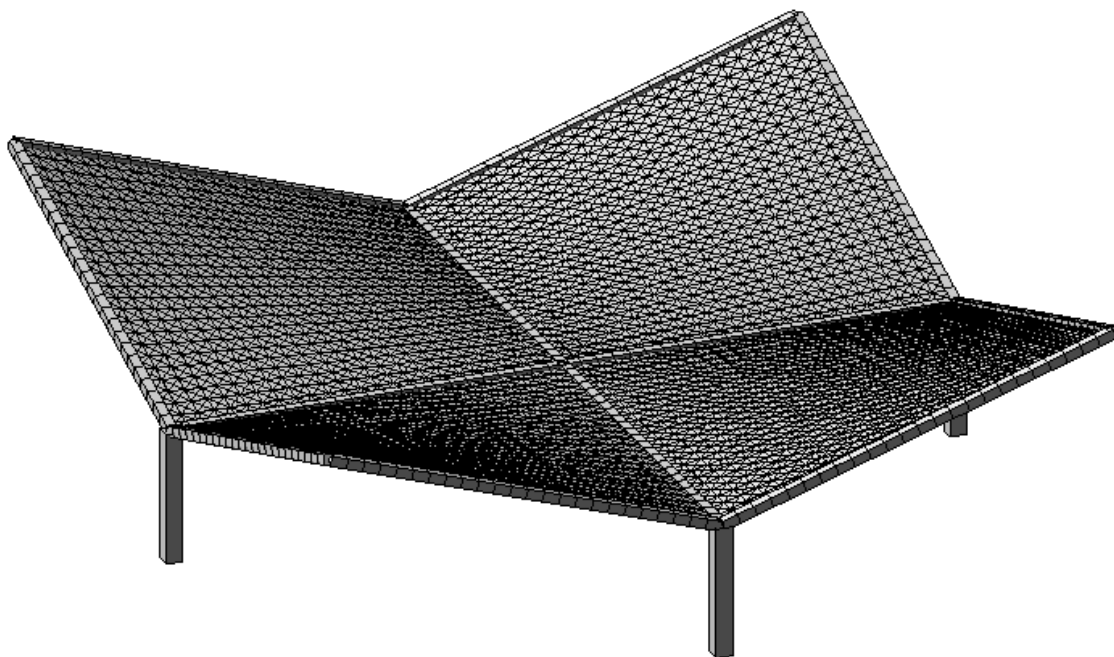


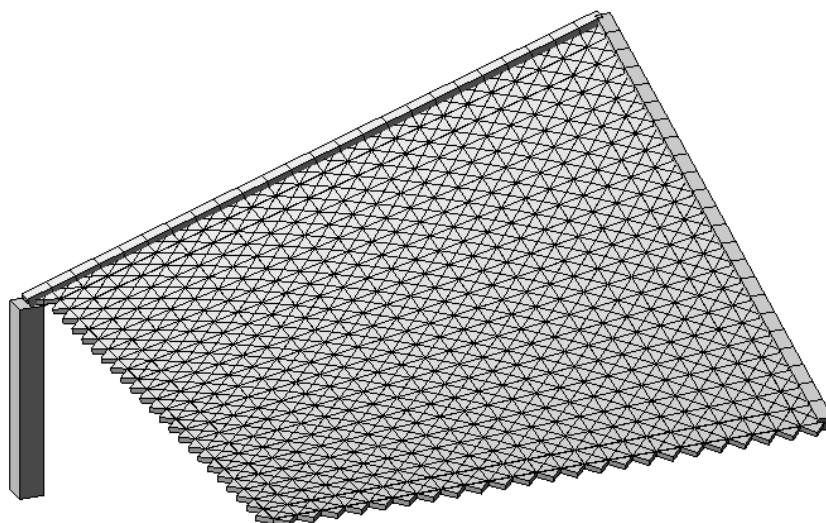
Рис.5.1 Модель, що досліджується—а, б; загальна схема поверхні гіпару—б

На рис. 5.2 наведено скінченоелементну схему та просторову модель оболонки.

a)



б)



в)

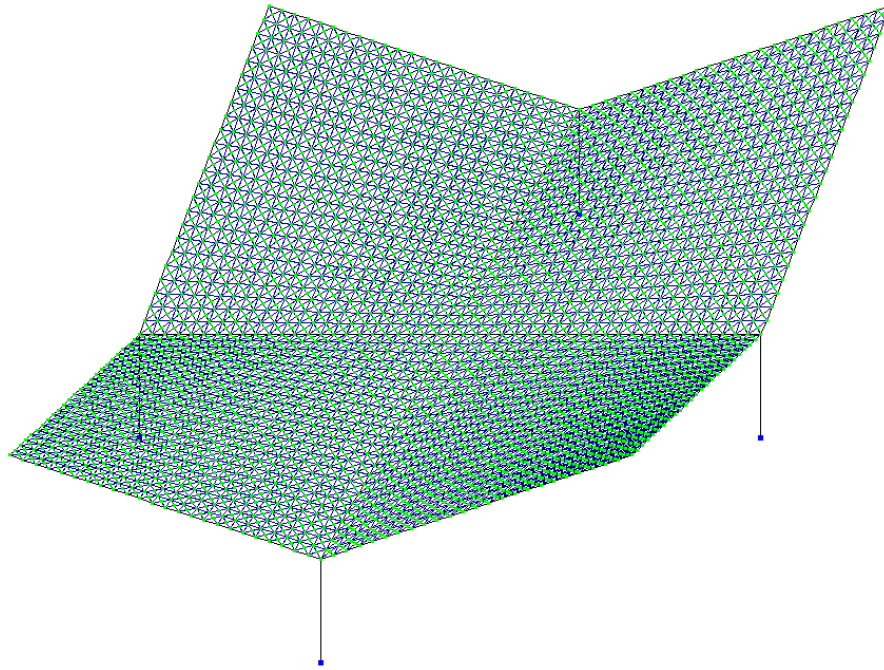


Рис.5.2 Просторова модель оболонки («гіпар-квітка») – а; $\frac{1}{4}$ фрагменту просторової моделі – б; скінченоелементна схема №1 – в

5.2. Конструктивне вирішення оболонки та граничні умови

Оболонка виготовлена із монолітного залізобетону. Поверхня характеризується від'ємною Гаусовою кривизною й розташована на прямокутному плані розмірами $2a = 24\text{м} \times 2b = 24\text{м}$. Конструкція оболонки має утеплену покрівлю. Граничні умови (спирання) прийнято на чотири колони, що розміщено в низхідних кутах. Конструкція зводиться в місті Суми, тому величину снігового характеристичного навантаження приймаємо як для міста Суми.

Моделювання оболонки спочатку виконаємо за допомогою інструментів програми «Сапфір». Статичний розрахунок скінченоелементної схеми здійснимо в середовищі ЛІР-ВІЗОР ПК Ліра-САПР.

Прийнято геометричні параметри оболонки $f = 24,0\text{ м} / 3 = 8,0\text{ м}$. Висота перетину розжолобків й бортових контурних балок:

$$h_{\text{роз.}} = 24,0\text{ м} / 80 = 0,3\text{ м} = 30\text{ см},$$

Ширину перерізу контурного елемента й розжолобків за конструктивними вимогами прийнято рівною $b_{\text{кон}} = 30 \text{ см}$. Товщину середньої частини оболонки обчислимо:

$$t = 24 \text{ м} / 500 = 0,048 \text{ м}; \text{ приймаємо } t = 5 \text{ см}.$$

Товщина оболонки в зоні стикування до бортового елемента на ширині 1,5 м плавно змінюється від 15 см до 7 см. Зазвичай для скінченоелеметної схеми: в зоні шириною 0,5 м від контурного елемента – 13 см, в зоні шириною від 0,5 м до 1,0 м – 10 см; в зоні шириною від 1,0÷1,5 м – 8,0 см.(див. рис. 5.3).

Форма серединної поверхні описується функційною залежністю (5.1) у вигляді:

$$z = 4 x y / (144) \quad (5.1)$$

Конструкція покриття оболонки спирається жорстко на колони в чотирьох точках (рис.5.3).

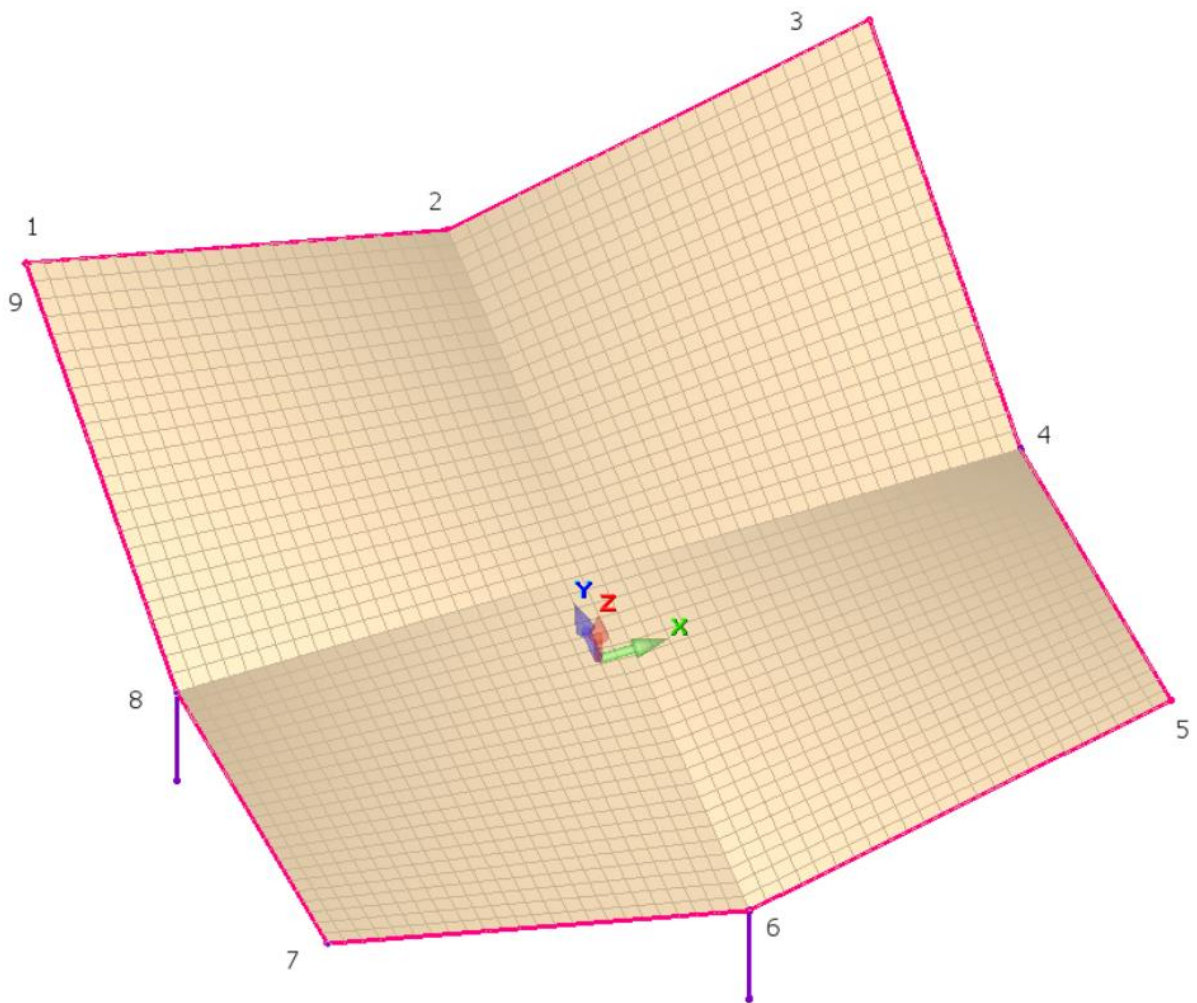


Рис.5.3 Моделювання поверхні в модулі «САПФІР»

5.3 Матеріал для оболонки

Матеріали, що прийнято до проектування, мають наступні характеристики: важкий бетон класу С 20/25 ($E_{cd}=23,0$ ГПа, $f_{cd}=14,5$ МПа= $1478,08$ т/м², $f_{ctd}=1,0$ МПа= $101,9$ т/м², $\gamma_{b2} = 0,9$).

Для власне тонкостінної оболонки (шкарлупи) приймаємо проволочну арматуру класу В400, $f_{yd}=410$ МПа, а для бортових елементів й колон прийнято арматуру класу А400, $f_{yd} = 365$ МПа.

5.4 Навантаження на оболонку

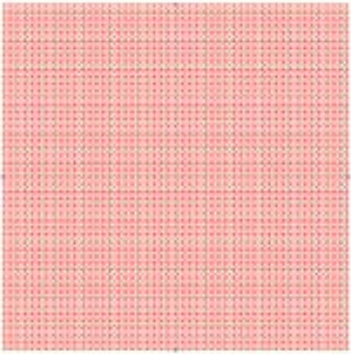
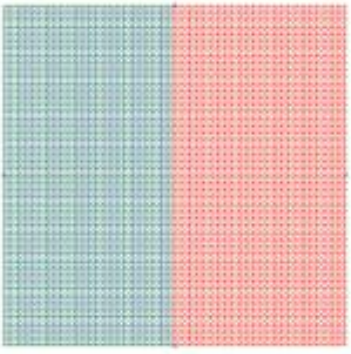
Навантаження прийнято згідно даних таблиці 5.1.

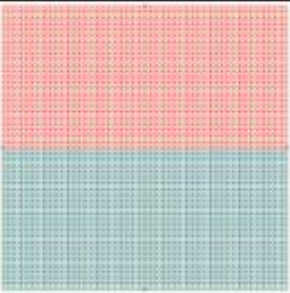
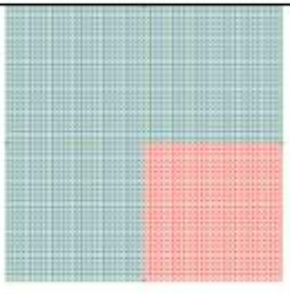
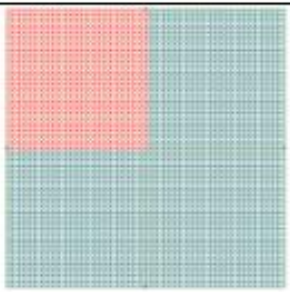
Таблиця 5.1 - Навантаження на 1 м² поверхні оболонки

№ з/п	Назва елементів конструкції	Характеристичне Значення навантаження, (Н/м ²)	Коефіцієнт надійності за навантаженням γ_f	Розрахункове Значення навантаження (Н/м ²)
I. Постійне навантаження				
1.	Покрівля з м'яких рулонних матеріалів	100	1,3	130
2.	Вирівнюючий шар із шпатлівки по армованій пластмасовій сітці $t=1,0$ см, $\rho = 2000$ Н/м ³	200	1,3	260
3.	Утеплювач із піноплексу $t=10,0$ см на клею $\rho = 800$ Н/м ³	80	1,3	104
4.	Пароізоляція	10	1,3	13
5.	Власна вага залізобетонної оболонки $t=5,0$ см, $\rho = 25000$ Н/м ³ , $g_{нор}=1250$ Н/м ² , $g_{вас}=1375$ Н/м ²	Враховується автоматично при роботі комплексу ЛІРА-САПР		
Всього постійне:		390		507
II. Тимчасове (снігове) навантаження				
6.	м. Суми	1638,3	1,14	1867,32

Дослідження напружено-деформованого стану оболонки, що стоїть окремо, будемо досліджувати в залежності від способу прикладення навантаження на оболонку. Серед можливих способів завантаження поверхні оболонки гіпару слід виділити завантаження на все поле оболонки, на половину її поля, на $\frac{1}{4}$ поля оболонки. Також можливі різна локалізація несиметричного завантаження. Розрахунковими сполученнями навантажень на тонкостінну оболонку [4] прийнято як вісім можливих сполучень навантажень, що наведено в таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 - Схеми прикладення навантаження на оболонку

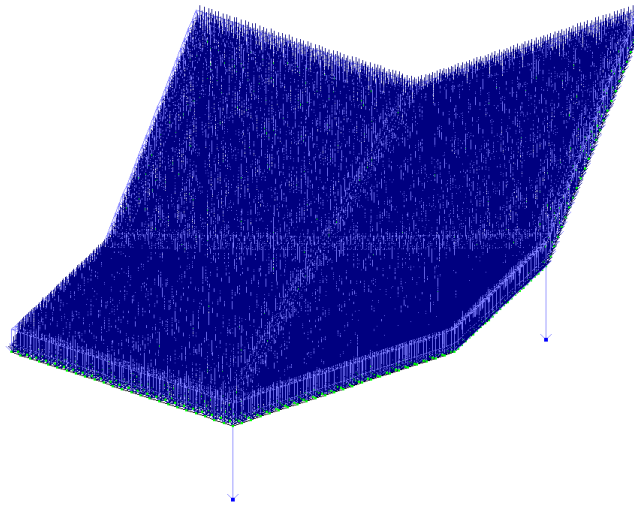
№ РСН	Навантаження, що діють (РСН)	Схема прикладення навантаження
1.	1.власна вага оболонки; 2.вага конструкції покрівлі 3.сніг на все поле оболонки	
2.	1.власна вага оболонки; 2.вага конструкції покрівлі 3.сніг на 1/2 поля оболонки	

3.	1.власна вага оболонки; 2.вага конструкції покрівлі 3.сніг на 1/2 поля оболонки	
4.	1.власна вага оболонки; 2.вага конструкції покрівлі 3.сніг на 1/4 поля оболонки	
5.	1.власна вага оболонки; 2.вага конструкції покрівлі 3.сніг на 1/4 поля оболонки	

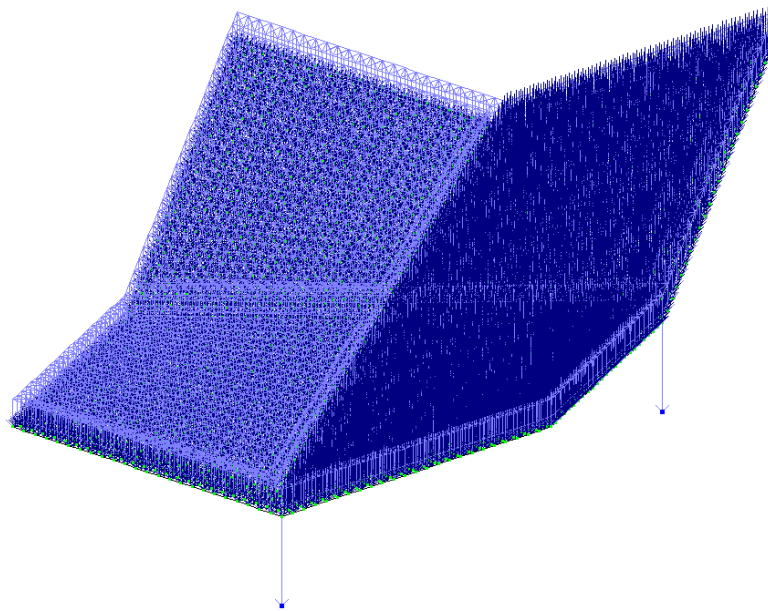
6.	1.власна вага оболонки; 2.вага конструкції покрівлі 3.сніг на 1/4 поля оболонки	
7.	1.власна вага оболонки; 2.вага конструкції покрівлі 3.сніг на 1/4 поля оболонки	
8.	1.власна вага оболонки; 2.вага конструкції покрівлі 3.сніг на 1/4 поля оболонки	

Схеми прикладення снігових навантажень на скінченоелементну схему покриття також наведені на рис.5.4.

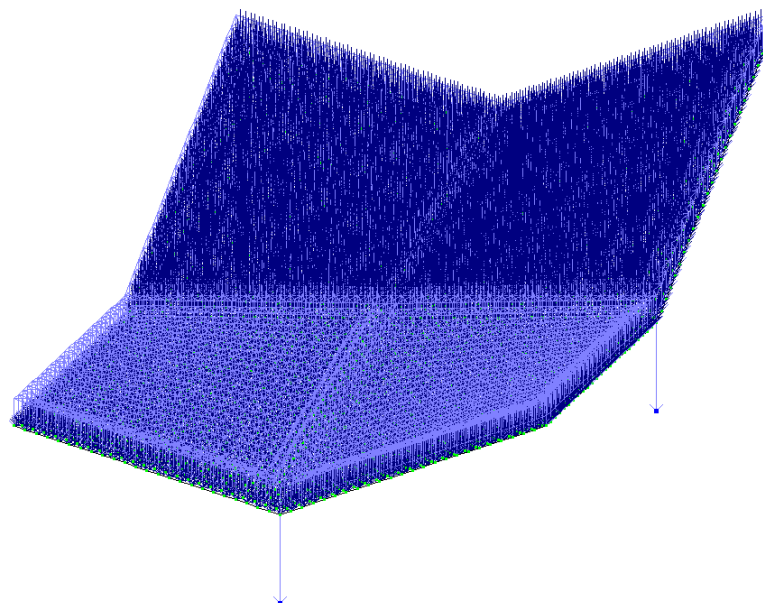
a)



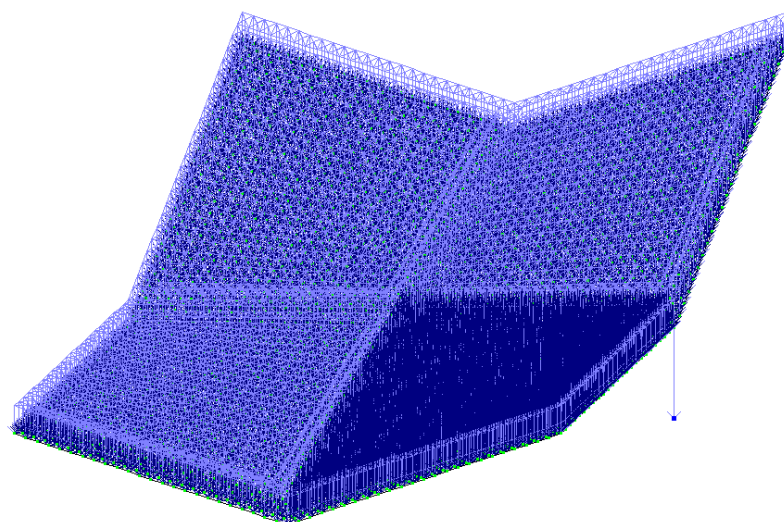
б)



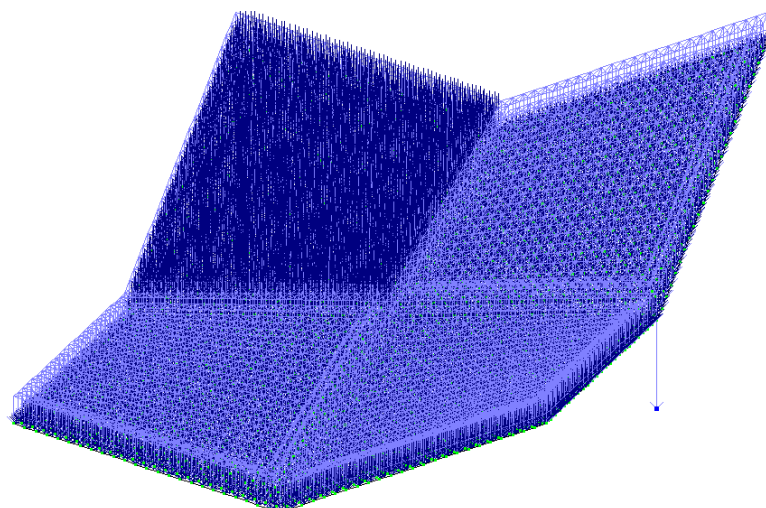
в)



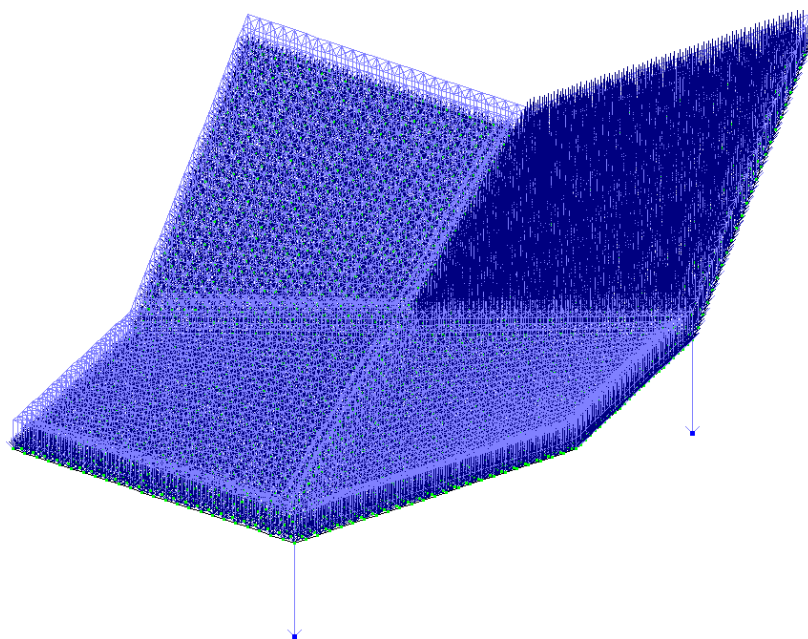
г)



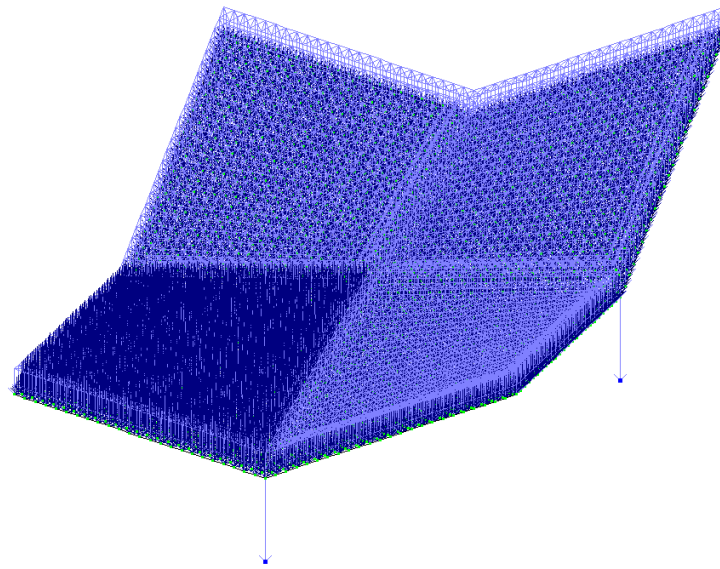
д)



е)



ж)



з)

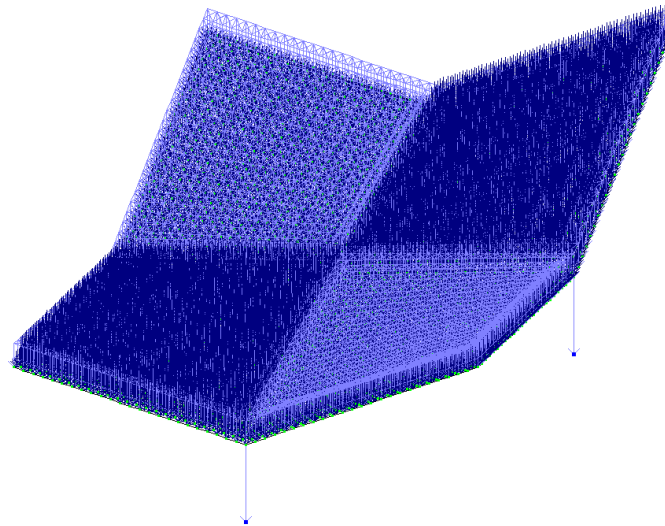


Рис. 5.4 Схеми прикладення снігових навантажень на модель оболонки: за схемою №1-а; за схемою №2-б; за схемою №3-в; за схемою №4-г; за схемою №5-д; за схемою №6-є; за схемою №7-ж; за схемою №8-з

5.5 Перевірка стійкості стиснутих зон оболонки

За напрямком розташування опуклих парабол (твірних парабол, що спрямовані гілками вниз) передбачається, що оболонка буде зазнавати стискаючих зусиль. Стиснуті зони перевіряють на стійкість. Перевіримо стійкість оболонки згідно формули (4.2). Обчислимо середній радіус кривизни головної опуклої параболі:

$$r = (\alpha^2 + b^2)^{0,5} = (12^2 + 12^2)^{0,5} = 16,97 \text{ м.}$$

Обчислимо стрілу підйому головної параболи, що є опуклою, базового конгруентного гіпару. Максимальна стріла підйому f_p розташована в точці із координатами $x = a/2, y = b/2$. За співвідношенням (4.3) знаходимо:

$$f_p = z(a/2, b/2) = f \cdot (a/2 \cdot b/2) / (a \cdot b) = f / 4 = 4 / 4 = 1 \text{ м.}$$

$$R_{av} = l^2 / (8f_p) + f_p / 2 = 16,97^2 / (8 \cdot 1) + 1/2 = 36,5 \text{ м,}$$

Обчислимо навантаження, яке є критичним:

$$q_{cr} = 0,05 E_b \cdot t^2 / (R_{av})^2 = 0,05 \cdot 30000 \cdot (100) \cdot 0,05^2 / (36,5)^2 = 0,281 \text{ т/м}^2 = 2810 \text{ Н/м}^2.$$

Повне розрахункове навантаження на оболонку-гіпар становить:

$$q_{av} = 507 + 1375 + 1867,32 = 37849,32 \text{ Н/м}^2.$$

$$q_{cr} = 2810 \text{ Н/м}^2 < 37849,32 \text{ Н/м}^2.$$

Висновок: стійкість оболонки з прийнятими параметрами жорсткості не забезпечена. Збільшимо товщину оболонки до $t = 7 \text{ см}$.

Здійснимо перерахунок повного розрахункового навантаження на оболонку з урахуванням збільшення власної ваги:

$$q_{av} = 507 + (0,07 \cdot 25000 \cdot 1,1) + 1867,32 = 4299,32 \text{ Н/м}^2$$

$$q_{cr} = 0,05 E_b \cdot \frac{t^2}{(R_{av})^2} = 0,05 \cdot 30000 \cdot 100 \cdot \frac{0,07^2}{(36,5)^2} = 0,5516 \frac{\text{т}}{\text{м}^2} =$$

$$= 5516 \text{ Н/м}^2$$

Висновок: стійкість оболонки із $t = 7 \text{ см}$ є достатньою.

Товщина «шкарлупи» у місці примикання до балочного бортового елемента на ширині 1,0 м плавно змінюється від 14 см до 7 см (для скінченоелементної схеми: в смузі 0,5 м від контурного елемента – 11 см, в смузі від 0,5 м до 1 м – 9 см), рис. 5.5.

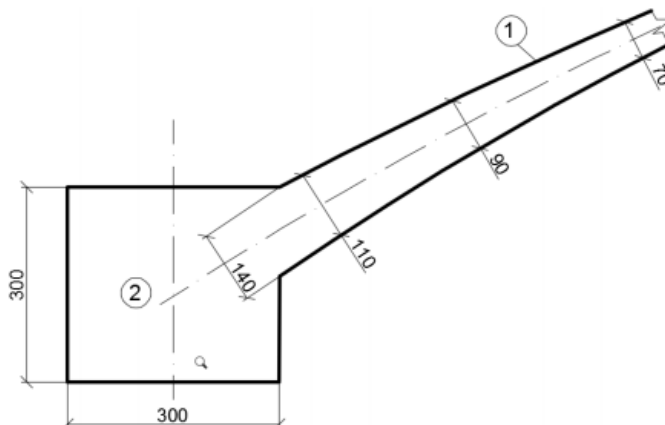


Рис. 5.5 Примикання оболонки до бортового елемента: 1 – оболонка;
2 – бортовий елемент

5.6 Жорсткісні характеристики елементів схеми

Всі основні конструктивні частини оболонки (середні ребра жорсткості, балка бортова контурна) мають параметри жорсткості, що наведено в таблиці 5.3. Товщина поля оболонки прийнято змінною. Вона змінюється плавно й її значення варіюється від 7,0 до 11,0 см. Характер розподілу товщини оболонки по її полю наведено на рис.5.6.

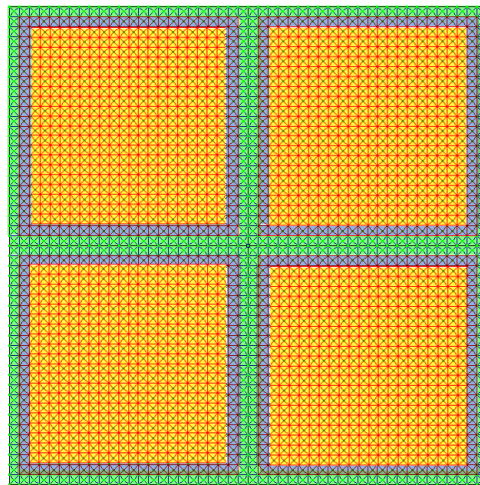



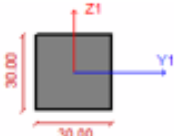
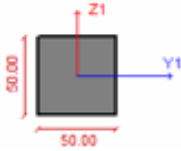
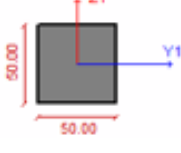


Рис. 5.6 Розподіл товщини оболонки:  – товщина поля 7 см;
 – товщина поля 9 см;  – товщина поля 11 см

Жорсткісні характеристики для скінченоелементних схеми за рис. 5.2. наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 Характеристики жорсткостей конструктивних елементів оболонки

Назва елемента	Поперечний переріз, см	E , т/м ²	R , т/м ³	μ
Тонкостінна оболонка змінної товщини	7,9,11	$3,06 \cdot 10^6$	2,5	0,2
Бортовий контурний елемент	30×30 	$3,06 \cdot 10^6$	2,5	0,2

Розжолобок	30×30 	$3,06 \cdot 10^6$	2,5	0,2
Колона	50×50 	$3,06 \cdot 10^6$	2,5	0,2

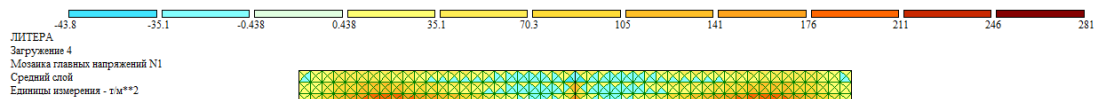
РОЗДІЛ 6

РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЛОВОГО ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОБОЛОНКИ

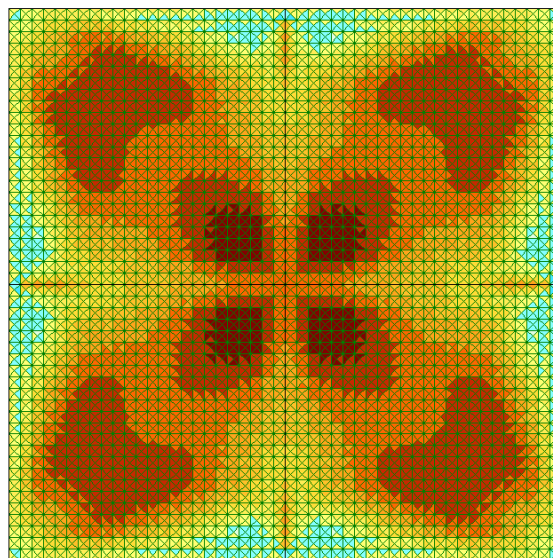
6.1 Головні напруження в тонкій оболонці-«шкарлупі»

Виявимо головні стискаючі напруження й напруження розтягнення від основного поєднання навантажень РСН₁: власна вага конструкції оболонки, вага покрівлі, сніг на все поле оболонки.

На рис. 6.1–6.2 наведено ізополя головних напружень N_1 та N_3 .

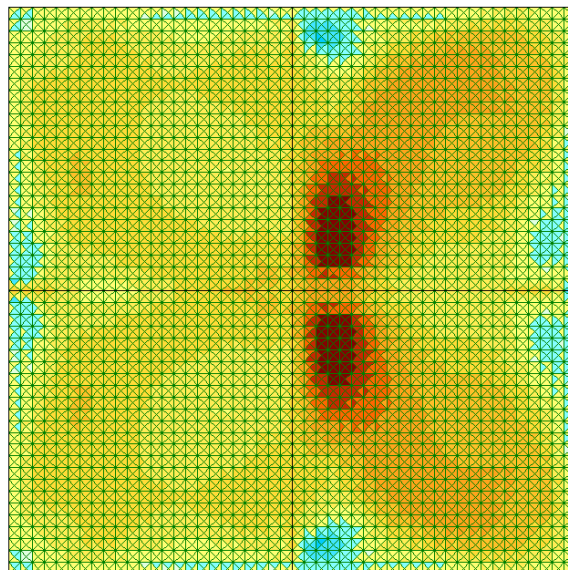


а)



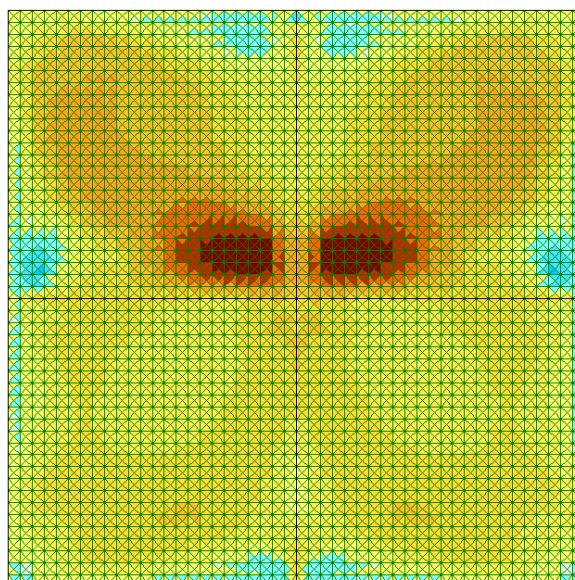
ИТЕРА
Заружение 5
Мозика главных напряжений N1
Средний слой
Единицы измерения - тл**2

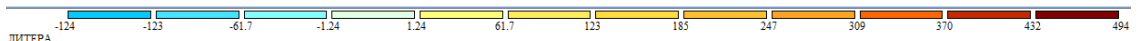
б)



ИТЕРА
Заружение 6
Мозика главных напряжений N1
Средний слой
Единицы измерения - тл**2

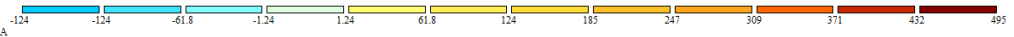
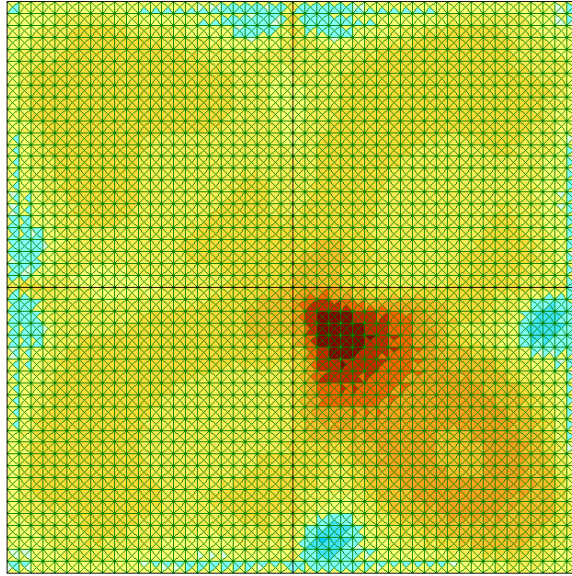
в)





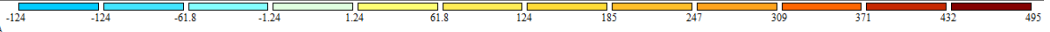
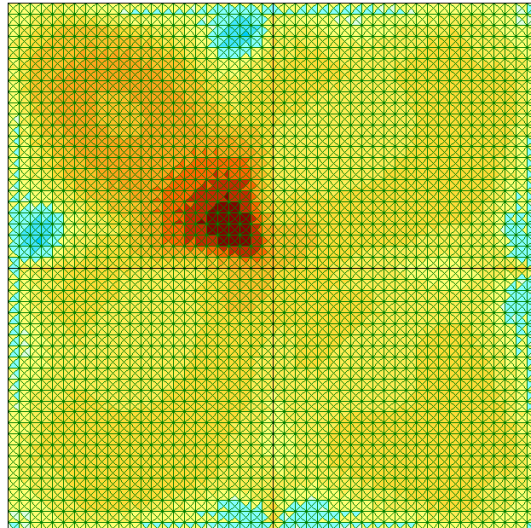
ЛИТЕРА
 Загрузка 7
 Мозаика главных напряжений N1
 Средний слой
 Единицы измерения - т/м**2

Г)



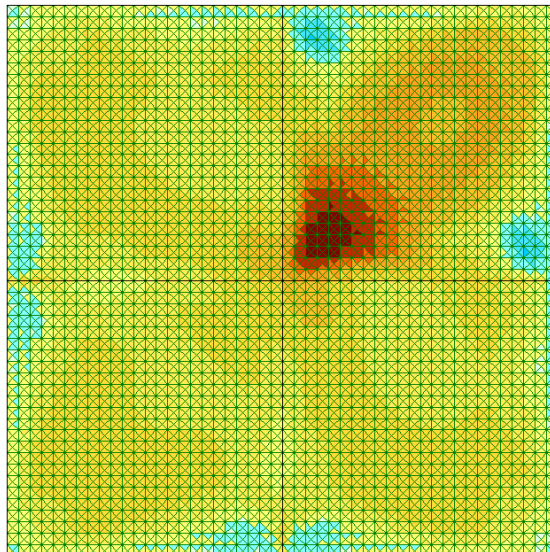
ЛИТЕРА
 Загрузка 8
 Мозаика главных напряжений N1
 Средний слой
 Единицы измерения - т/м**2

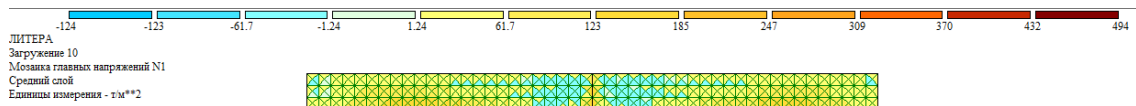
Д)



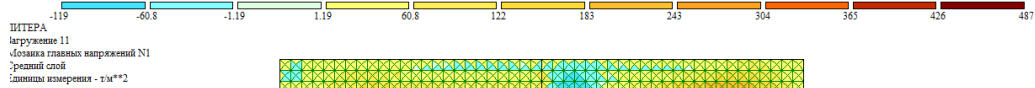
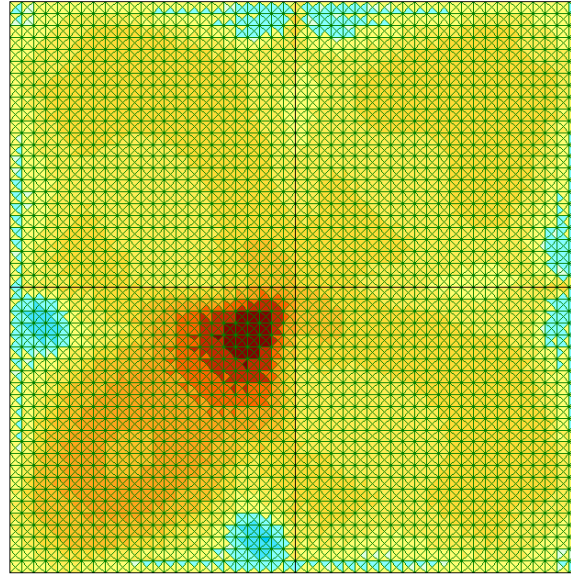
ЛИТЕРА
 Загрузка 9
 Мозаика главных напряжений N1
 Средний слой
 Единицы измерения - т/м**2

Е)





ж)



з)

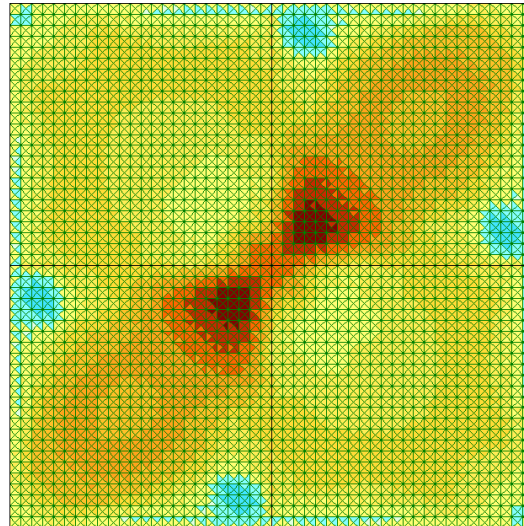
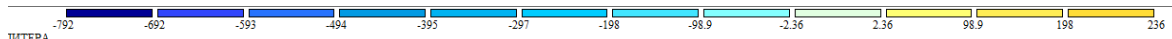
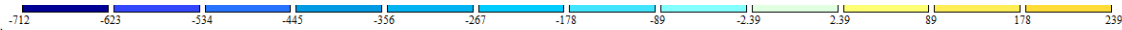
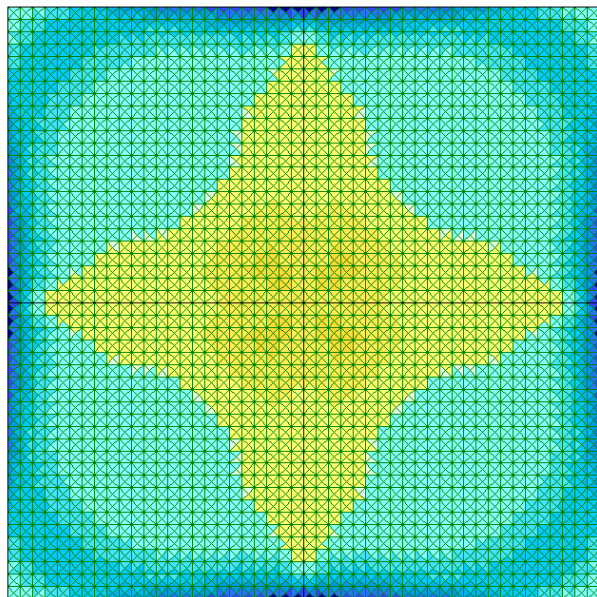


Рис.6.1 Изополя головних напружень N1: для схеми прикладення снігового навантаження №1 –а; для схеми прикладення снігового навантаження №2 – б; для схеми прикладення снігового навантаження №3–в; для схеми прикладення снігового навантаження №4 –г; для схеми прикладення снігового навантаження №5 –д; для схеми прикладення снігового навантаження №6 –е; для схеми прикладення снігового навантаження №7 – ж; для схеми прикладення снігового навантаження №8 –з



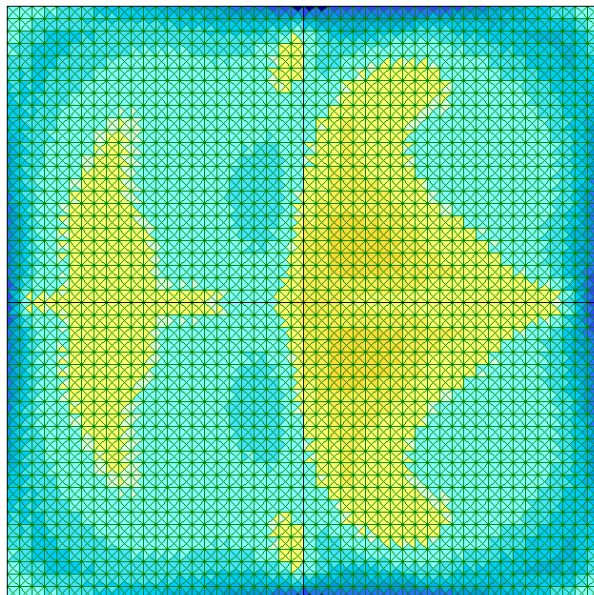
ПИТЕРА
Загрузка 4
Мозаика главных напряжений N3
Средний слой
Единицы измерения - т*м**2

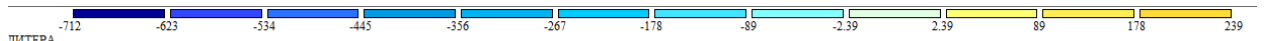
а)



ПИТЕРА
Загрузка 5
Мозаика главных напряжений N3
Средний слой
Единицы измерения - т*м**2

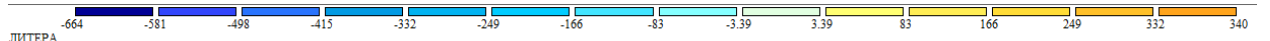
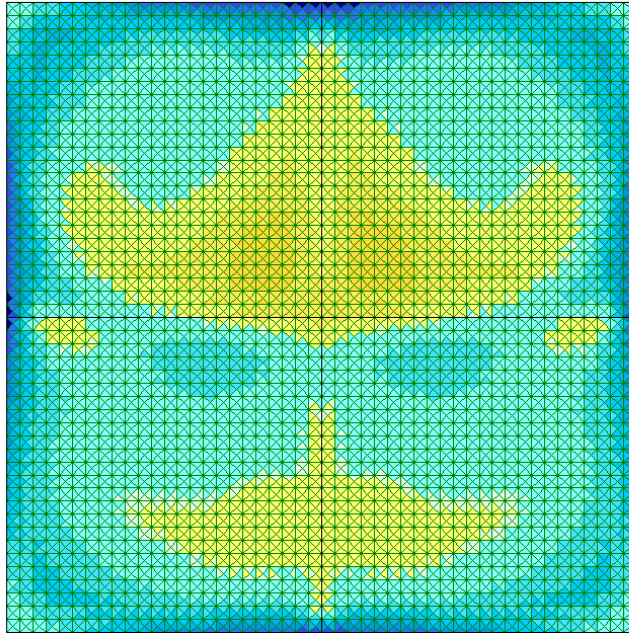
б)





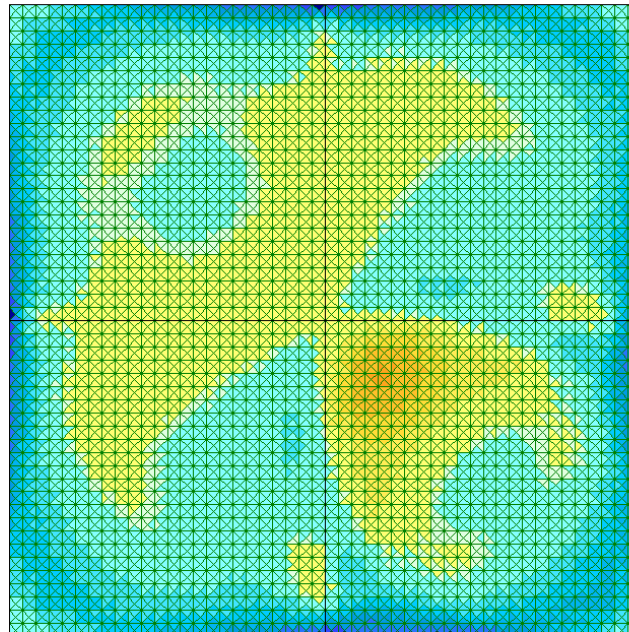
ЛИТЕРА
Загрузка 6
Мозаика главных напряжений N3
Средний слой
Единица измерения - тм**2

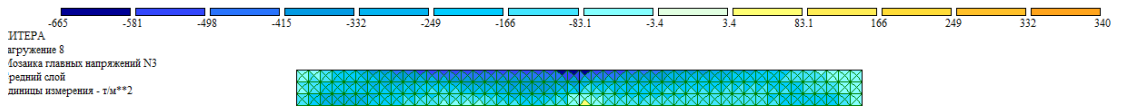
В)



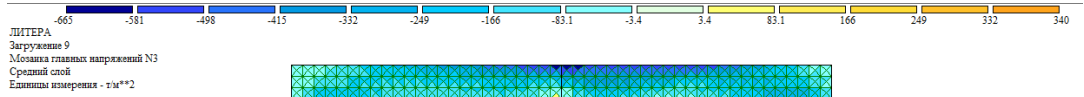
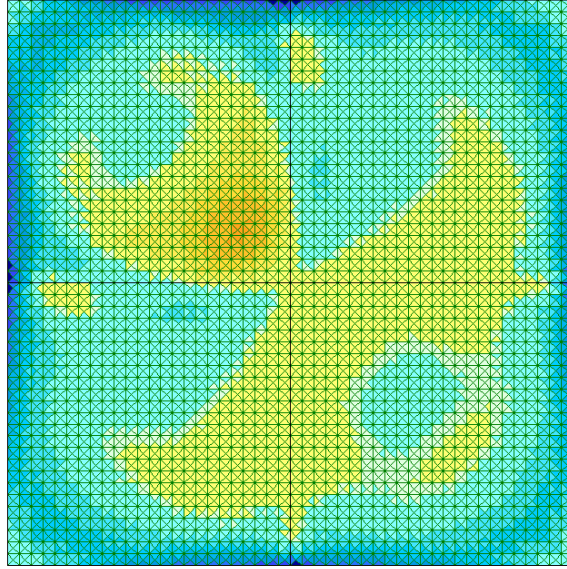
ЛИТЕРА
Загрузка 7
Мозаика главных напряжений N3
Средний слой
Единица измерения - тм**2

Г)

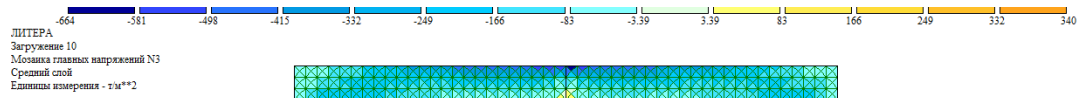
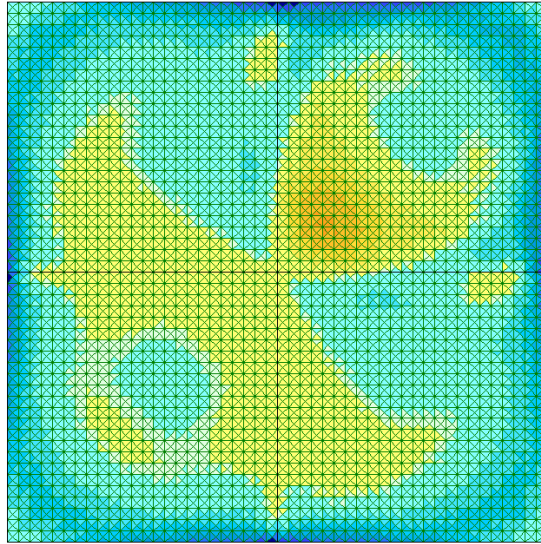




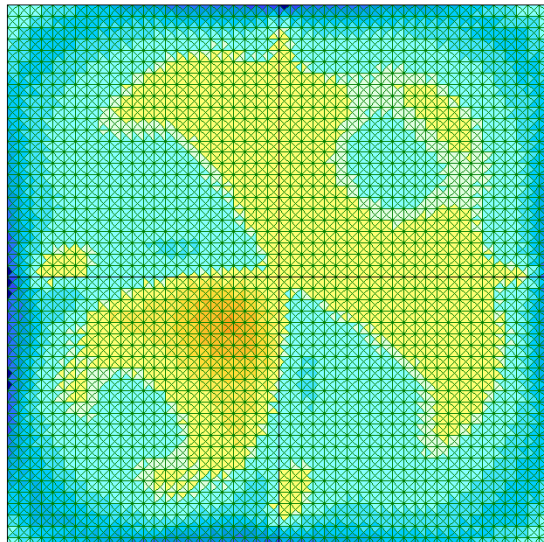
Д)



Е)



Ж)



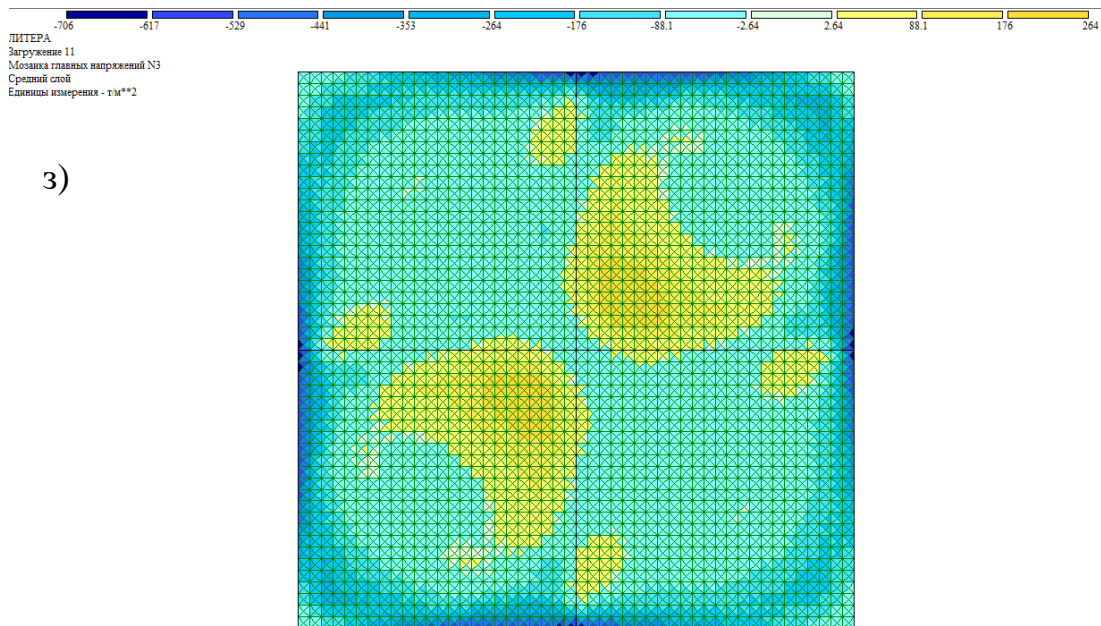


Рис.6.2 Ізополя головних напружень N3: для схеми прикладення снігового навантаження №1 –а; для схеми прикладення снігового навантаження №2 – б; для схеми прикладення снігового навантаження №3–в; для схеми прикладення снігового навантаження №4 –г; для схеми прикладення снігового навантаження №5 –д; для схеми прикладення снігового навантаження №6 –є; для схеми прикладення снігового навантаження №7 – ж; для схеми прикладення снігового навантаження №8–з

На рис.6.3 наведено абсолютні значення головних напружень розтягу та стиску, що виникають в тонкостінній оболонці від різних схем її завантаження сніговим навантаженням.

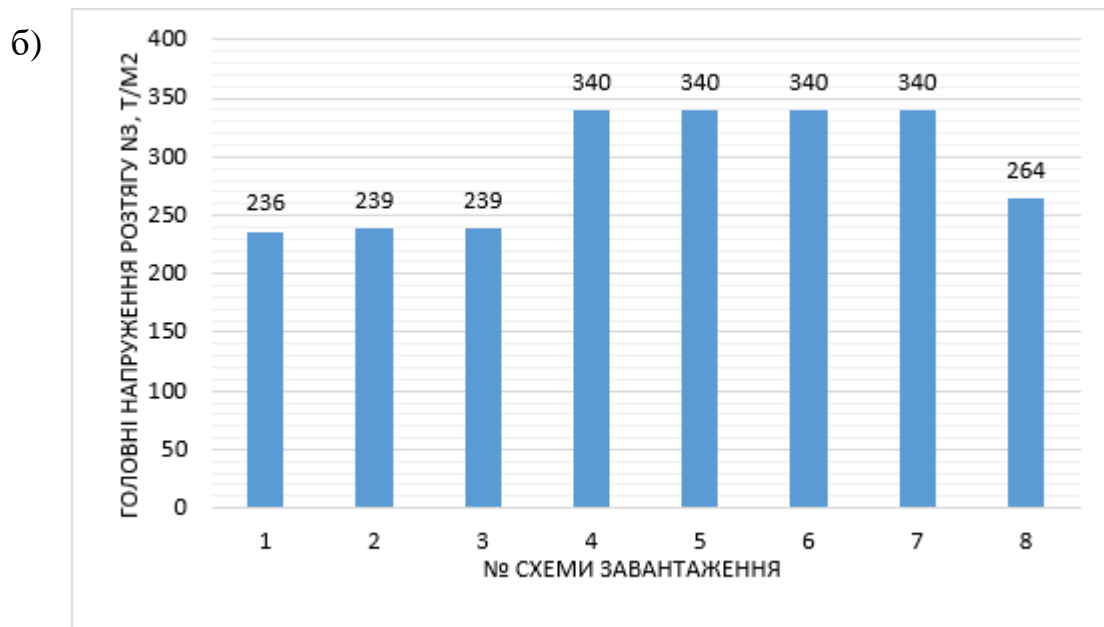
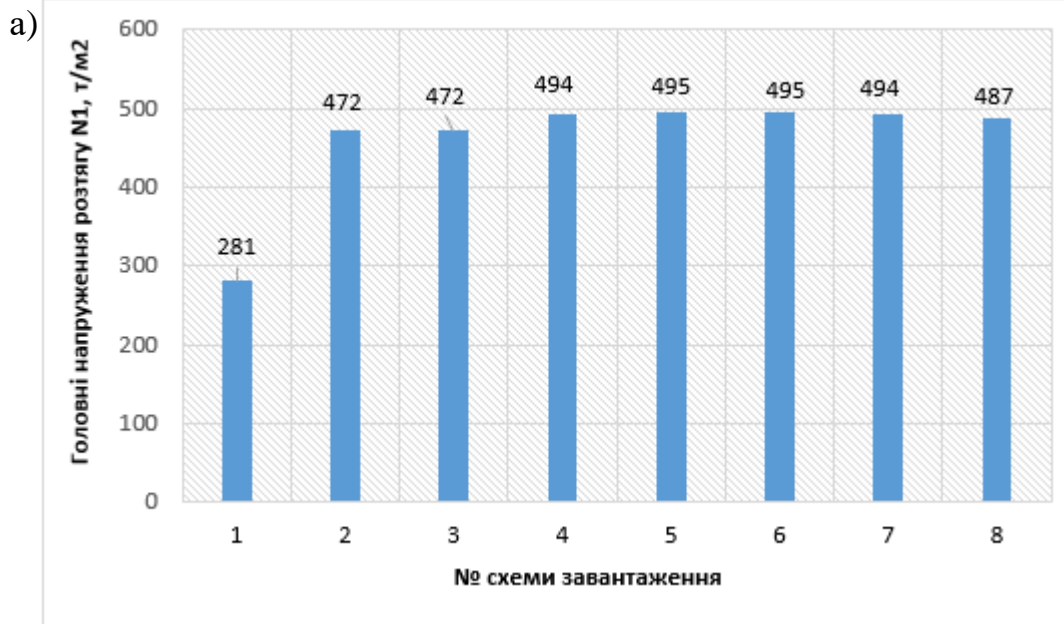


Рис.6.3 Максимальні головні напруження розтягу: N1–а; N3–б

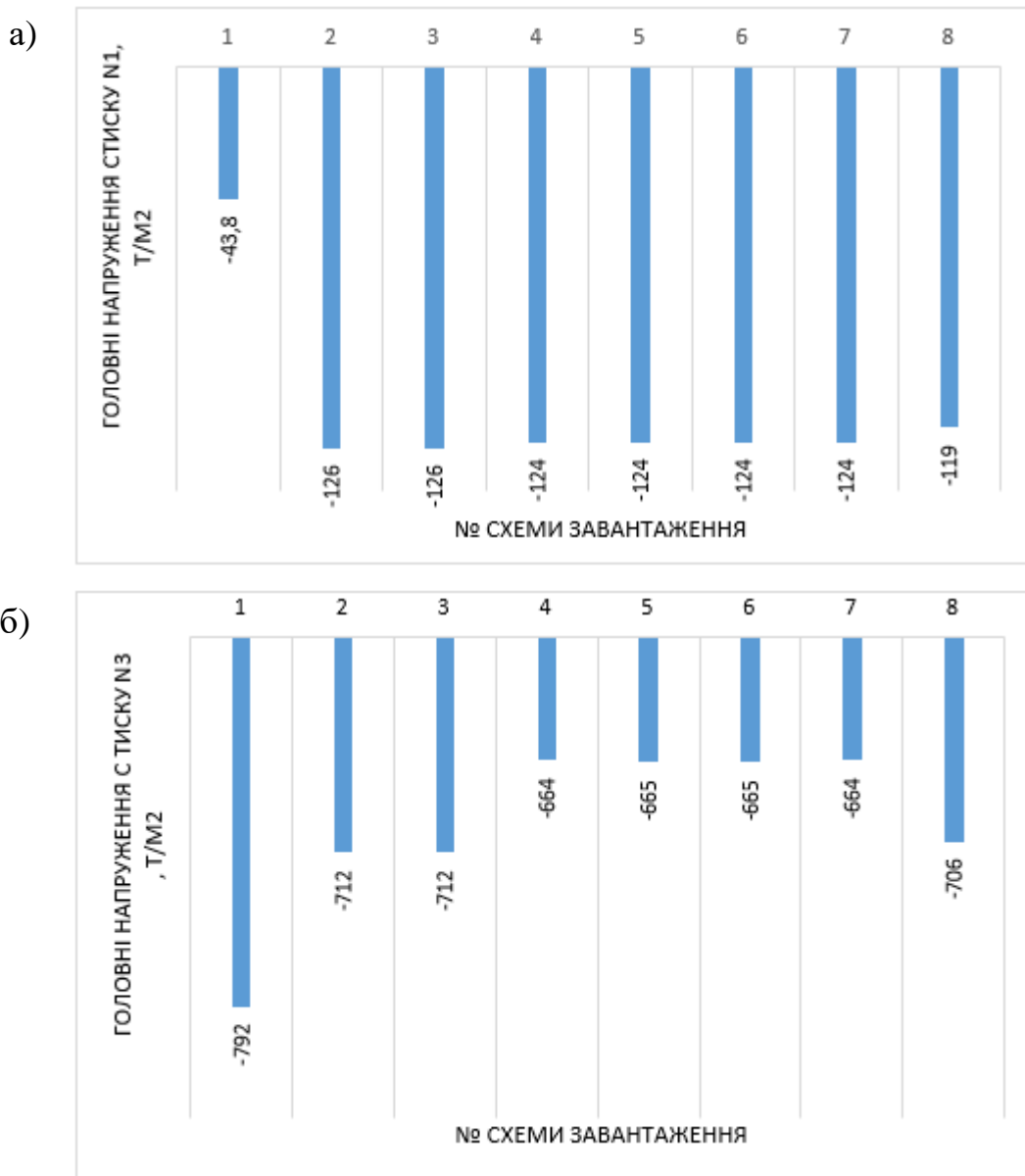


Рис. 6.4 Максимальні головні напруження стиску: N1–а; N3–б

Так, із рис.6.3, а видно, що головні напруження розтягу за напрямком дії напружень N_1 значним чином збільшуються в 1,67–1,75 рази у всіх несиметрично завантажених схемах. За напрямком дії головних напружень розтягу N_3 для схем завантажених на $\frac{1}{2}$ поля конструкції (схеми №№ 2,3) напруження розтягу майже дорівнюють напруженням розтягу, що виникають в симетрично завантажених схемі. Але для схем, завантажених на чверть поля оболонки, (схеми №№ 4,5,6) напруження розтягу збільшуються в 1,44 рази (рис.6.3, б).

Загалом, для всіх схем завантаження напруження розтягу перевищують опір бетону на розтяг: для симетрично завантаженої схеми – в $2,36 \div 2,81$ рази, а для несиметрично завантажених схем – в $3,4 \div 4,95$ рази.

Так, за максимальним напруженнями розтягу та за мозаїкою їх розташування була підібрана площа робочої арматури (рис.6.5–6.6).

Напруження стиску, як за напрямком дії напружень N_1 , так і напружень N_3 , не перевищують розрахунковий опір бетону на стиск $f_{cd}=14,5 \text{ МПа}=1478,08 \text{ Т/М}^2$

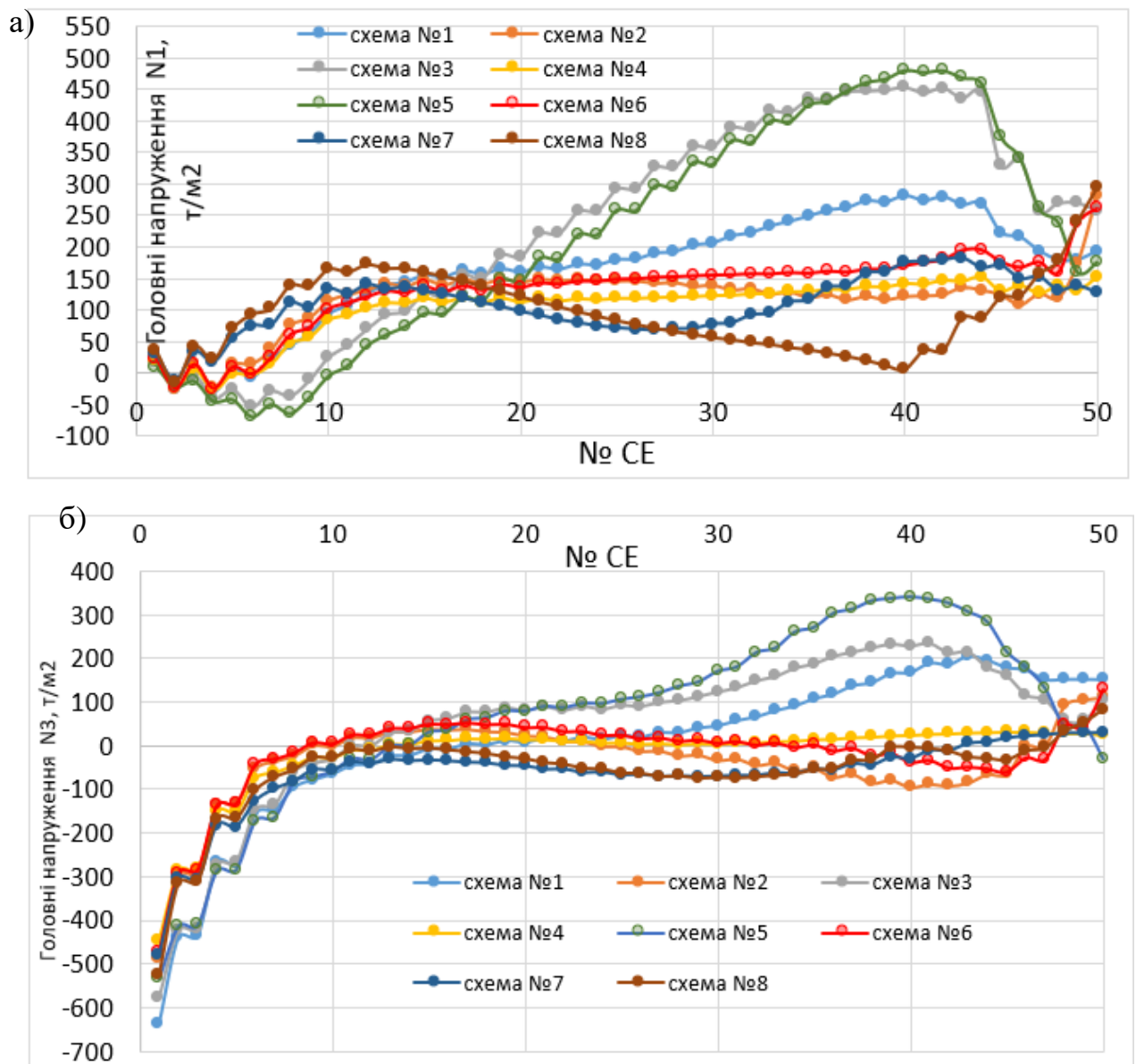


Рис.6.5 Головні напруження в перерізі 1-1 на довжині $l/2$: напруження N_1 –а; напруження N_3 –б

Таблиця 6.1 - Різниця між головними напруженнями стиску в симетрично завантаженій схемі та несиметрично завантаженими схемами

Напруженн головне, т/м ²	№1	№2	Різниця, %	№1	№3	Різниця, %
N1	-43,8	-126	187,7	-43,8	-126	187,7
N3	-792	-712	11,23	-792	-712	11,23

Продовження табл.6.1

Напруженн головне, т/м ²	№1	№4	Різниця, %	№1	№5	Різниця, %
N1	-43,8	-124	183,1	-43,8	-124	183,1
N3	-792	-664	19,3	-792	-665	19,1

Продовження табл. 6.1

Напруження головне, т/м ²	№1	№6	Різниця, %	№1	№7	Різниця, %	№1	№8	Різниця, %
N1	-43,8	-124	183,1	-	-124	183,1	-43,8	-119	171,7
N3	-792	-665	19,1	-792	-664	19,3	-792	-706	12,2

Таблиця 6.2 - Різниця між головними напруженнями розтягу в симетрично завантаженій схемі та несиметрично завантаженими схемами

Напруження головне, т/м ²	№1	№2	Різниця, %	№1	№3	Різниця, %
N1	281	472	68	281	472	67,8
N3	236	239	1,3	236	239	1,3

Продовження табл. 4.2

Напруження головне, т/м ²	№1	№4	Різниця, %	№1	№5	Різниця, %
N1	281	494	75,8	281	495	76,15
N3	236	340	44,07	236	340	44,06

Продовження табл. 6.2

Напруження головне, т/м ²	№1	№6	Різниця, %	№1	№7	Різниця, %	№1	№8	Різниця, %
N1	281	495	76,15	281	494	75,8	281	487	73,3
N3	236	340	44,07	236	340	44,06	236	264	11,86

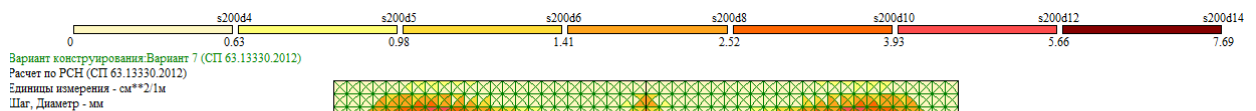
Із табл. 6.1 та 6.2 видно, що при несиметричному прикладенні навантаження на поле оболонки головні напруження стиску N_1 збільшуються для усіх схем на 183 %, а за напрямком дії головних напружень стиску N_3 –

на величини від 11,3% до 19,3%. Напруження розтягу в несиметрично завантажених схемах збільшуються в порівнянні із завантаженням на все поле оболонки за напрямком дії головних напружень розтягу N_1 на 76,2%, а головні напруження розтягу N_3 на 44%.

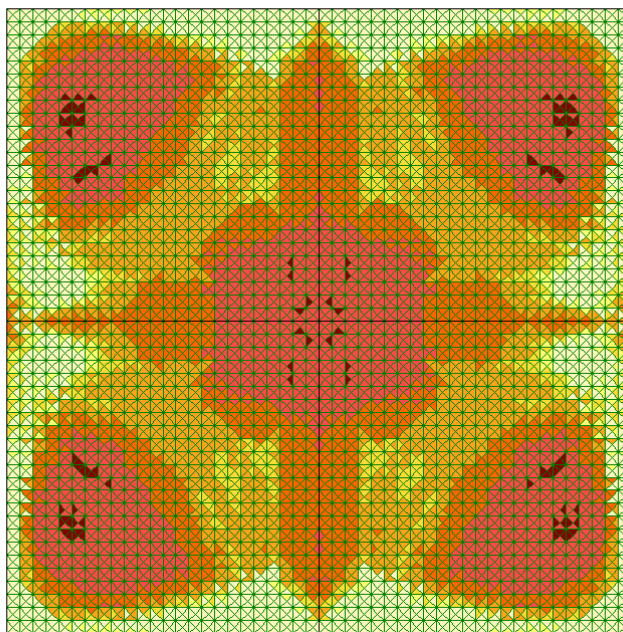
Таким чином, можна констатувати, що несиметричне завантаження гіперболічної оболонки за будь-якою схемою призводить до суттєвого збільшення напружень як розтягу, так і стиску.

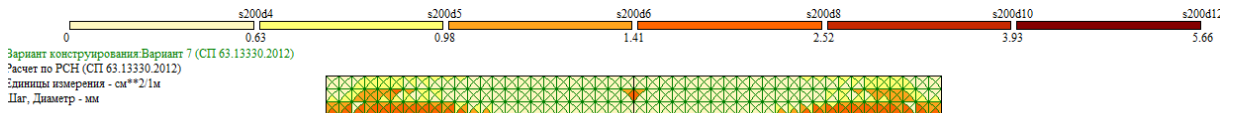
6.2 Армування оболонки

За величинами головних напружень розтягу за нормами [1] з використанням модуля «Залізобетон» в ПК Ліра-САПР 2024 була підібрана робоча арматура для армування поля оболонки для найбільш несприятливих схем її завантаження (рис. 6.6–6.7).



а)





б)

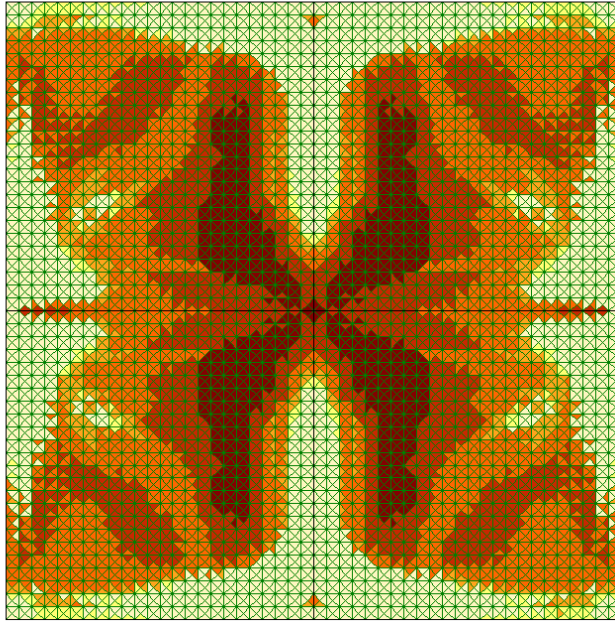
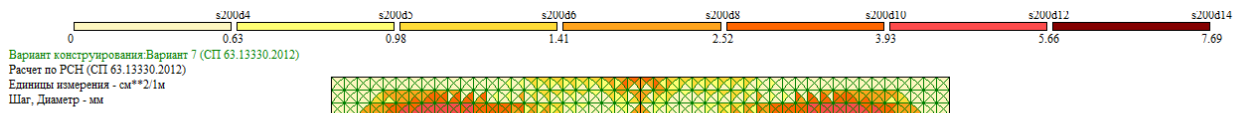
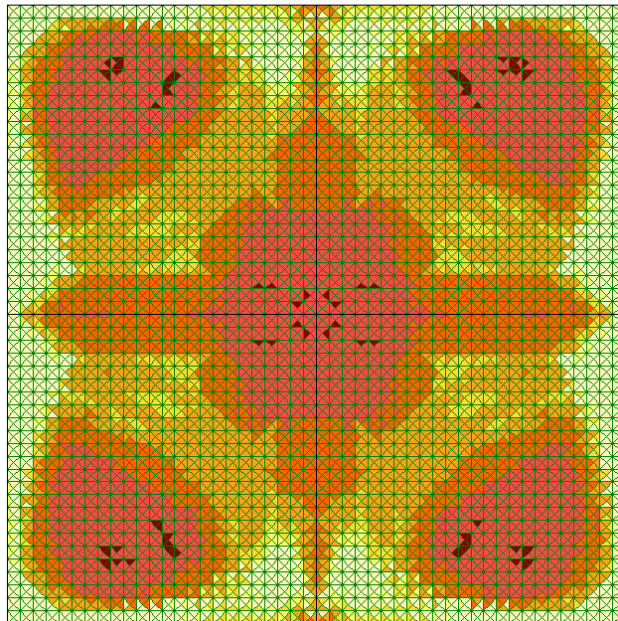


Рис.6.6 Площа верхньої (а) та нижньої (б) арматури на 1 м.п. з урахуванням тріщиностійкості за напрямком осі X



а)



Вариант конструирования: Вариант 7 (СП 63.13330.2012)
Расчет по РСН (СП 63.13330.2012)
Единицы измерения - см**2/м
Шаг, Диаметр - мм

б)

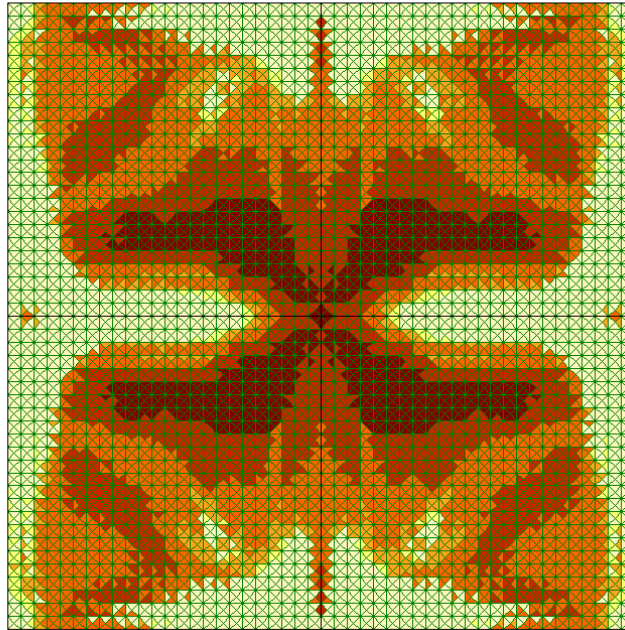


Рис.6.7 Площа верхньої (а) та нижньої (б) арматури на 1 м.п. з урахуванням тріщиностійкості за напрямком осі Y

6.3 Деформативність оболонки

На рис. 6.8–6.10 наведено вихідну та деформовану схему оболонки при різних способах прикладення снігового навантаження на поле оболонки.

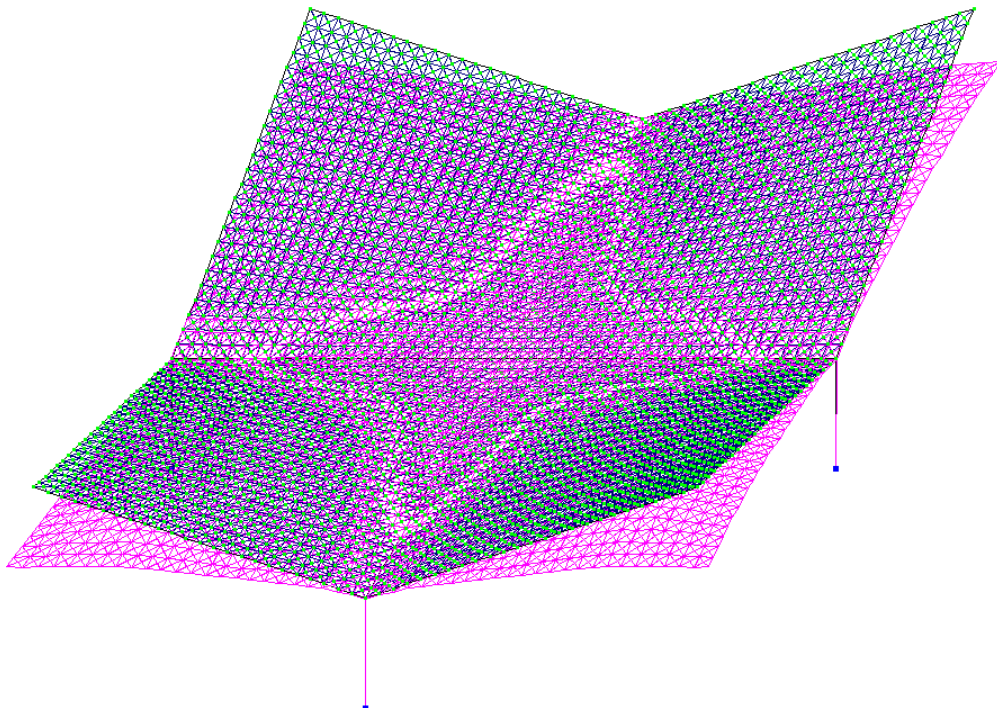


Рис. 6.8 Вихідна та деформована схеми оболонки від завантаження за схемою №1

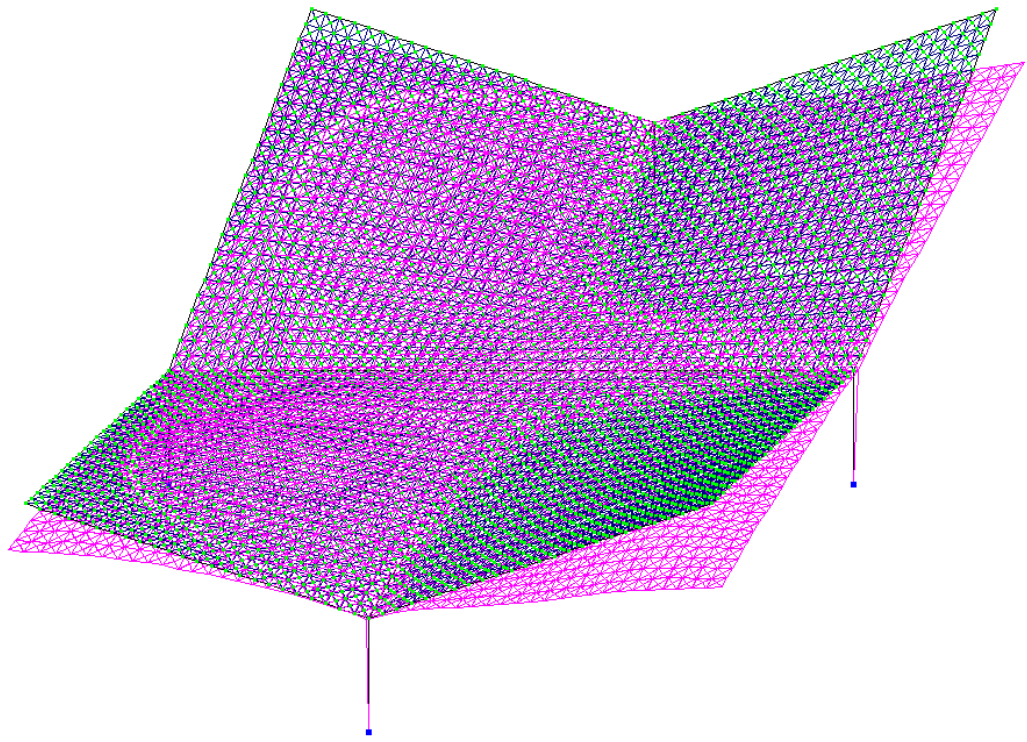


Рис. 6.9 Вихідна та деформована схеми оболонки від завантаження за схемою №2

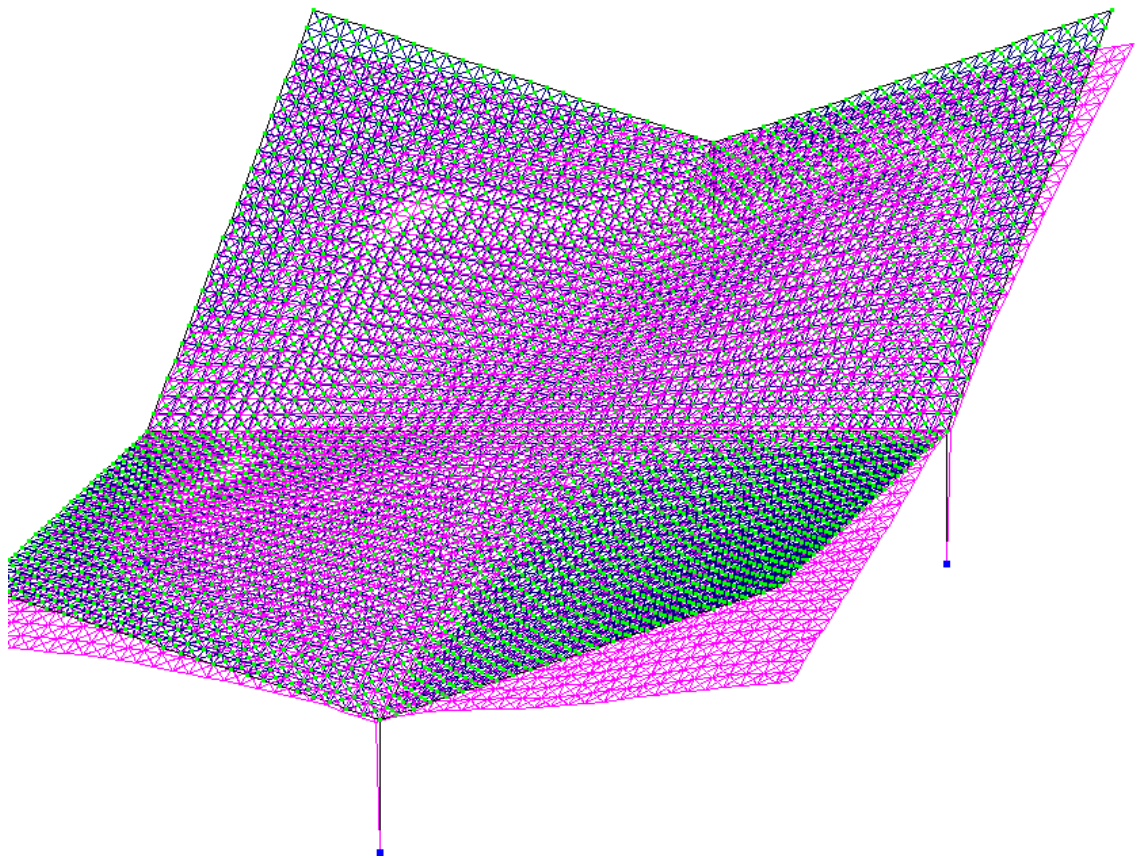
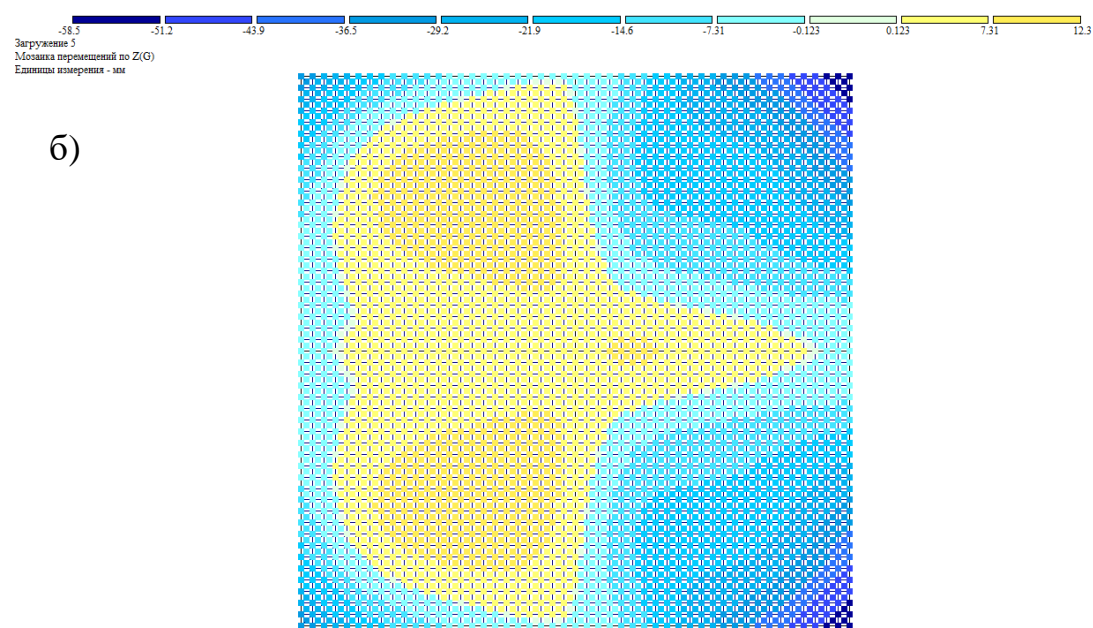
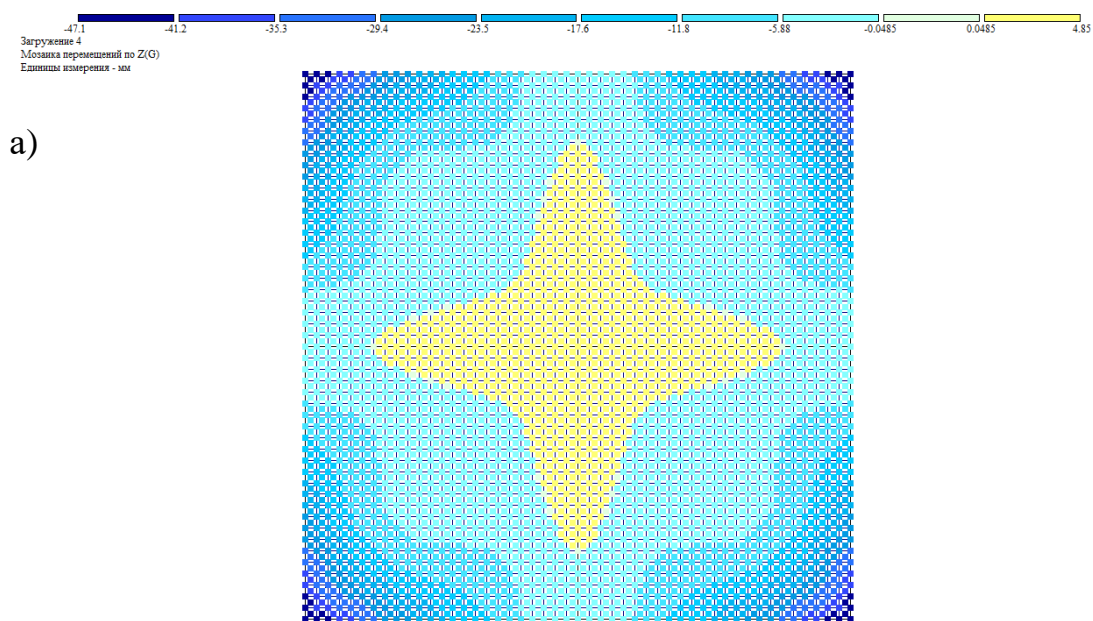


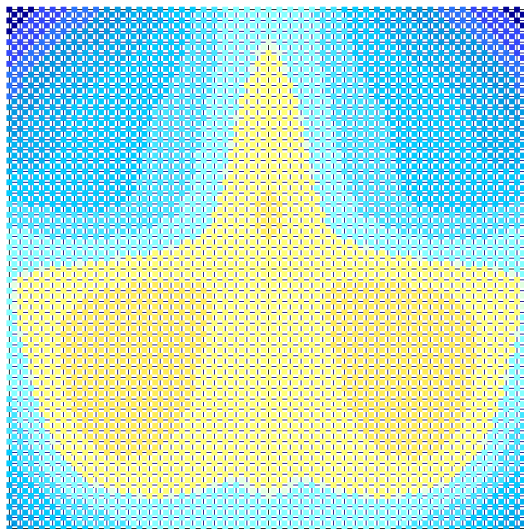
Рис.6.10 Вихідна та деформована схеми оболонки від завантаження за схемою №4

На рис. 6.11 наведено мозаїку переміщень вузлів розрахункової схеми
вздовж осі Z.

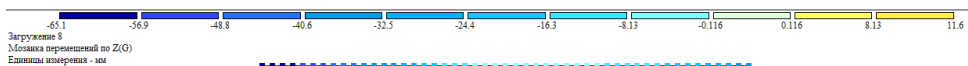
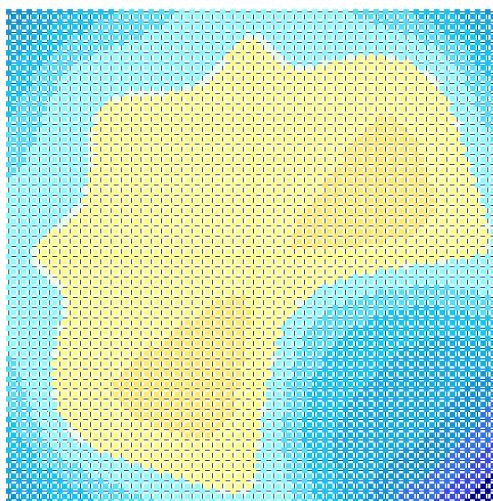




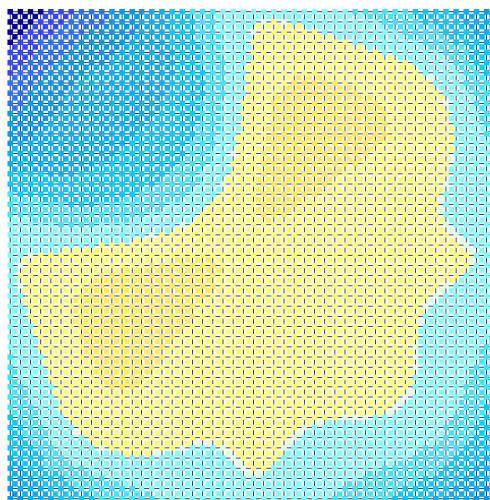
В)



Г)



Д)



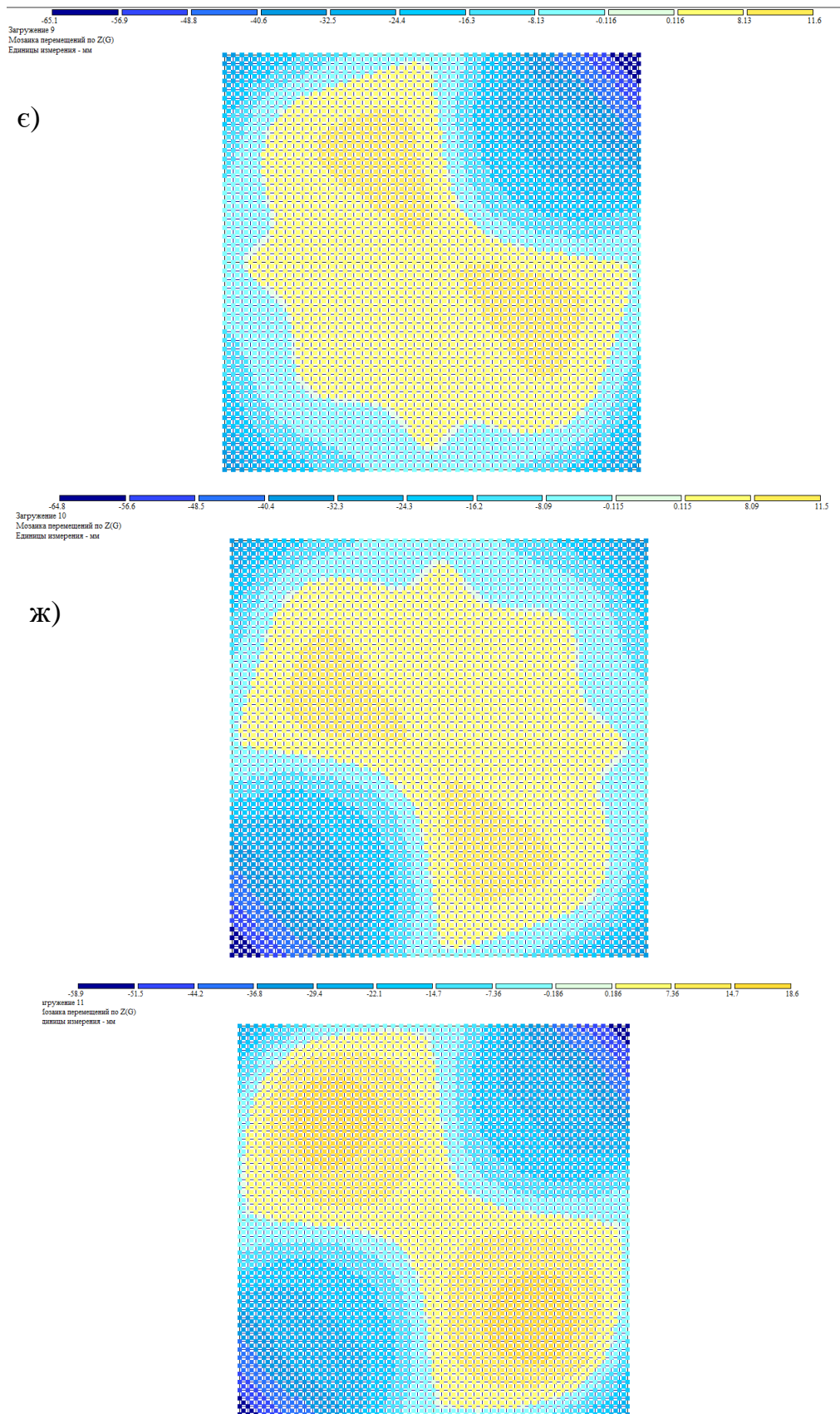
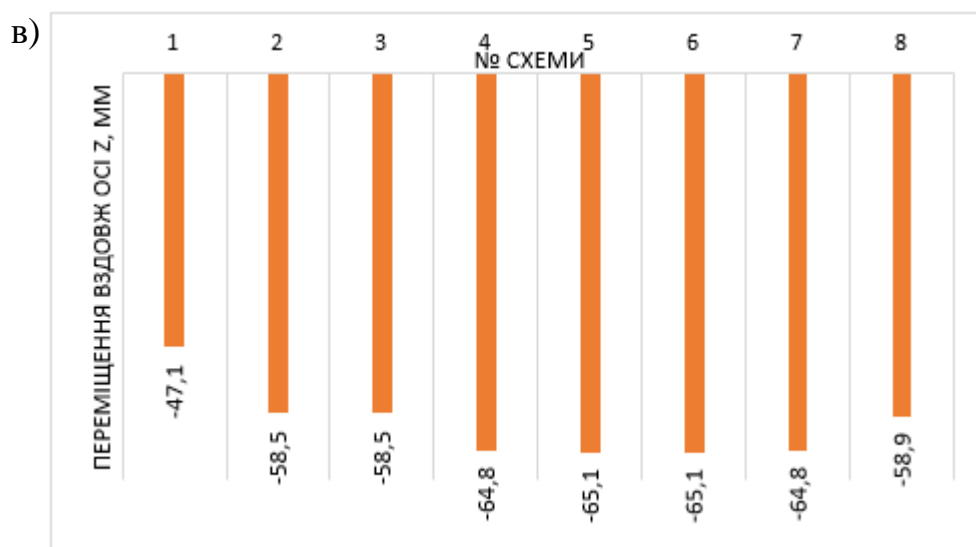
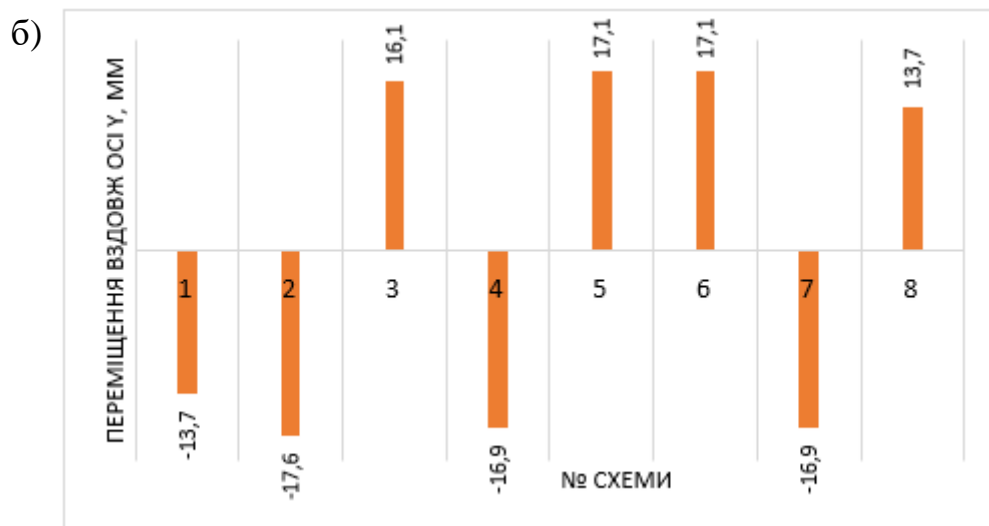
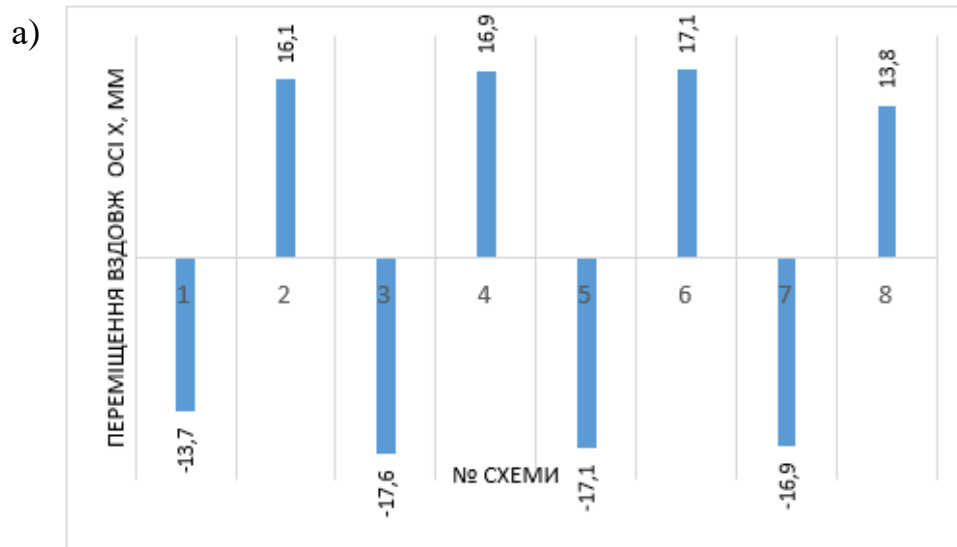


Рис.6.11 Мозаїка переміщень вузлів гіперболічної оболонки здовж осі Z: для схеми №1 – а; для схеми №2 – б; для схеми №3-в; для схеми №4 – г; для схеми №5 – д; для схеми №6 – е; для схеми №7 – ж; для схеми №8 – з

Максимальні переміщення вузлів схеми уздовж осей глобальної системи координат наведено на рис.6.12.



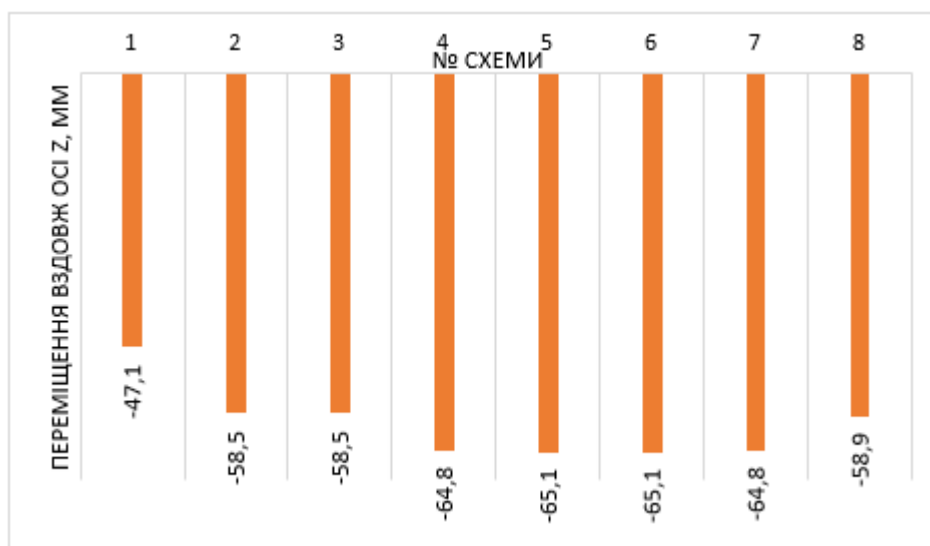


Рис.6.12 Максимальні переміщення вузлів схеми вздовж осі X – a ; вздовж осі Y – b ; вздовж осі Z – c

Різниця між максимальними переміщеннями вздовж осі Z становить 38,21 %. Значення максимальних переміщень для всіх схем не перевищують максимально допустимого переміщення точок оболонки по вертикалі. Різниця між максимальними переміщеннями по осі X та Y становить 28,5 %.

На рис.6.13 наведено графіки переміщень вузлів в перерізі 1–1 (рис.6.14) вздовж осей глобальної системи координат.

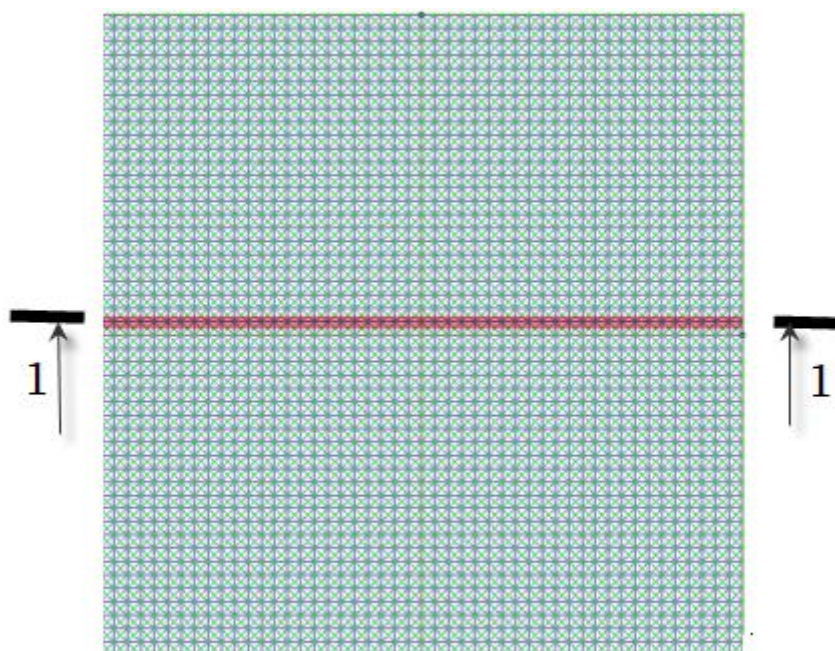


Рис.6.13 Переріз 1–1, в якому визначаються напруження та переміщення в оболонці

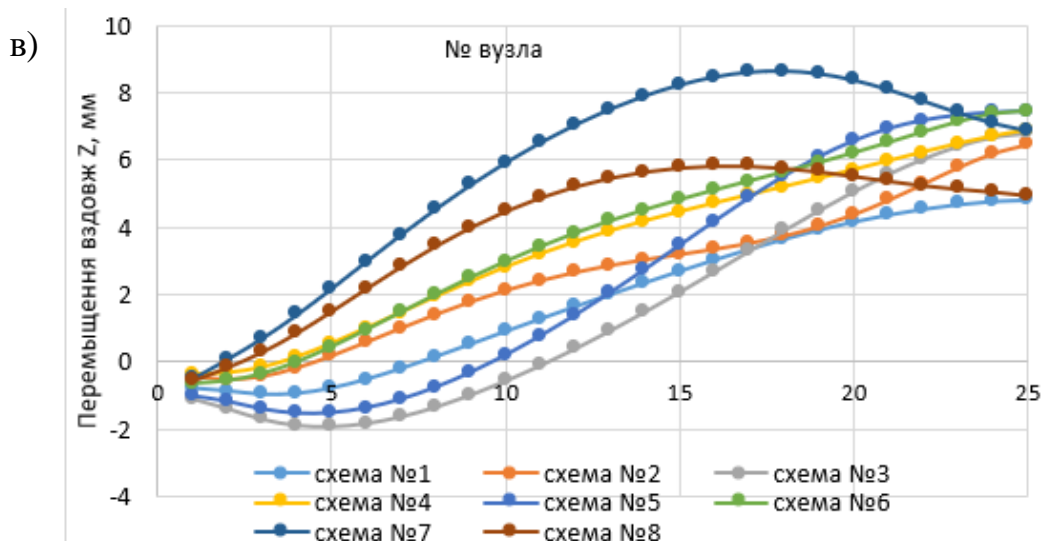
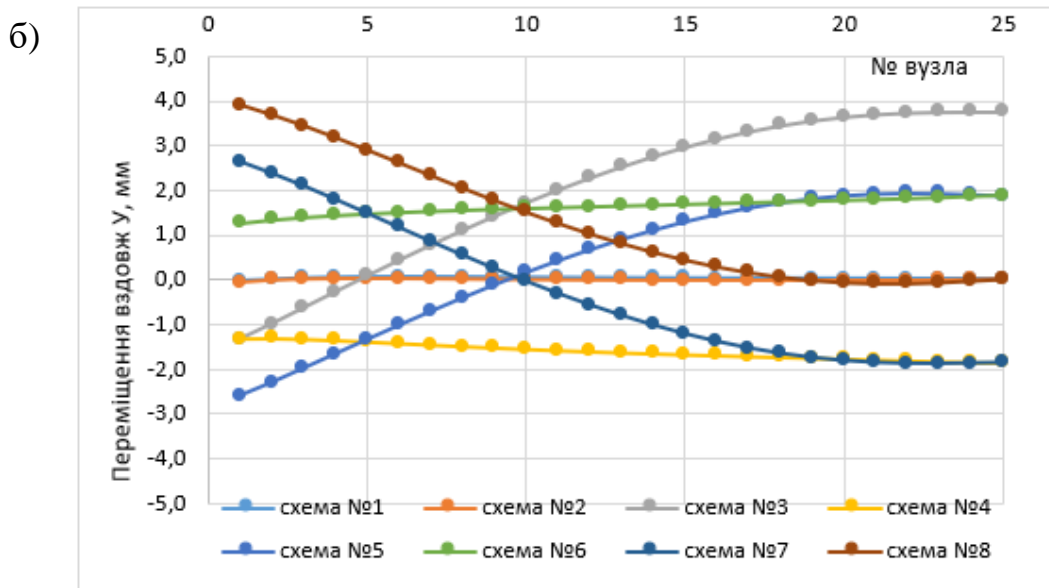
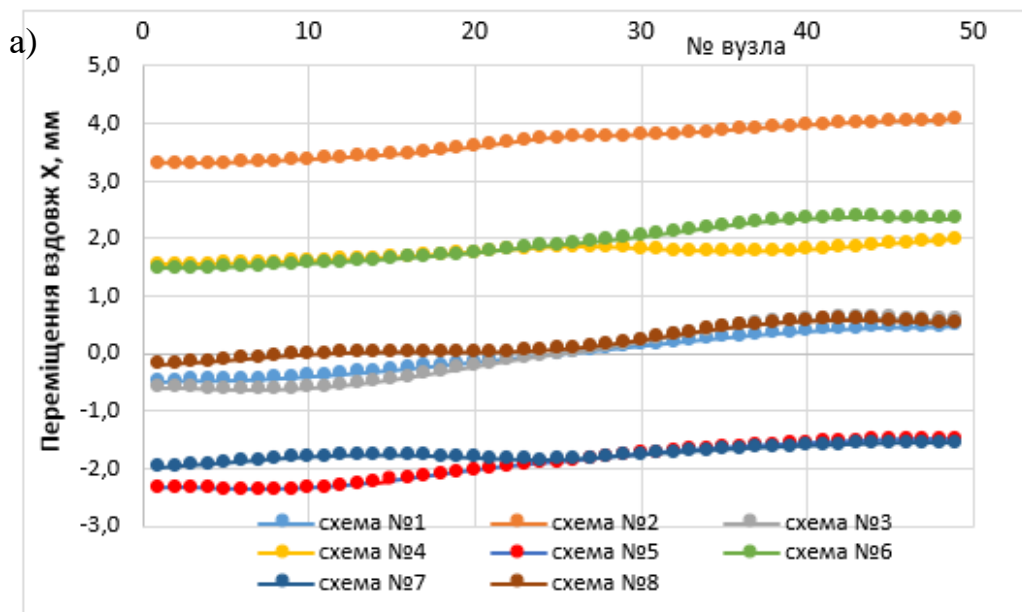


Рис.6.14 Переміщення вузлів SE схеми оболонки вздовж осі X-а; Y-б; Z-в

Так, із графіків на рис.6.15 видно, що оболонка є найменш деформативною при завантаженні її рівномірно прикладеним сніговим навантаженням на все поле (схема №1).

На рис. 6.13,в приведені найбільші значення переміщень вузлів скінченоеlementної схеми по осям, в тому числі дані щодо вертикальних прогинів по осі Z.

За нормами [16] розрахуємо значення максимально допустимого прогину оболонки:

$$f_{z,u} = \frac{l}{300} = \frac{2400}{300} = 8,0 \text{ см}$$

де l – проліт оболонки. Таким чином, вертикальні прогини оболонки за різних схем її завантаження знаходяться в допустимих межах.

6.4 Зусилля в колонах

На рис. 6.15 наведено розташування стержневих кінцевих елементів в розрахунковій моделі.

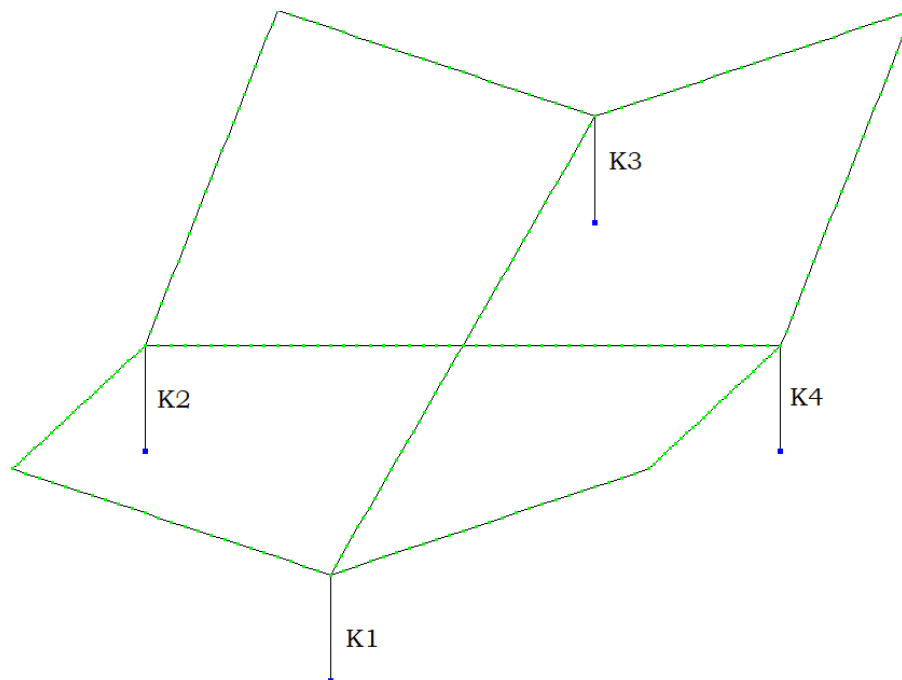
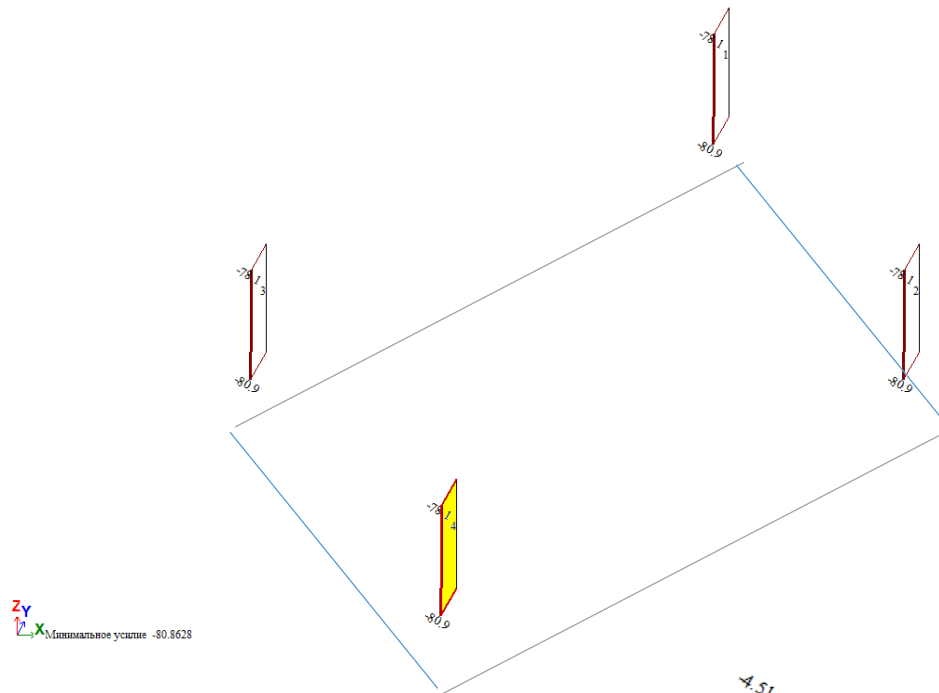


Рис.6.15 Схема стержневих елементів в розрахунковій моделі оболонки

На рис. 6.16-6.17 наведено епюри зусиль в колонах від деяких схем завантажень.

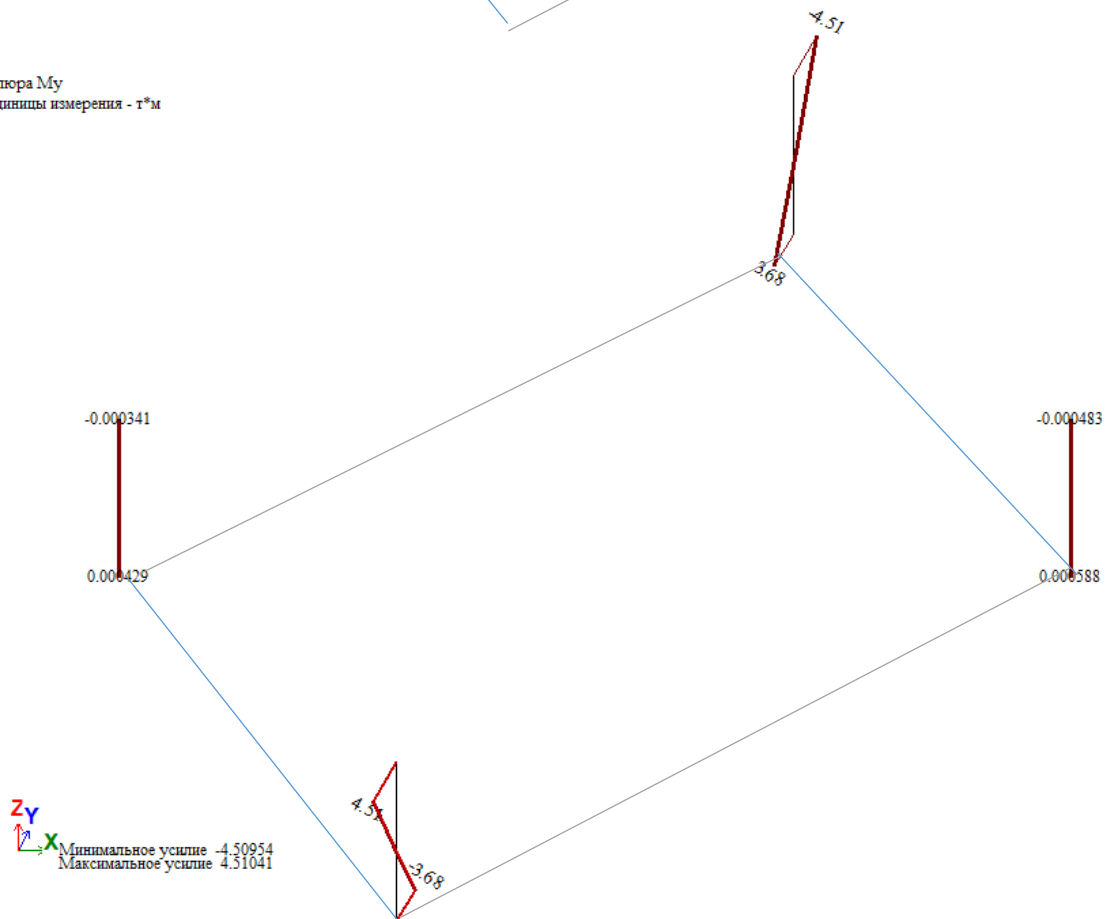
Загрузка 4
Эпора N
Единицы измерения - т

а)



б)

Эпора Mu
Единицы измерения - т*м



Эшора M_x
Единицы измерения - t^*m

В)

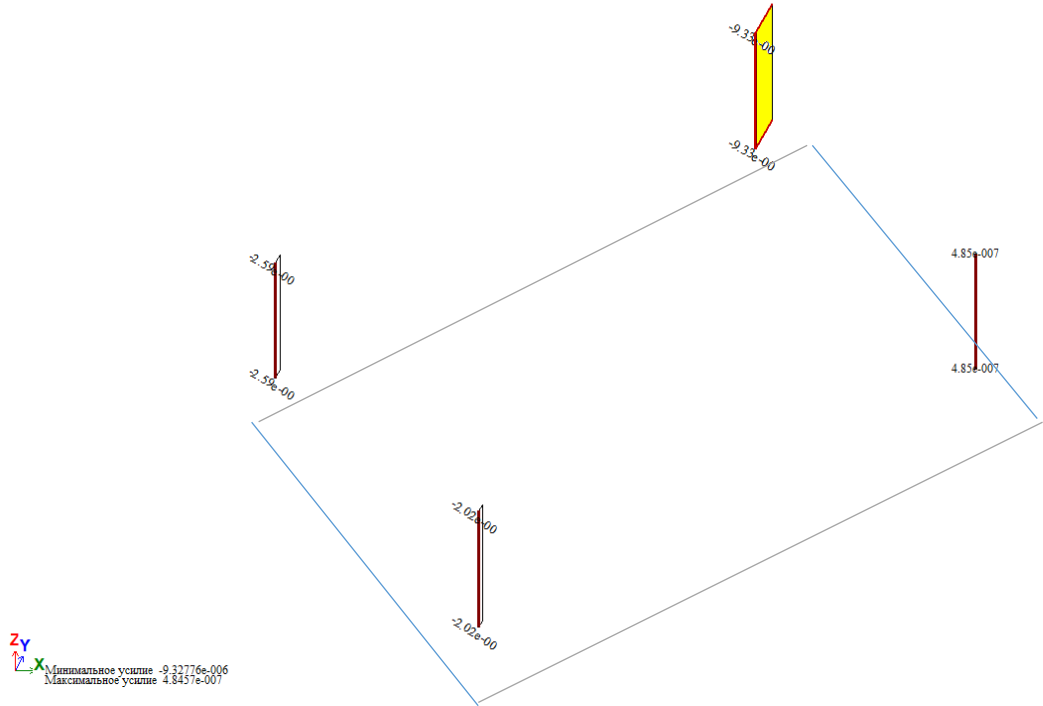
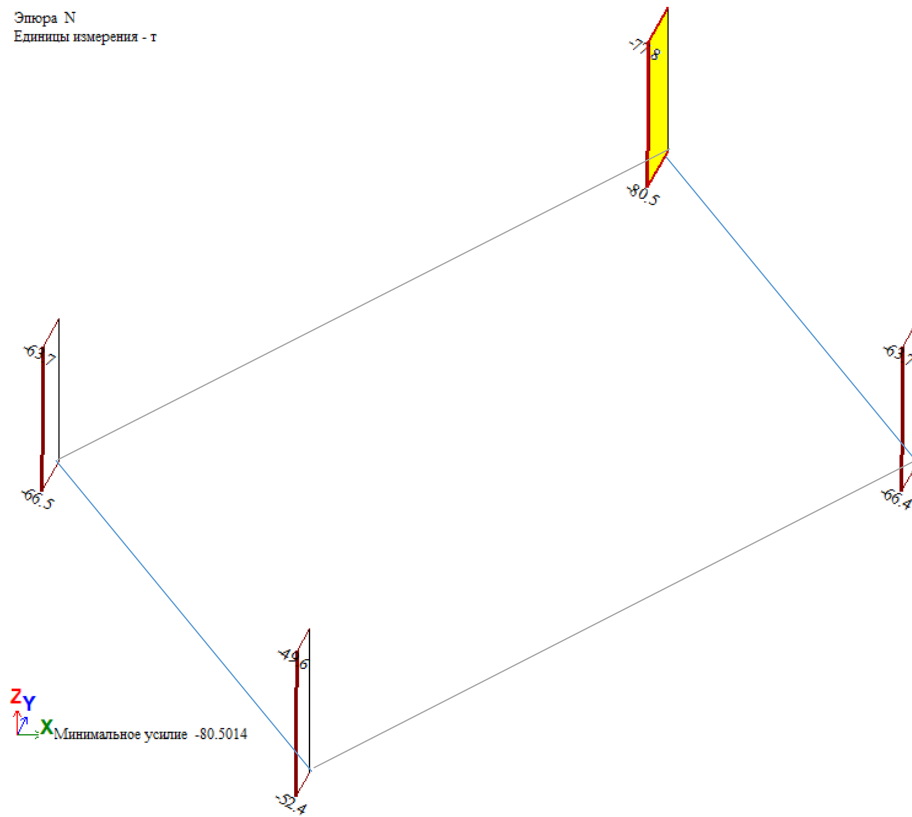


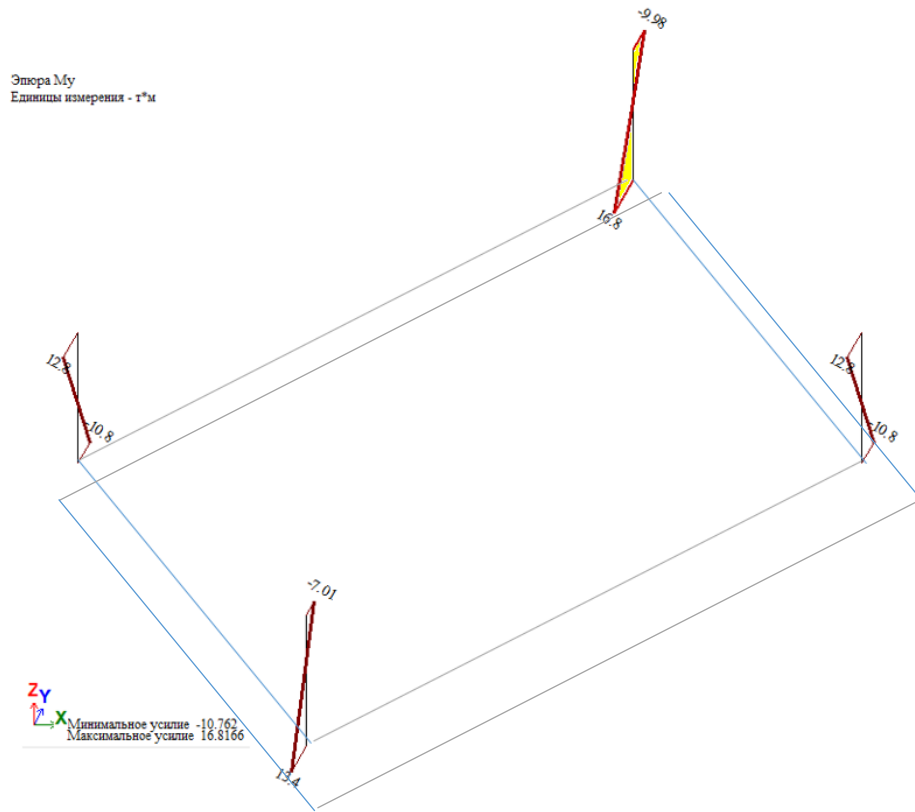
Рис.6.16 Епюри внутрішніх зусиль в колонах розрахункової схеми для схеми завантаження №1: поздовжньої сили $N - a$; моменту вигину $M_y - б$; крутного моменту $M_x - в$

Эшора N
Единицы измерения - t

а)



б)



в)

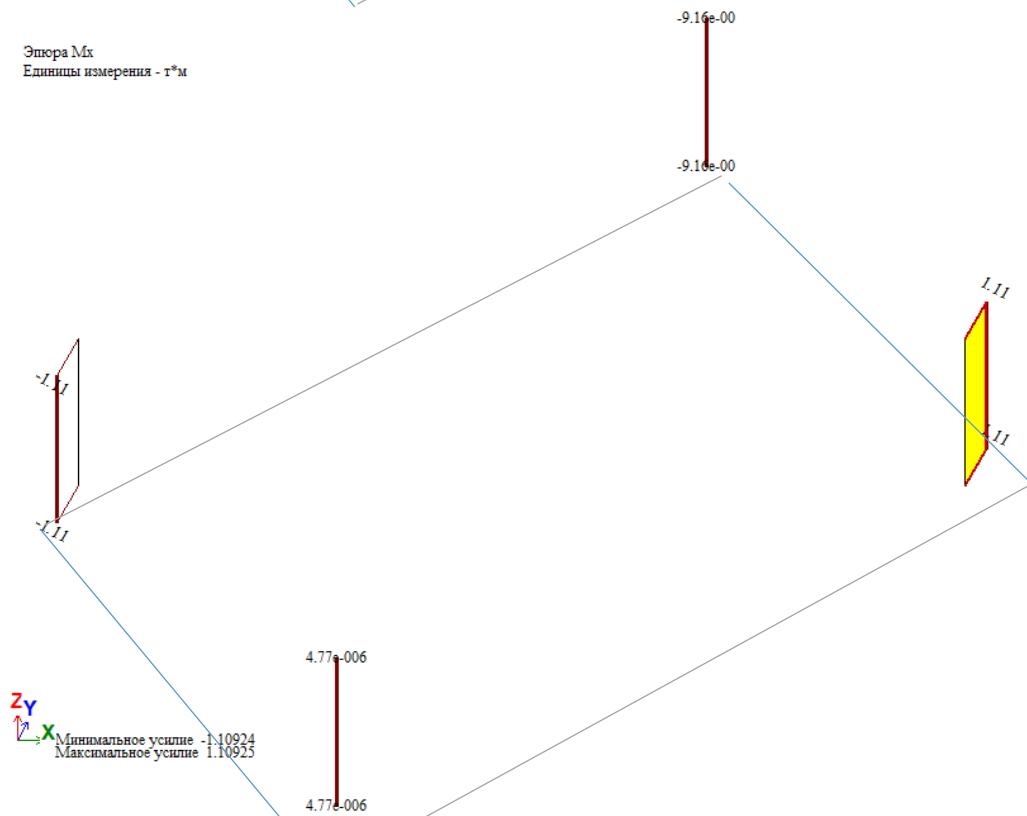


Рис.6.17 Эпюры внутренних усилий в колоннах расчетной схемы для схемы
завантаження №3 (на полонину поля оболонки): поздовжньої сили $N - a$;
моменту вигину $M_y - б$; крутного моменту $M_x - в$

В табл. 6.3 наведено максимальні значення зусиль в колонах при різних схемах завантаження конструкції.

Таблиця 6.3 - Зусилля в колонах моделі гіпару за різних способів її завантаження сніговим навантаженням

№ елемента	№ перерізу	Схема №1				Схема №2			
		N (т)	M _k (т·м)	M _y (т·м)	Q _y (т)	N (т)	M _k (т·м)	M _y (т·м)	Q _y (т)
1	1	-80,9	0,0	3,7	0,0	-66,4	-1,1	1,7	5,9
	2	-79,5	0,0	-0,4	0,0	-65,1	-1,1	0,1	5,9
	3	-78,1	0,0	-4,5	0,0	-63,7	-1,1	-1,5	5,9
2	1	-80,9	0,0	0,0	-2,0	-80,5	0,0	0,0	-6,7
	2	-79,5	0,0	0,0	-2,0	-79,1	0,0	0,0	-6,7
	3	-78,1	0,0	0,0	-2,0	-77,8	0,0	0,0	-6,7
3	1	-80,9	0,0	0,0	2,0	-52,4	0,0	0,0	-5,1
	2	-79,5	0,0	0,0	2,0	-51,0	0,0	0,0	-5,1
	3	-78,1	0,0	0,0	2,0	-49,6	0,0	0,0	-5,1
4	1	-80,9	0,0	-3,7	0,0	-66,4	1,1	-1,7	5,9
	2	-79,5	0,0	0,4	0,0	-65,1	1,1	-0,1	5,9
	3	-78,1	0,0	4,5	0,0	-63,7	1,1	1,5	5,9

Продовження табл.6.3

№ елемента	№ перерізу	Схема №3				Схема №4			
		N (т)	M _k (т·м)	M _y (т·м)	Q _y (т)	N (т)	M _k (т·м)	M _y (т·м)	Q _y (т)
1	1	-80,5	0,0	16,8	-6,7	0,0	0,0	-52,2	-0,2
	2	-79,1	0,0	3,4	-6,7	0,0	0,0	-50,9	-0,2
	3	-77,8	0,0	-10,0	-6,7	0,0	0,0	-49,5	-0,2

2	1	-66,4	1,1	-10,8	5,9	-1,7	-0,8	-66,4	-0,9
	2	-65,1	1,1	1,0	5,9	-0,1	-0,8	-65,0	-0,9
	3	-63,7	1,1	12,8	5,9	1,5	-0,8	-63,6	-0,9
3	1	-66,5	-1,1	-10,8	5,9	1,7	0,8	-52,2	0,2
	2	-65,1	-1,1	1,0	5,9	0,1	0,8	-50,9	0,2
	3	-63,7	-1,1	12,8	5,9	-1,5	0,8	-49,5	0,2
4	1	-52,4	0,0	13,4	-5,1	0,0	0,0	-66,3	0,9
	2	-51,0	0,0	3,2	-5,1	0,0	0,0	-64,9	0,9
	3	-49,6	0,0	-7,0	-5,1	0,0	0,0	-63,5	0,9

Продовження табл.6.3

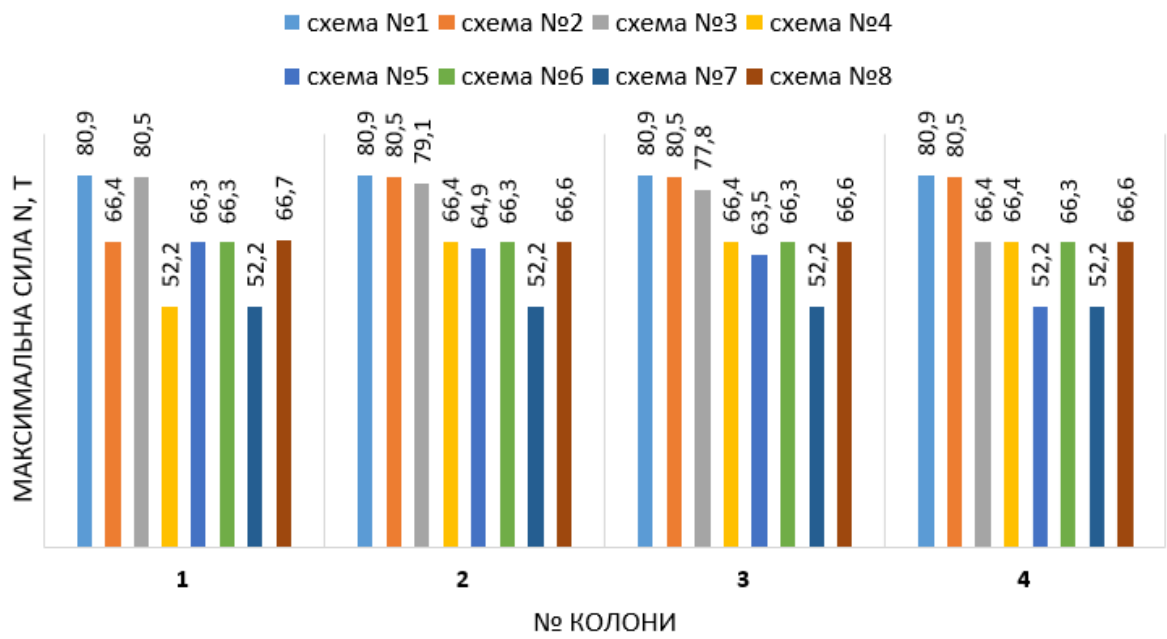
№ елемента	№ перерізу	Схема №5				Схема №6			
		N (τ)	M _k (τ·м)	M _y (τ·м)	Q _y (τ)	N (τ)	M _k (τ·м)	M _y (τ·м)	Q _y (τ)
1	1	-66,3	0,9	8,3	-3,1	-15,3	-7,5	-66,3	-0,9
	2	-64,9	0,9	2,0	-3,1	-0,4	-7,5	-64,9	-0,9
	3	-63,5	0,9	-4,2	-3,1	14,5	-7,5	-63,5	-0,9
2	1	-52,2	0,2	4,6	-1,6	6,8	2,8	-66,3	0,9
	2	-50,8	0,2	1,4	-1,6	1,3	2,8	-64,9	0,9
	3	-49,5	0,2	-1,7	-1,6	-4,3	2,8	-63,5	0,9
3	1	-66,3	-0,9	-15,3	7,5	8,3	3,1	-52,2	-0,2
	2	-64,9	-0,9	-0,4	7,5	2,0	3,1	-50,8	-0,2
	3	-63,5	-0,9	14,5	7,5	-4,2	3,1	-49,5	-0,2
4	1	-52,2	-0,2	6,8	-2,8	4,6	1,6	-52,2	0,2
	2	-50,8	-0,2	1,3	-2,8	1,4	1,6	-50,8	0,2
	3	-49,5	-0,2	-4,3	-2,8	-1,7	1,6	-49,5	0,2

Продовження табл.6.3

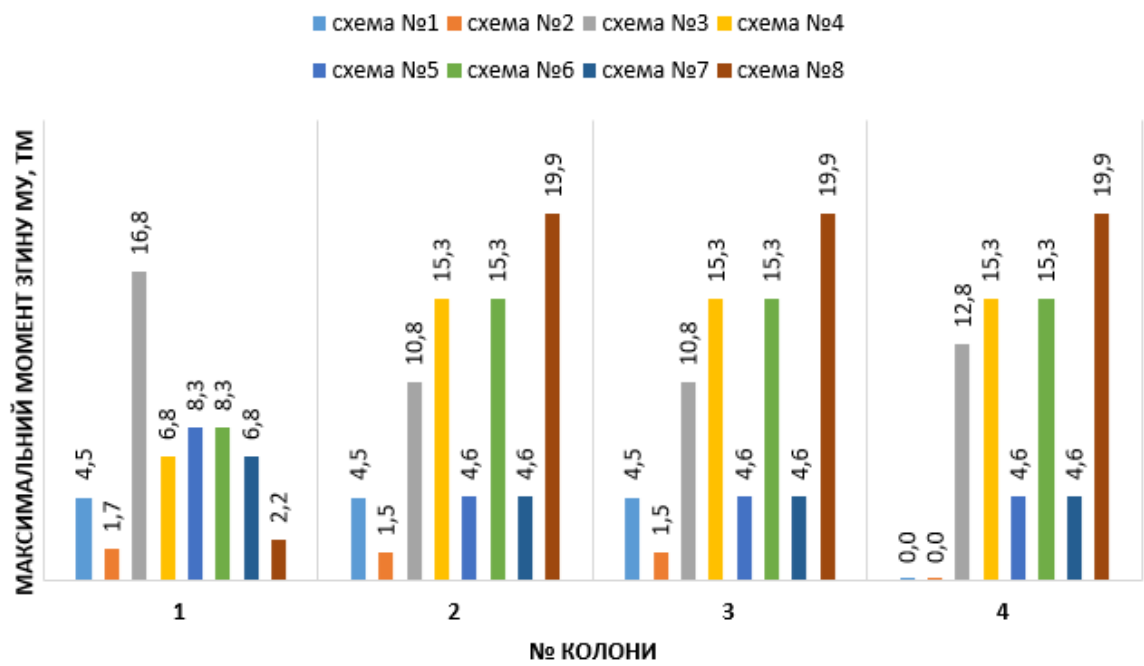
№ елемента	№ перерізу	Схема №7				Схема №8			
		N (т)	M _k (т·м)	M _y (т·м)	Q _y (т)	N (т)	M _k (т·м)	M _y (т·м)	Q _y (т)
1	1	-52,2	0,2	-6,8	2,7	4,5	1,6	-66,7	-0,7
	2	-50,9	0,2	-1,3	2,7	1,4	1,6	-65,3	-0,7
	3	-49,5	0,2	4,2	2,7	-1,7	1,6	-64,0	-0,7
2	1	-52,2	-0,2	-4,6	1,6	6,7	2,7	-66,6	0,7
	2	-50,9	-0,2	-1,4	1,6	1,3	2,7	-65,2	0,7
	3	-49,5	-0,2	1,7	1,6	-4,2	2,7	-63,8	0,7
3	1	-66,4	0,9	15,3	-7,5	8,3	3,2	-67,1	0,7
	2	-65,0	0,9	0,4	-7,5	2,0	3,2	-65,7	0,7
	3	-63,6	0,9	-14,5	-7,5	-4,4	3,2	-64,3	0,7
4	1	-66,3	-0,9	-8,3	3,2	-15,3	-7,5	-66,6	-0,7
	2	-64,9	-0,9	-2,0	3,2	-0,4	-7,5	-65,2	-0,7
	3	-63,5	-0,9	4,3	3,2	14,5	-7,5	-63,8	-0,7

Було вибрано максимальні абсолютні значення зусиль в колонах та відслідковано їх зміну в усіх колонах в залежності від способу прикладення снігового навантаження. Ці дані наведено на рис.6.18.

а)



б)



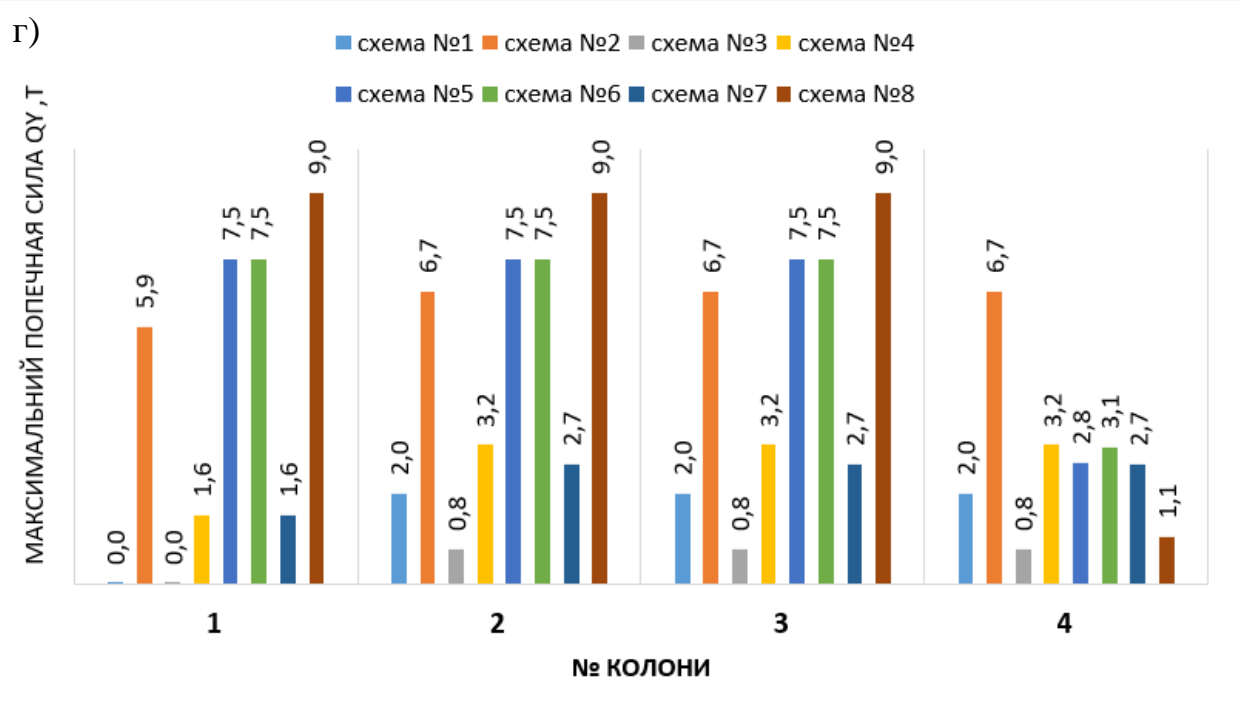
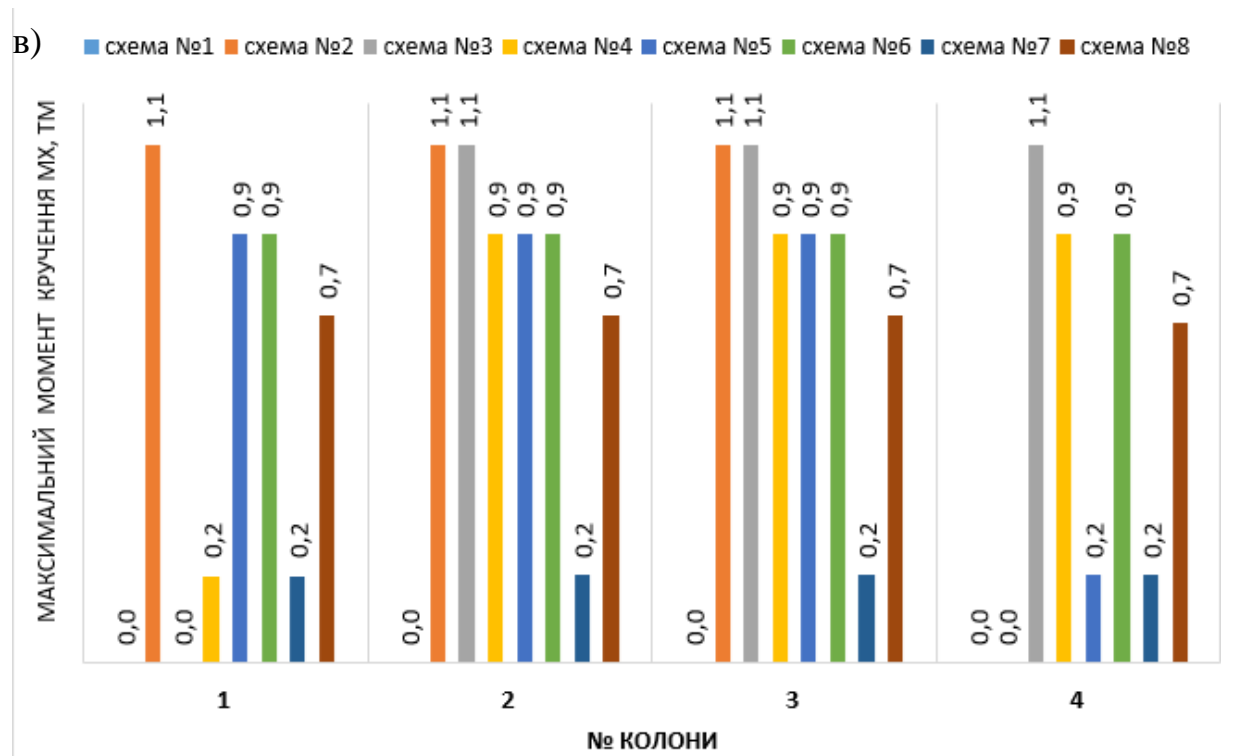


Рис.6.18 Абсолютні максимальні значення зусиль в колонах розрахункової моделі в залежності від схеми прикладення снігового навантаження; зусилля стиску N –а; моменти вигину M_y – б; крутний момент M_k –в; поперечна сила Q_y –г

Так із рис.6.19, а видно, що несиметричний спосіб прикладення снігового навантаження не викликає збільшення осевого зусилля стиску для

колон моделі оболонки. В першій та четвертій колонах (рис.6.19, а) для схем завантаження на $\frac{1}{4}$ поля оболонки №№4,7 зусилля N навіть зменшуються на 55%.

Графік максимальних моментів вигину свідчить про те для більшості схем прикладення навантаження не симетрично в колонах моменти згину суттєво збільшуються. Так при завантаженні за схемою №8 (завантажено снігом одночасно дві чверті по діагоналі) моменти згину в 2-й, 3-й, 4-й колонах збільшилися в 4,4 рази. Для інших схем таке збільшення становить від 51,1 % до 273%

У всіх колонах симетричне завантаження снігом поля оболонки не викликає крутних моментів, але не симетричне його прикладення викликає крутні моменти в усіх колонах моделі (рис.6.19 в).

Максимальна поздовжня сила збільшується в колонах несиметрично завантажених схем у 1,6–4,5 рази.

6.5 Зусилля в розжолобках та бортових елементах

Було визначено максимальні зусилля в стержньових елементах – розжолобках та бортових балках (табл. 6.4 та 6.5).

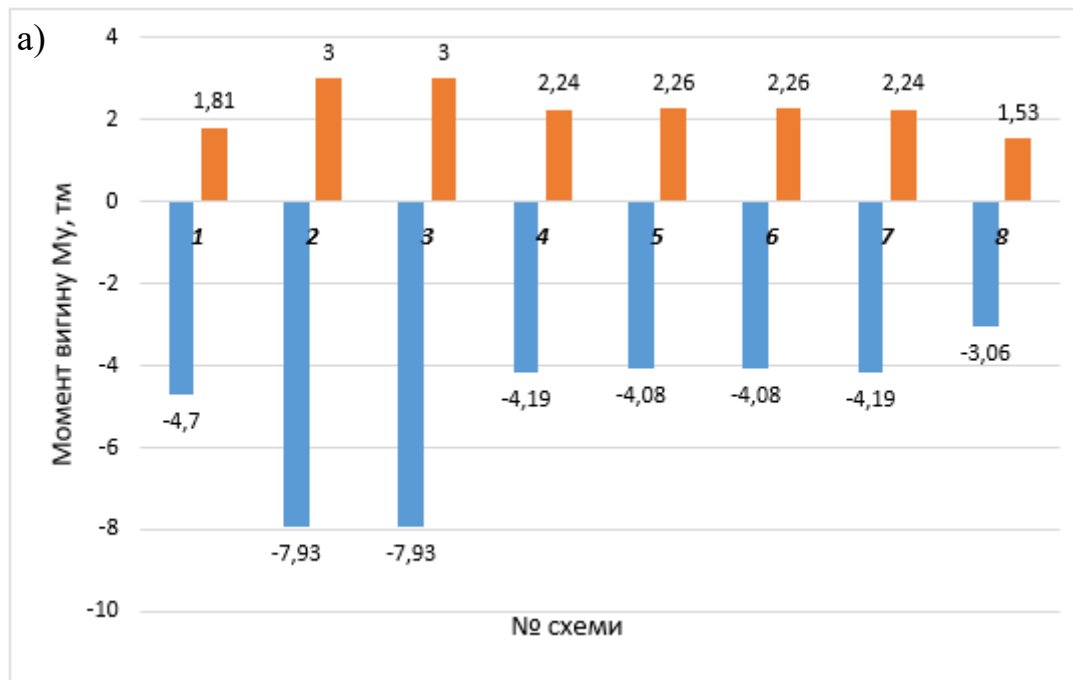
Таблиця 6.4 Максимальні зусилля в розжолобках

№ схеми	M _y , тм		N, т		M _k , тм	
1	-4,7	1,81	-12,12	12,12	0	0
2	-7,93	3	-7,99	16,5	-2,76	2,76
3	-7,93	3	-7,99	16,5	-2,76	2,76
4	-4,19	2,24	-10,28	10,33	-2,97	2,97
5	-4,08	2,26	-10,18	10,18	-2,97	2,97
6	-4,08	2,26	-1,67	10,18	-2,97	2,97
7	-4,19	2,24	-10,33	1,77	-2,97	2,97
8	-3,06	1,53	-8,83	8,65	-3,19	3,19

Таблиця 6.5 Максимальні зусилля в бортових елементах

№ схеми	M _y , тм		N, т		M _k , тм	
1	-5,62	0,4	-2,77	2,77	-1,3	1,3
2	-10	1,49	-5,38	5,38	-1,9	1,9
3	-10	1,49	-5,53	5,53	-1,9	1,9
4	-11,9	1,8	-5,93	5,94	-1,7	1,7
5	-11,97	1,88	-5,93	5,93	-1,7	1,7
6	-11,97	1,88	-5,93	5,93	-1,7	1,7
7	-11,97	1,88	-5,93	5,93	-1,7	1,7
8	-11,41	1,68	-5,86	5,86	-2	2

За табл. 6.4 та 6.5 побудовано графіки (рис.6.19 та 6.20)



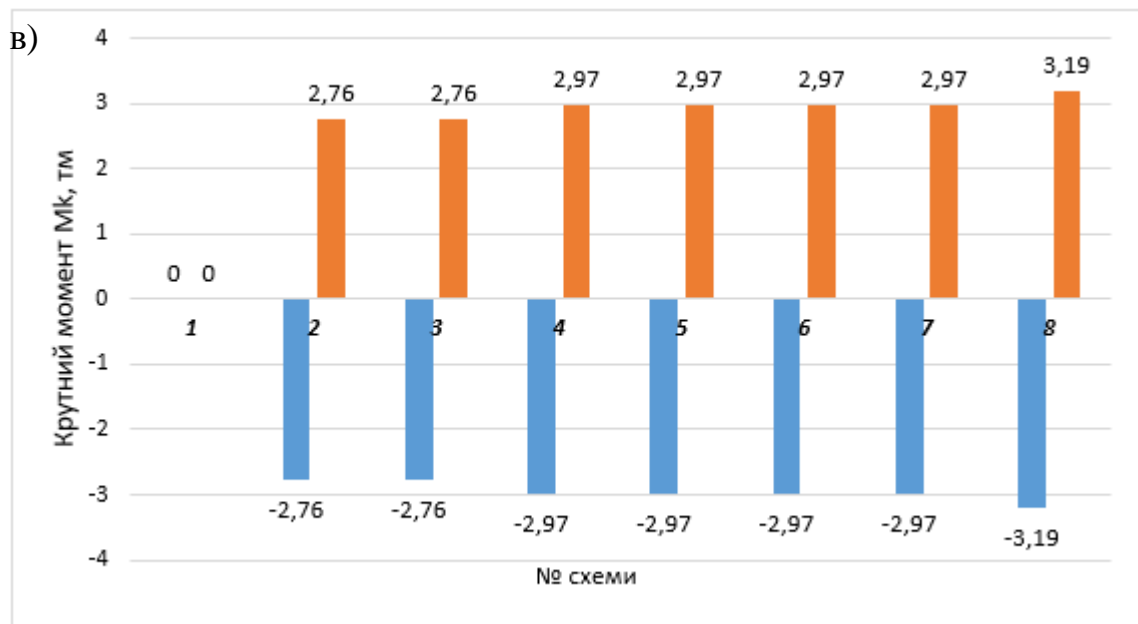
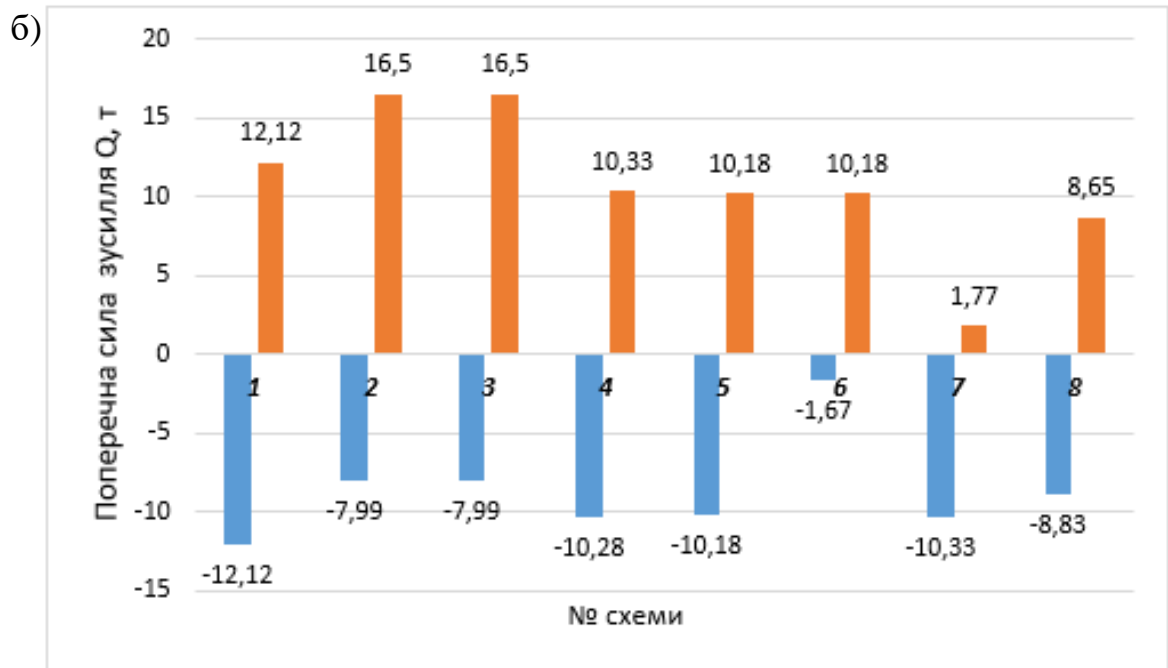
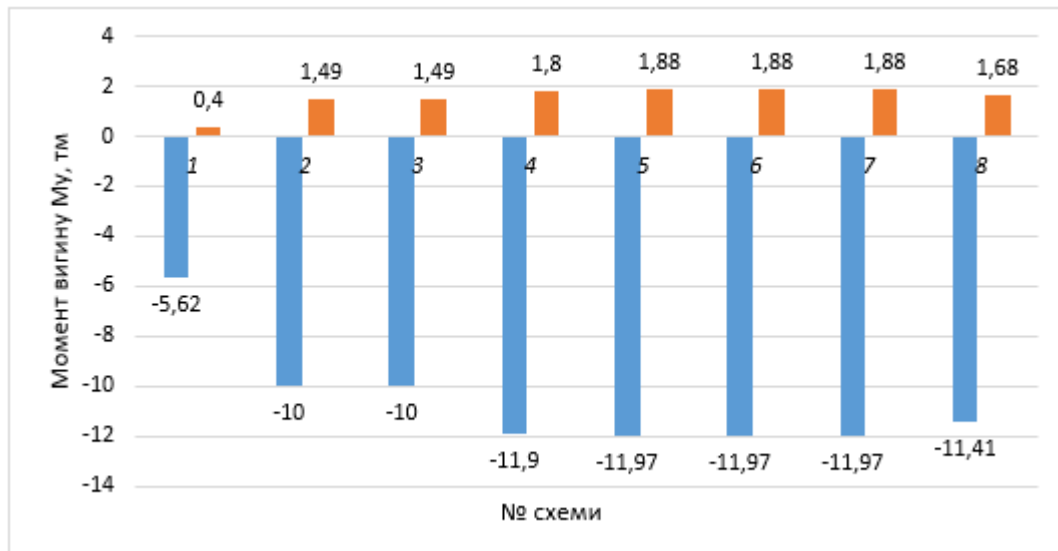
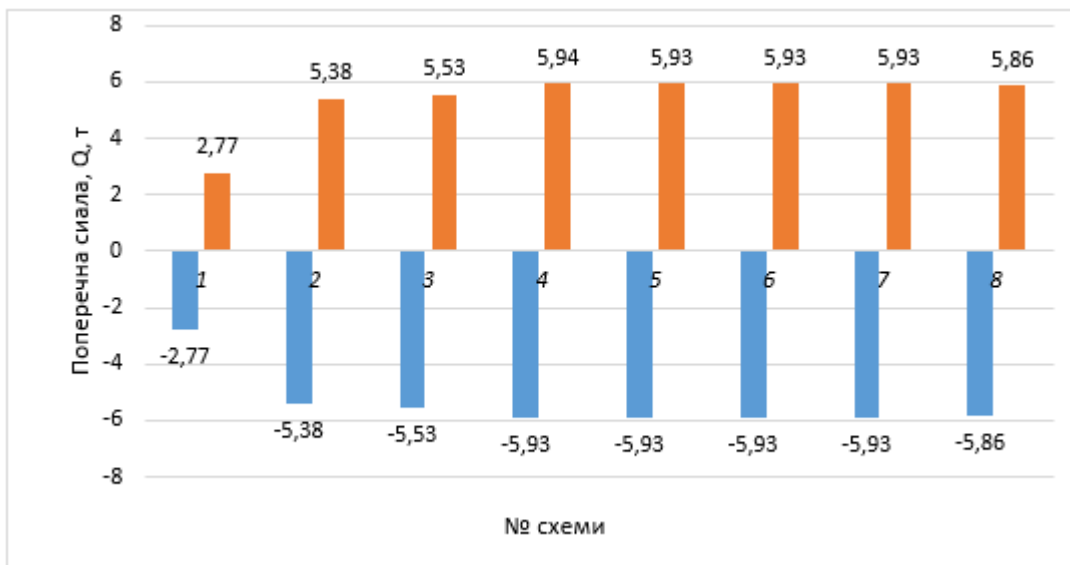


Рис. 6.19 Максимальні зусилля в розколбках: максимальний момент вигину M_y - а; максимальна поперечна сила Q – б; максимальний крутячий момент – в

a)



б)



в)

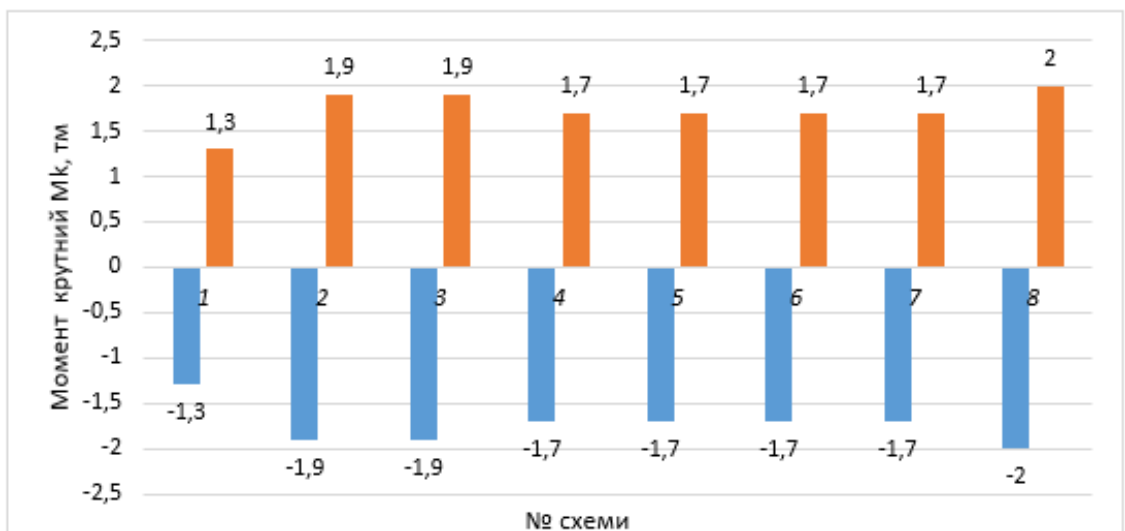


Рис. 6.20 Максимальні зусилля в розжолобках: максимальний момент вигину M_y – а; максимальна поперечна сила Q – б; максимальний крутящий момент – в

Із графіків видно, в розжолобках при несиметричному завантаженні системи моменти збільшуються в 1,69 рази, а поперечна сила при завантаженні поля на половину (схема №№ 2,3) збільшується в 1,36 рази. При симетричному навантаженні крутні моменти балках- розжолобках відсутні, але прикладення навантаження на частину оболонки викликає появу в них значних крутних моментів.

В бортових елементах максимальні моменти вигину при несиметричному завантаженні поля збільшуються до 2,13 рази, а поперечна сила зростає у 2,0–2,14 рази. Крутні моменти в бортових ребрах виникають як при симетричному, так і не при симетричному завантаженні. При завантаженні снігом на $\frac{1}{2}$ поля оболонки вони збільшуються в 1,46 рази, а при завантаженні поля на $\frac{1}{4}$ частину – в 1,3–1,5 рази.

РОЗДІЛ 7

ВИСНОВКИ

1. Досвід проектування показує, що оболонки у вигляді гіперболічних параболоїдів раціональніше виконувати в монолітному залізобетоні. Поверхня гіпару є відносно простою в розрахунку та конструюванні, оскільки зусилля в оболонці майже не змінюються.
2. Оскільки поверхня гіпару має також і лінійчату поверхню, то її можна виготовити з використанням прямолінійних елементів опалубки.
3. Загалом, для всіх схем завантаження напруження розтягу перевищують опір бетону на розтяг: для симетрично завантаженої схеми – в $2,36 \div 2,81$ рази, а для несиметрично завантажених схем – в $3,4 \div 4,95$ рази.
4. Головні напруження розтягу за напрямком дії напружень N_1 значним чином збільшуються в $1,67 \div 1,75$ рази у всіх несиметрично завантажених схемах. За напрямком дії головних напружень розтягу N_3 для схем завантажених на $\frac{1}{2}$ поля конструкції (схеми №№ 2,3) напруження розтягу майже дорівнюють напруженням розтягу, що виникають в симетрично завантаженій схемі. Але для схем, завантажених на чверть

поля оболонки, (схеми №№ 4,5,6) напруження розтягу збільшуються в 1,44 рази

5. За максимальними напруженнями розтягу та за картиною їх розташування була підібрана площа робочої арматури.
6. Напруження стиску, як за напрямком дії напружень N_1 , так і напружень N_3 , не перевищують розрахунковий опір бетону на стиск $f_{cd}=14,5$ МПа= $1478,08$ т/м²
7. При несиметричному прикладенні навантаження на поле оболонки головні напруження стиску N_1 збільшуються для усіх схем на 183 %, а за напрямком дії головних напружень стиску N_3 – на величини від 11,3% до 19,3%. Напруження розтягу в несиметрично завантажених схемах збільшуються в порівнянні із завантаженням на все поле оболонки за напрямком дії головних напружень розтягу N_1 на 76,2%, а головні напруження розтягу N_3 на 44%.
8. Таким чином, можна констатувати, що несиметричне завантаження гіперболічної оболонки за будь-якою схемою, призводить до суттєвого збільшення напружень як розтягу, так й стиску.
9. Несиметричний спосіб прикладення снігового навантаження не викликає збільшення осьового зусилля стиску для колон моделі оболонки. В першій та четвертій колонах для схем завантаження на $\frac{1}{4}$ поля оболонки №№4,7 зусилля N навіть зменшуються на 55%. Графік максимальних моментів вигину свідчить про те, що для більшості схем прикладення несиметричного навантаження, в колонах моменти вигину суттєво збільшуються. Так при завантаженні за схемою №8 (завантажено снігом одночасно дві чверті по діагоналі) моменти згину в 2-й, 3-й, 4-й колонах збільшилися в 4,4 рази. Для інших схем таке збільшення становить від 51,1 % до 273%. У всіх колонах симетричне завантаження снігом поля оболонки не викликає крутних моментів, але не симетричне його прикладення викликає крутні моменти в усіх

колонах моделі. Максимальна поздовжня сила збільшується в колонах несиметрично завантажених схем у 1,6–4,5 рази.

10. В розжолобках при несиметричному завантаженні системи моменти збільшуються в 1,69 рази, а поперечна сила при завантаженні поля на половину (схема №№ 2,3) збільшується в 1,36 рази. При симетричному навантаженні крутні моменти балках-розжолобках відсутні, але прикладення навантаження на частину оболонки викликає появу в них значних крутних моментів. В бортових елементах максимальні моменти вигину при несиметричному завантаженні поля збільшуються до 2,13 рази, а поперечна сила зростає у 2,0–2,14 рази. Крутні моменти в бортових ребрах виникають як при симетричному, так і не при симетричному завантаженні. При завантаженні снігом на $\frac{1}{2}$ поля оболонки вони збільшуються в 1,46 рази, а при завантаженні поля на $\frac{1}{4}$ частину – в 1,3–1,5 рази.

11. Деформативність оболонки за усіма напрямками знаходиться в допустимих межах. Різниця між максимальними переміщеннями вздовж осі Z становить 38,21%. Значення максимальних переміщень для всіх схем не перевищують максимально допустимого переміщення точок оболонки по вертикалі. Різниця між максимальними переміщеннями в симетрично завантаженої схемі та несиметрично завантаженої схемі по осі X та Y становить 28,5 %.

12. Можливі несиметричні навантаження на оболонку можуть призвести до появи неурівноважених зусиль в бортових елементах; в цьому випадку рівновага оболонки в цілому як жорсткої системи виявляється можливою лише завдяки розвиткові деформацій вигину. Обов'язковим є розрахунок оболонки-гіпару на несиметричне завантаження, оскільки саме за таких схем зусилля як розтягу в тілі оболонки, так і стиску збільшуються майже в 2 рази.

ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН В.2.6-98:2009 Бетонні та залізобетонні конструкції. Основні положення
2. Arnold, Matthias & Dietsch, Philipp & Winter, Stefan. (2023). Hyperbolic Paraboloid Shells made of Diagonal Laminated Timber Elements. 10.52202/069179-0483.
3. Farshad, M. (1992). Design of Hyperbolic Paraboloid Shells. In: Design and Analysis of Shell Structures. Solid Mechanics and Its Applications, vol 16. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1227-9_10
4. J. Christiansen, (editor), Hyperbolic Paraboloid Shells-State of the Art, American Concrete Institute, SP-110, Detroit, 1988
5. V. Gioncu, Thin Reinforced Concrete Shells, John Wiley & Sons Ltd., Chichester, 1979
6. M. Melaragno, An Introduction to Shell Structures - The art and Science of Vaulting, Von Nostrand Reinhold, New York, 1991
7. F. Candela, "General Formulas for Membrane Stresses in Hyperbolic Paraboloid Shells", ACI Journal, Proceeding, Vol. 57, No. 4, PP 353–371, 1960
8. C. Faber, Candela: The Shell Builder, Reinhold Publishing Corporation, New York, 1963
9. A. M. Haas, Design of Thin Concrete Shells, John Wiley & Sons, New York, 1962
10. M. Farshad, Shell Structures, (in Farsi), Shiraz University Press, Vol. I, 1986, Vol. II, 1987
11. G. Rühle Raumabdeckungen (Konstruktionen und Bauweisen). Band I. Stahlbeton, Stahlzement. 1973.
12. Spartali, Homam & Hegger, Josef & Chudoba, Rostislav. (2023). Structural behaviour of origami-based folded shells made of carbon textile reinforced

- concrete. 10.18154/RWTH-2023-06682.
13. Gupta A R, Deshmukh S K, Metkar S R 2012 Finite Element Method Analysis and Design for Pre-stressed Shell Type Structure Innovative Approaches in Civil Engineering National Multi-Conference March 7-8 15-18.
 14. Vijayalaxmi Kedilaya B, Prasanth S, Hegde A 2018 Structural stability of large span free form Shell structure by finite element IJCET 9(6) 287-293.
 15. Harish B A, Ramana N V, Manjunatha K 2015 Finite Element Analysis of Doubly Curved Thin Concrete International Journal of Engineering Science and Innovative Technology 4 (5) 48-57.
 16. ДСТУ Б В.1.2-3:2006. ПРОГНИ І ПЕРЕМІЩЕННЯ. Вимоги проектування.
 17. Azizov T.N. Аналіз напружено-деформованого стану купольного покриття / T.N. Azizov, N.M. Sribnyak, A.O. Vavulin // ACADEMIC JOURNAL Series: Industrial Machine Building, Civil Engineering. – Полтава: ПНТУ, 2017. – Т. 1 (40). – С. 120-128. – Режим доступу: <http://journals.pntu.edu.ua/znp/article/view/230> (дата звернення: 20.11.2020).
 18. Михайленко В.Е. Формоутворення оболонок в архітектурі / В.Е. Михайленко, В.С. Обухова, Подгорный А.Л. К. : Будівельник, 1972. 208 с. : ил.

ДОДАТКИ

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

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

(13 - 17 листопада 2023 р., м. Суми)

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

Редакційна рада:

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

Редакційна колегія:

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

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

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

КЛАСИФІКАЦІЯ УКРИТТІВ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

Забуга О.О., студ. 2 курсу ОС «Магістр», спец. 192 «Будівництво та цивільна інженерія», ФБТ
Срібняк Н.М., к.т.н., доцент
Сумський НАУ

Україна постає перед безпрецедентними викликами у сфері безпеки та захисту своїх громадян. Забезпечення нині й в подальшому громадян України надійними спорудами захисту цивільного населення від бомб є задачею надактуальною. Актуальна нормативна база щодо проектування як мобільних, так і капітальних укриттів наведена в [1]. Сховища та укриття класифікуються за видами. В свою чергу, кожному виду притаманні своя характеристика, рівень захисту та клас захисту. На рис. 1 наведено класифікацію укриттів, сховищ, споруд

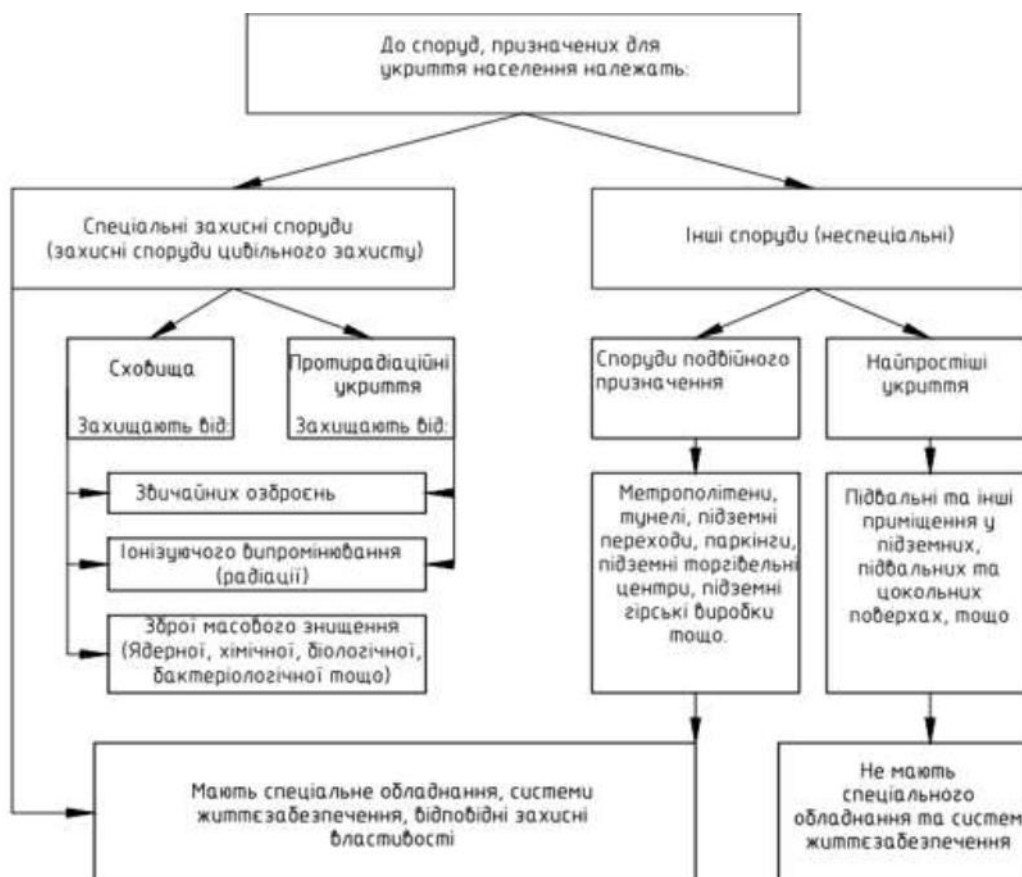


Рис. 1 Класифікація укриттів [2]

Під **сховищем** розуміють закриту конструкцію для захисту людей, в якій на певний лише час створюються умови щодо убезпечення людини від небезпечних факторів (вибух, вплив хімічних чи радіоактивних речовин). Ці фактори є наслідком надзвичайних ситуацій, терактів, воєнних дій.

Укриття протирадіаційного захисту – це конструкція для захисту людей, де забезпечуються умови для виключення впливу проникаючого іонізуючого випромінювання під час радіоактивного забруднення місцевості.

Найпростіше укриття – це споруда фортифікаційного типу, здебільшого розміщена в межах цокольного чи підвального поверху будівлі або є іншою конструкцією підземного простору, що призначена для перебування людей впродовж невеликого відрізка часу в особливо небезпечний період [2].

Література

- ДБН В.2.2-5:2023 "Захисні споруди цивільного захисту".
- Роз'яснення та уточнення. [Електронний ресурс] Режим доступу: <http://surl.li/ncwst>

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

РОБОТА СКЛАДЕНОГО НА КВАДРАТНОМУ ПЛАНІ ОБОЛОНКИ-ГІПАРУ

СТУДЕНТ – ЗАБУГА О.О.

КЕРІВНИК – К.Т.Н., ДОЦЕНТ СРІБНЯК Н.М.

МЕТА РОБОТИ

- Дослідження напружено-деформованого стану тонкостінної складеної на квадратному плані 24x24 м залізобетонної оболонки з гіперболічною поверхнею. Поверхня завантажена сніговим навантаженням за різними схемами.
- Від схем прикладення снігового навантаження залежить напружено-деформований стан оболонки.

ЗАДАЧІ РОБОТИ

- - створення за допомогою методу кінцевих елементів розрахункової моделі оболонки-гіпару, що спирається на колони в чотирьох точках.
- - виконання статичного розрахунку моделі в ПК ЛИРА-САПР за різних схем її завантаження сніговим навантаженням (на все поле, на $1/2$ та на $1/4$ поля).
- - аналіз результатів статичного розрахунку та вибір найбільш небезпечної схеми прикладення навантаження.

- **Об'єкт дослідження** – тонкостінна залізобетонна складена на квадратному плані гіперболічна оболонка спирається на колони в чотирьох точках.
- **Предмет дослідження** – напружено-деформований стан, що виникає в тонкостінній залізобетонній складеній з однакових фрагментів на квадратному плані гіперболічній оболонці.
- **Методи дослідження** – метод комп'ютерного моделювання конструкцій із застосуванням програмних комплексів, що реалізують метод кінцевих елементів (ПК ЛІРА-САПР 2024).

УТВОРЕННЯ ПОВЕРХНІ ГІПЕРБОЛІЧНОГО ПАРАБОЛОЇДУ

- Гіперболічний параболоїд може бути описана як поверхня переносу в двох варіантах:

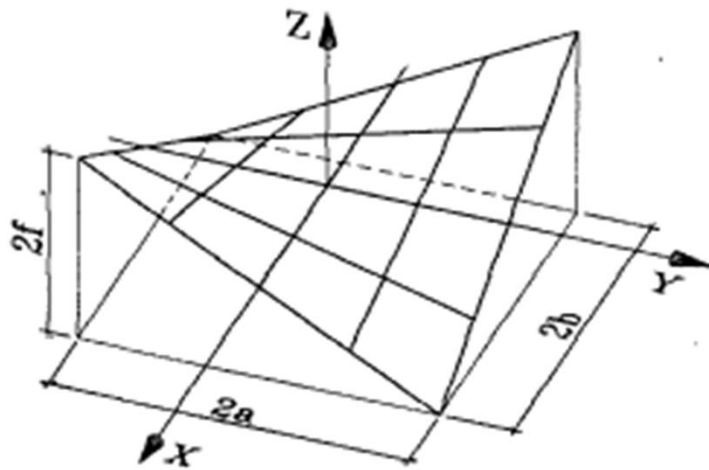


Рис. Способи утворення поверхні гіпару:
перенос прямої по двом прямим, що лежать
навхрест

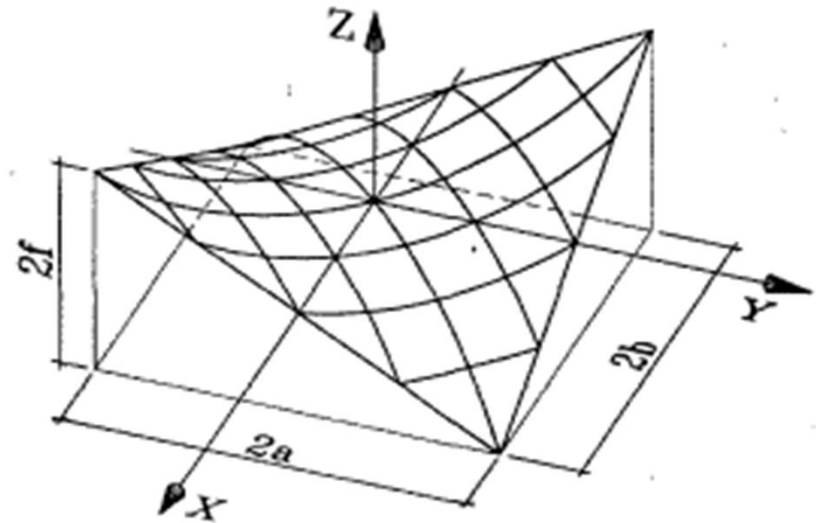
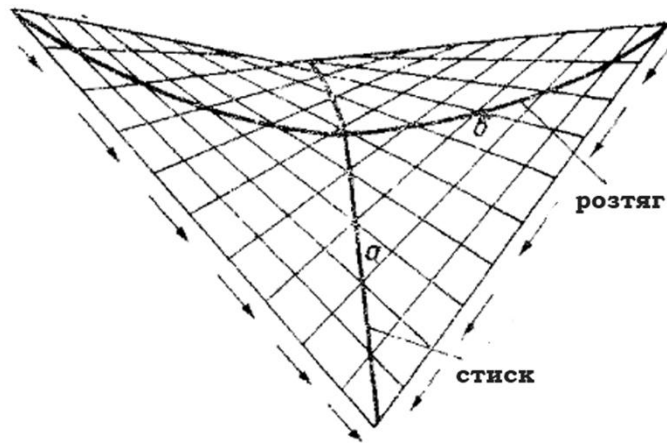


Рис. Перенос параболи по параболі

РОБОТА ГІПЕРБОЛІЧНОЇ ПОВЕРХНІ

- При гідному виборі геометрії поверхні гіпери, як і інші оболонки подвійної кривини, **мають високу несучу здатність**, стійкість гіпару забезпечується завдяки кривині різного знаку в двох взаємно перпендикулярних напрямках.
- В оболонці-гіпарі діють зусилля стиску в напрямку **випуклої параболы** (напрямок «а») та зусилля розтягу в напрямку **вигнутої параболы** (напрямок «б»)



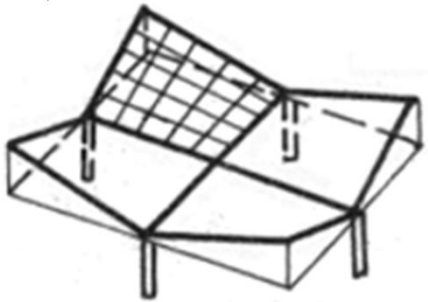
РОБОТА ГІПЕРБОЛІЧНОЇ ПОВЕРХНІ

- При рівномірно розподіленому навантаженні на оболонку нормальні зусилля, що направлені вздовж її твірних, є постійними по їх довжині. Це значить, що поперечне навантаження на контурі оболонки відсутня і контур завантажений лише погонними зусиллями зсуву. Таким чином, головні нормальні зусилля діють в перерізах оболонки, що розташовані під кутом 45° до твірних.

РОБОТА ГІПЕРБОЛІЧНОЇ ПОВЕРХНІ

- Оболонка, як правило, не може сприймати значних вертикальних навантажень, що прикладені до її країв, в тому числі навантажень від власної ваги бортових елементів. Тому слід звертати особливу увагу на розрахунок та конструювання бортових елементів та їх приєднання до оболонки.
- Можливі **несиметричні навантаження** на оболонку можуть призвести до появи неурівноважених зусиль в бортових елементах; в цьому випадку рівновага оболонки в цілому як жорсткої системи виявляється можливою лише завдяки розвитку деформацій вигину.

Поверхня, що досліджується



Оболонка, що досліджується відноситься являє собою складені на квадратному плані скручені прямокутники, що є конгруентними гіпарами.

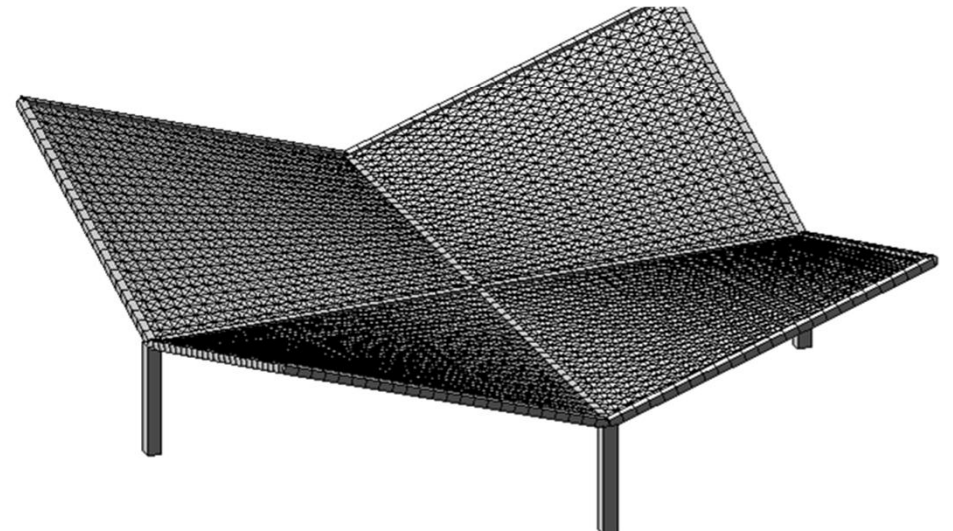
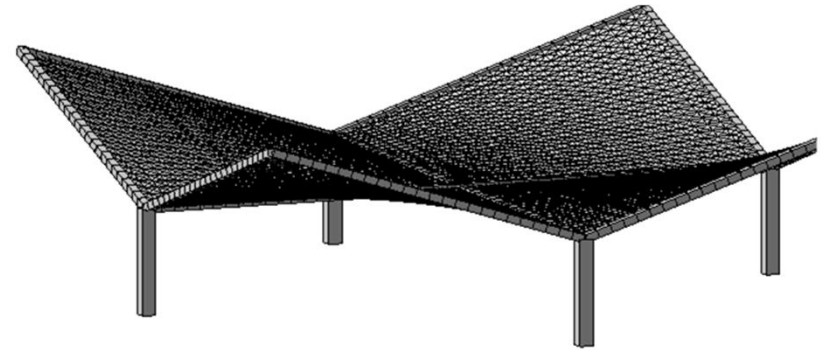
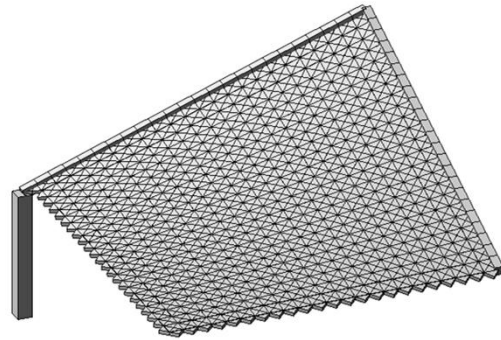
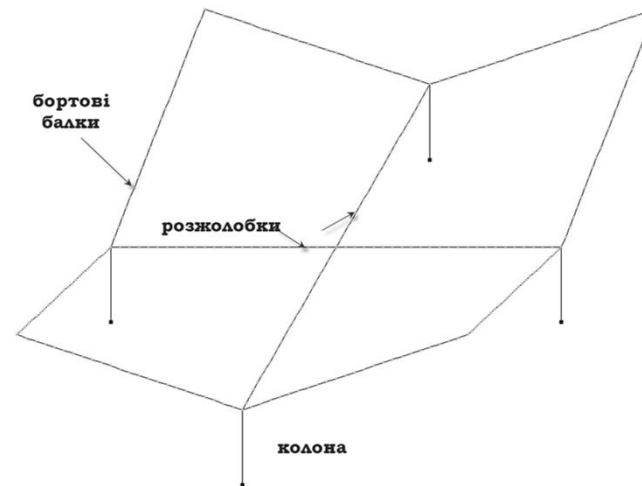
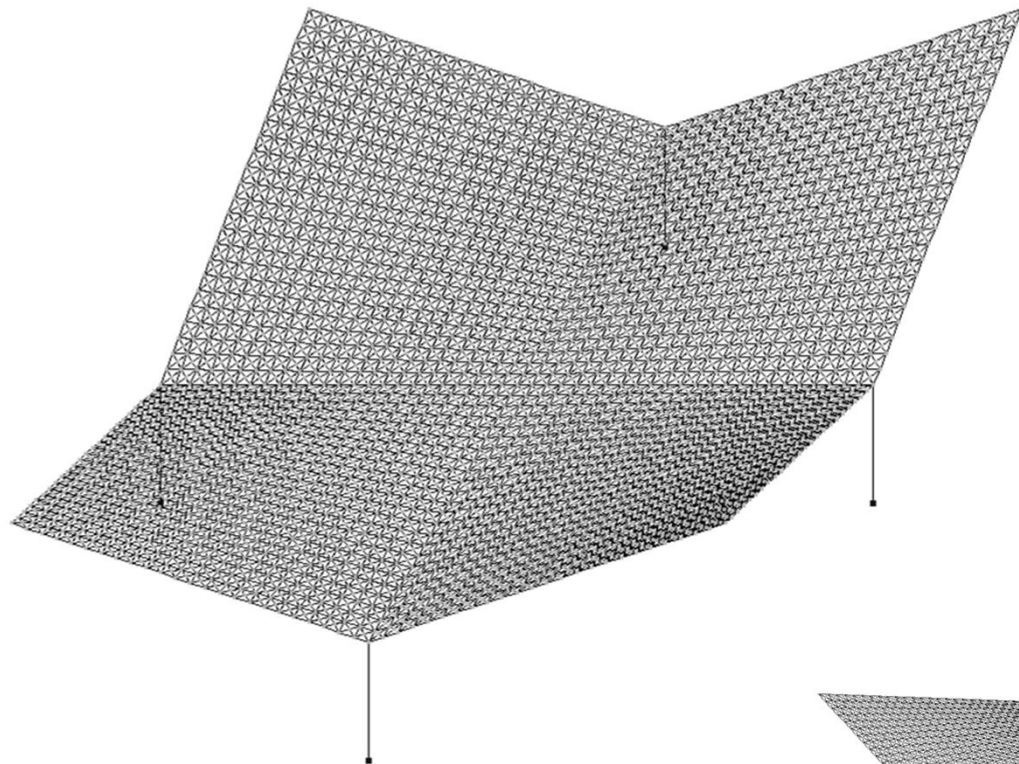
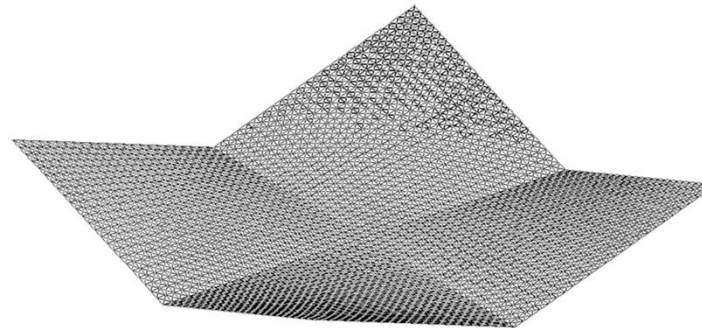


Рис. Просторова модель оболонки («гіпар-квітка») (а); $\frac{1}{4}$ фрагменту просторової моделі

КІНЦЕВОЕЛЕМЕНТНА МОДЕЛЬ ПОВЕРХНІ (В ПК «ЛІРА»)



Стержньові КЕ (пим 10)
(колони, розжолобки
бортові балки)



Пластинчаті трьохвузлові
КЕ (тип 42)
моделюють поле
оболонки

МАТЕРІАЛ ДЛЯ ОБОЛОНКИ

- Характеристики матеріалу оболонок прийняті наступними: важкий бетон класу С 20/25 ($E_{cd}=23,0$ ГПа , $f_{cd}=14,5$ МПа= $1478,08$ т/м², $f_{ctd}=1,0$ МПа= $101,9$ т/м² , $\gamma_b2 = 0,9$).
- Для власне оболонки приймаємо дротяну арматуру класу В400, $f_{yd}=410$ МПа, для бортових елементів і колон арматуру класу А400, $f_{yd} = 365$ МПа

РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕННЯ НА 1 М² ПОВЕРХНІ ОБОЛОНКИ

№ з/п	Назва елементів конструкції	Характеристичне Значення навантаження, (Н/м ²)	Коефіцієнт надійності за навантаженням γ_f	Розрахункове Значення навантаження (Н/м ²)
І. ПОСТІЙНЕ НАВАНТАЖЕННЯ				
1.	Покрівля з м'яких рулонних матеріалів	100	1,3	130
2.	Вирівнюючий шар із шпатлівки по армованій пластмасовій сітці $t=1,0$ см, $\rho = 2000$ Н/м ³	200	1,3	260
3.	Утеплювач із піноплексу $t=10,0$ см на клею $\rho = 800$ Н/м ³	80	1,3	104
4.	Пароізоляція	10	1,3	13
5.	Власна вага залізобетонної оболонки $t=5,0$ см, $\rho = 25000$ Н/м ³ , $g_{нор}=1250$ Н/м ² , $g_{рас}=1375$ Н/м ²	Враховується автоматично при роботі комплексу ЛІРА-САПР		
Всього постійне:		390	1,3	507
І. ТИМЧАСОВЕ (СНІГОВЕ) НАВАНТАЖЕННЯ				
6.	м. Суми	1638,3	1,14	1867,32

ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОБОЛОНКИ, ЩО
СТОІТЬ ОКРЕМО, БУДЕМО ДОСЛІДЖУВАТИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СПОСОБУ
ПРИКЛАДЕННЯ СНІГОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ОБОЛОНКУ

Основні навантаження на поле
оболонки - РСН

1. власна вага оболонки;
2. вага конструкції покрівлі
3. сніг

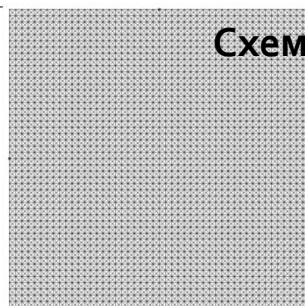


Схема № 1

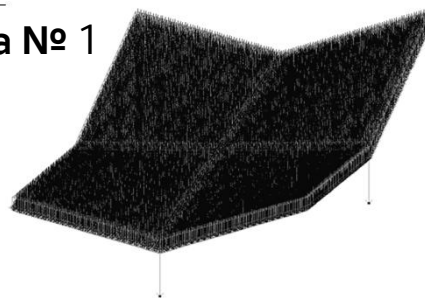


Схема № 2

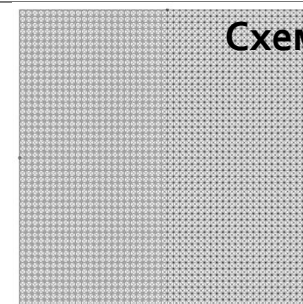


Схема № 3

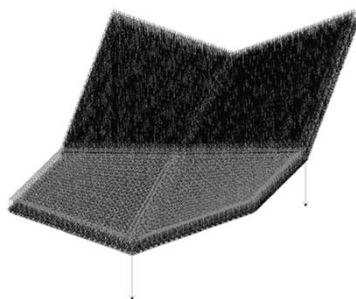


Схема № 4

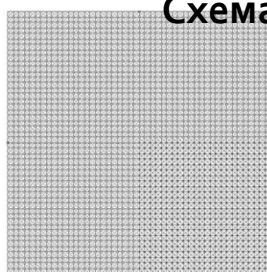
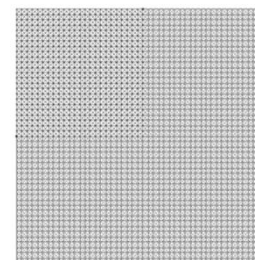


Схема № 5



ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ОБОЛОНКИ, ЩО
СТОЇТЬ ОКРЕМО, БУДЕМО ДОСЛІДЖУВАТИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД СПОСОБУ
ПРИКЛАДЕННЯ СНІГОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ОБОЛОНКУ

Схема № 6

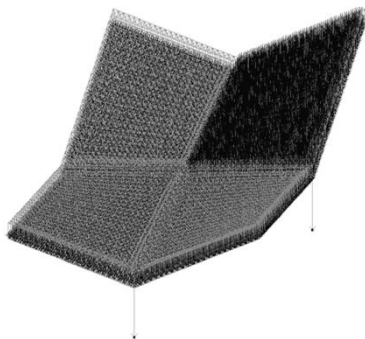
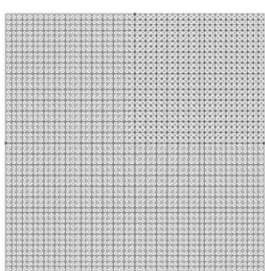


Схема № 7

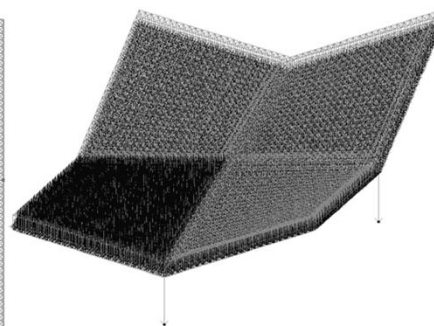
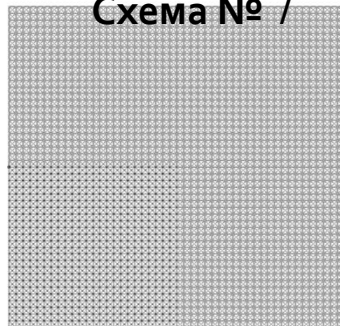
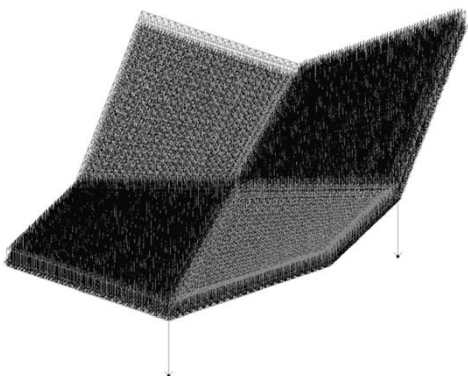
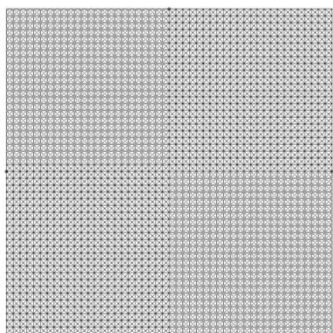


Схема № 8



ПЕРЕВІРКА СТІЙКОСТІ ПОВЕРХНІ

- З точки зору статичної роботи можна припустити, що опуклі параболи оболонки працюють подібно аркам на **стиск**, а увігнуті зони – на **розтягнення** подібно гнучким ниткам.

- Стиснуті зони оболонки необхідно перевірити на стійкість.**

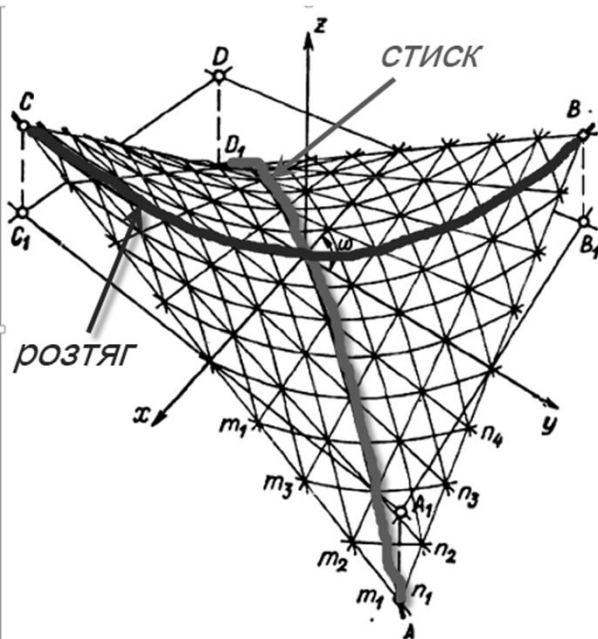
Стійкість оболонки вважається забезпеченою, якщо середня інтенсивність розподіленого навантаження q_{av} не перевищує її критичного значення q_{cr} .

$$q_{av} \leq q_{cr} = 0,05 E_b \cdot t^2 / (R_{av})^2,$$

де: E_b – початковий модуль пружності бетону;
 t – товщина оболонки;
 R_{av} – середній радіус кривизни головною опуклою параболи базової оболонки (уздовж діагоналі основи), обчислюється за співвідношенням:

$$R_{av} = (\ell^2 / 8f_p) + f_p / 2,$$

де: f_p – стріла підйому опуклою параболи оболонки, яка визначається в середині діагоналі базового гіпару;
 ℓ – довжина діагоналі основи базового гіпару.



ПЕРЕВІРКА СТІЙКОСТІ ОБОЛОНКИ, ЩО ДОСЛІДЖУЄТЬСЯ

- Перевіримо стійкість оболонки за співвідношенням $q_{av} \leq q_{cr} = 0,05 E_b \cdot t^2 / (R_{av})^2$,
- Обчислимо середній радіус кривизни головної опуклої параболи за :

$$\ell = (\alpha^2 + b^2)^{0,5} = (12^2 + 12^2)^{0,5} = 16,97 \text{ м.}$$

Обчислюємо стрілу підйому головної опуклої параболи базового гіпару. Максимальна стріла підйому f_p знаходиться в точці з координатами $x = \alpha/2$, $y = b/2$. За співвідношенням $R_{av} = (\ell^2/8f_p) + f_p/2$, знаходимо:

$$f_p = z(\alpha/2, b/2) = f \cdot (\alpha/2 \cdot b/2) / (\alpha b) = f / 4 = 4 / 4 = 1 \text{ м.}$$

$$R_{av} = \ell^2 / (8f_p) + f_p / 2 = 16,97^2 / (8 \cdot 1) + 1/2 = 36,5 \text{ м,}$$

Обчислюємо критичне навантаж $q_{cr} = 0,05 E_b \cdot t^2 / (R_{av})^2 = 0,05 \cdot 30000 \cdot (100) \cdot 0,05^2 / (36,5)^2 = 0,281 \text{ т/м}^2 = 2810 \text{ Н/м}^2$.

Повне розрахункове навантаження на оболонку:

$$q_{av} = 507 + 1375 + 1867,32 = 37849,32 \text{ Н/м}^2.$$

$$q_{cr} = 2810 \text{ Н/м}^2 < 37849,32 \text{ Н/м}^2.$$

Стійкість оболонки не забезпечена. Збільшуємо товщину оболонки до $t = 7 \text{ см}$.

ПЕРЕВІРКА СТІЙКОСТІ СТИСНУТИХ ЗОН ОБОЛОНКИ

- Перераховуємо повне розрахункове навантаження на оболонку:

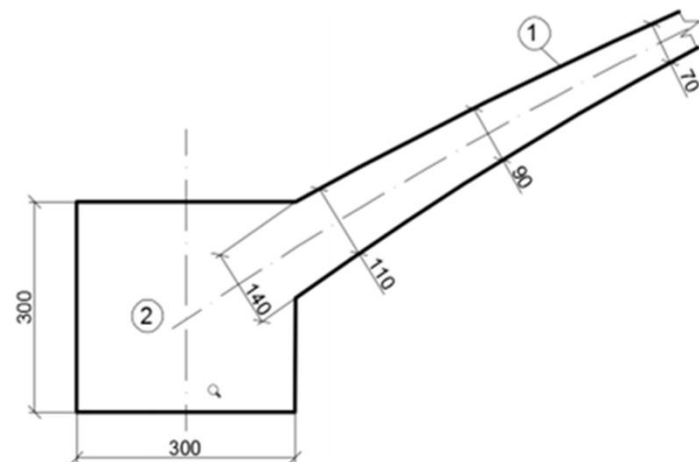
$$q_{av} = 507 + (0,07 \cdot 25000 \cdot 1,1) + 1867,32 = 4299,32 \text{ Н/м}^2$$

$$q_{cr} = 0,05 E_b \cdot \frac{t^2}{(R_{av})^2} = 0,05 \cdot 30000 \cdot 100 \cdot \frac{0,07^2}{(36,5)^2} = 0,5516 \frac{\text{Т}}{\text{м}^2} = 5516 \text{ Н/м}^2$$

Висновок: Стійкість забезпечена

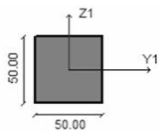
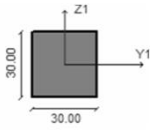
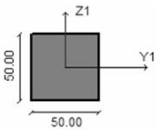
Товщина оболонки в місці примикання до бортового елемента на ширині 1,0 м плавно змінюється від 14 см до 7 см (для кінцевоелементної схеми: в смузі 0,5 м від контурного елемента – 11 см, в смузі від 0,5 м до 1 м – 9 см)

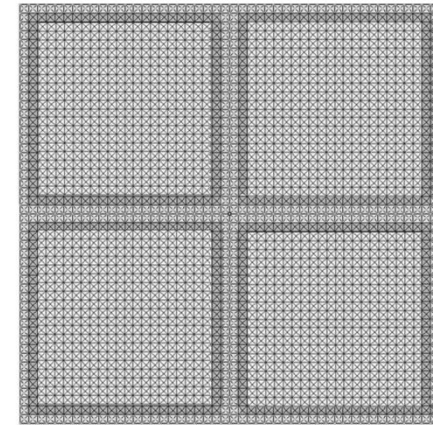
Рис. Примикання оболонки до бортового елемента: 1 – оболонка; 2 – бортовий елемент



ЖОРСТКІСНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕЛЕМЕНТІВ СХЕМИ

Характеристики жорсткостей конструктивних елементів оболонки

Назва елемента	Поперечний переріз, см	$E, \tau/\text{м}^2$	$R, \tau/\text{м}^3$	μ
1.Тонкостінна оболонка змінної товщини	7,9,11	$3,06 \cdot 10^6$	2,5	0,2
2.Бортовий елемент	30×30 	$3,06 \cdot 10^6$	2,5	0,2
3.Розжолобок	30×30 	$3,06 \cdot 10^6$	2,5	0,2
4.Колона	50×50 	$3,06 \cdot 10^6$	2,5	0,2



Розподіл товщини оболонки:

 1. – товщина поля 7 см;

 1. – товщина поля 9 см;

 1. – товщина поля 11 см;

РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЛОВОГО ЕКСПЕРИМЕНТУ

Головні напруження N1 за різних схем завантаження

Схема №1

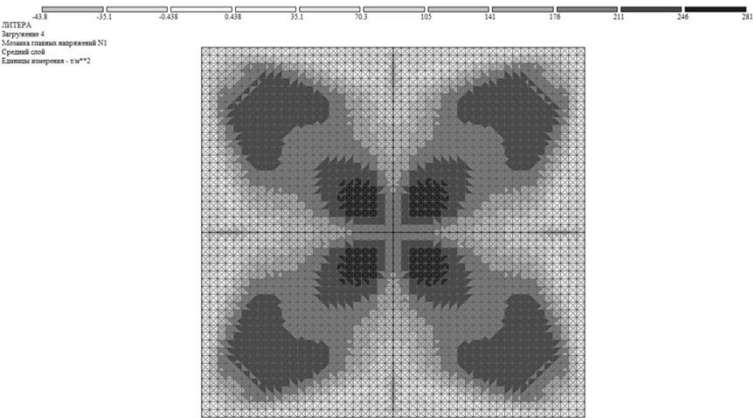


Схема №2

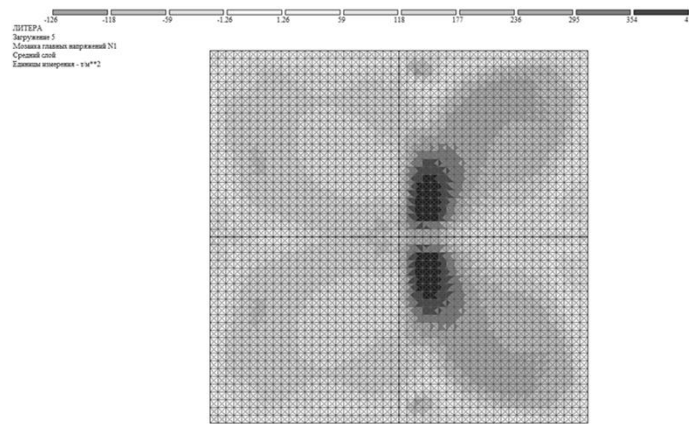


Схема №3

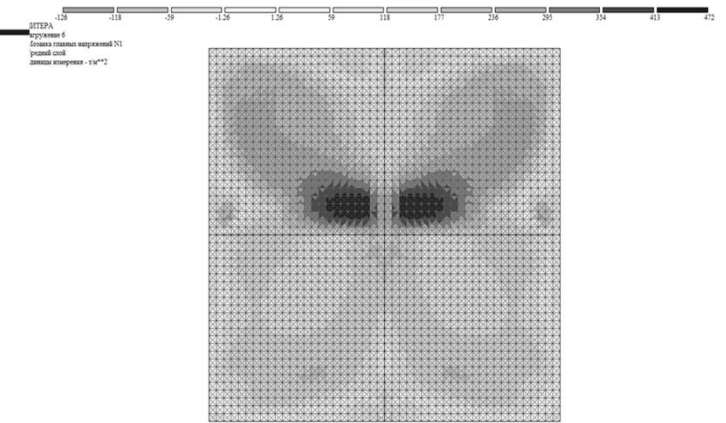


Схема №4

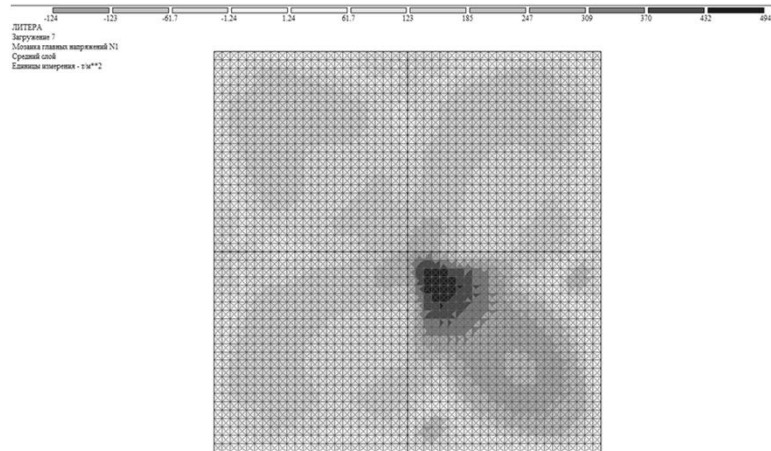


Схема №5

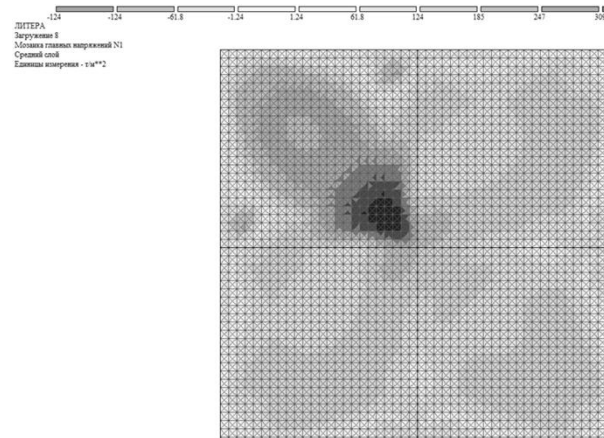
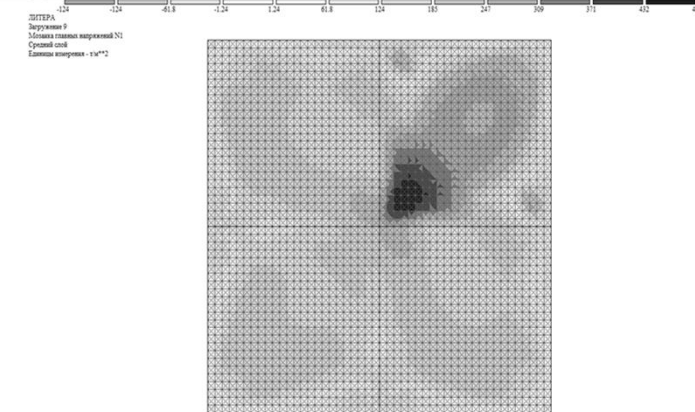


Схема №6



Головні напруження N1 за різних схем завантаження

Схема №7

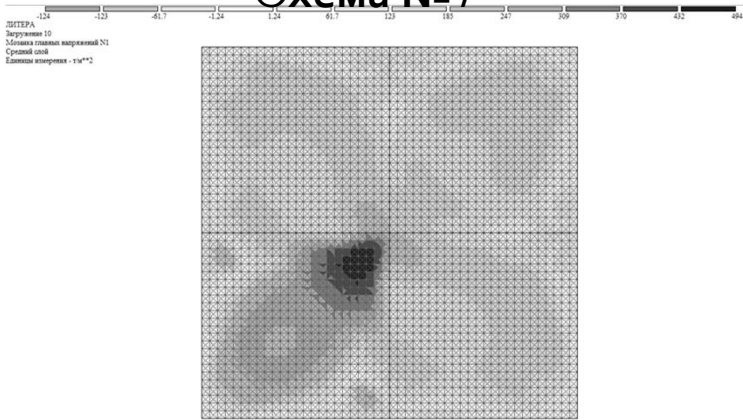
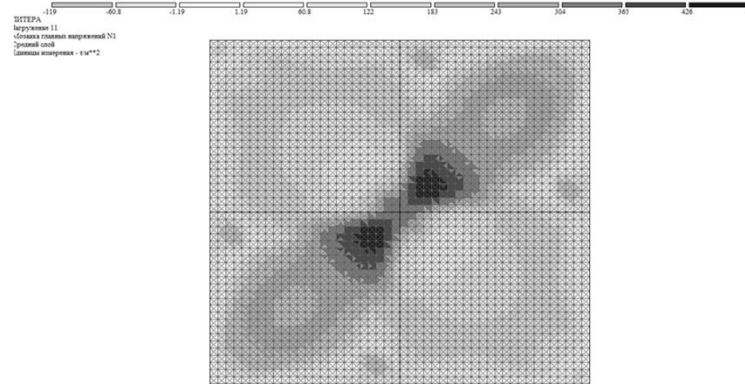
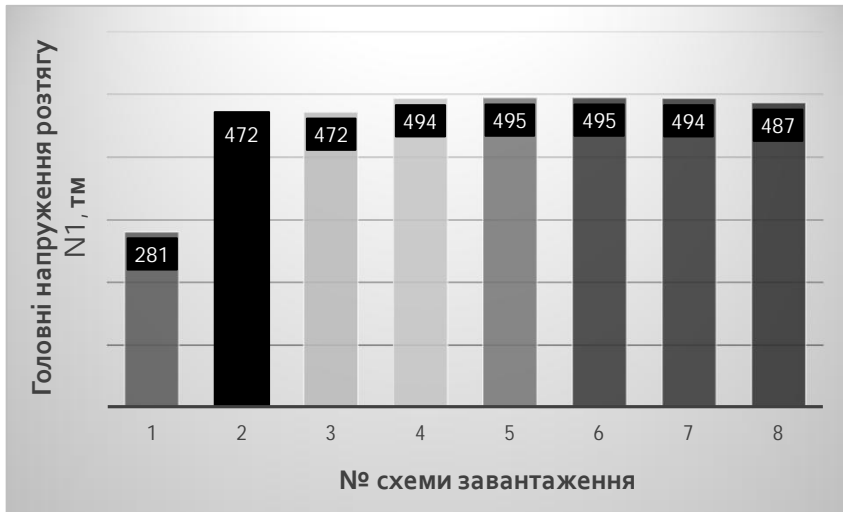


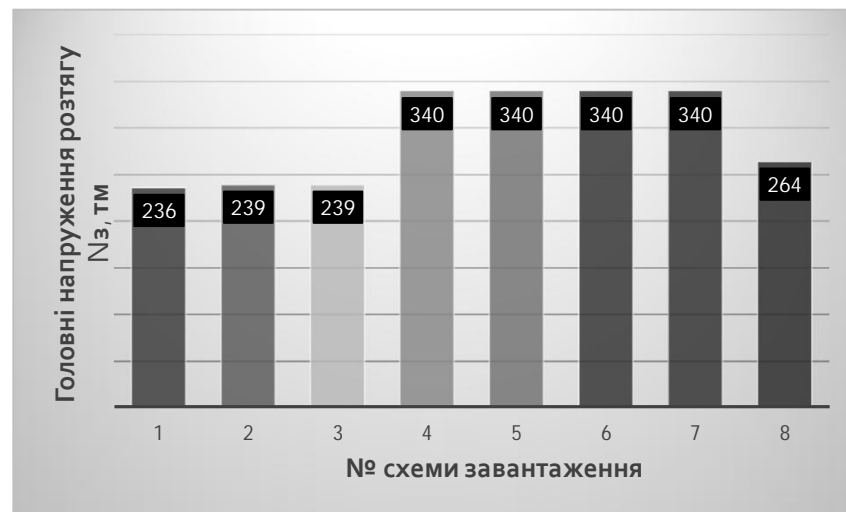
Схема №8



Максимальні напруження розтягу за N1 (тМ)



Максимальні напруження розтягу за N3 (тМ)



Головні напруження N3 за різних схем завантаження

Схема №1

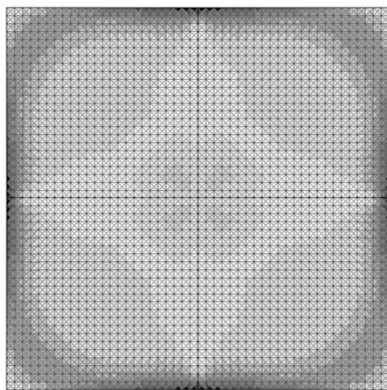
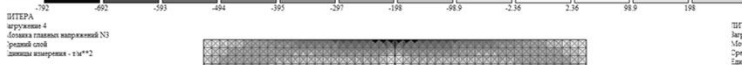


Схема №2

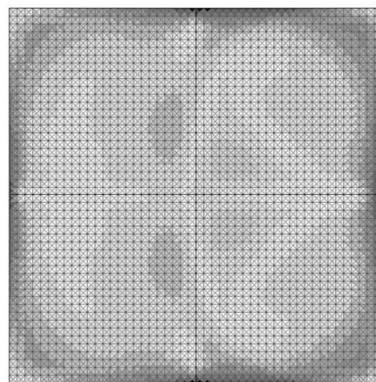
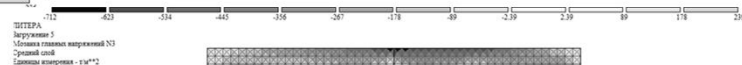


Схема №3

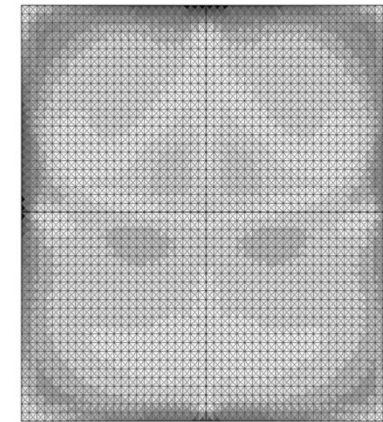
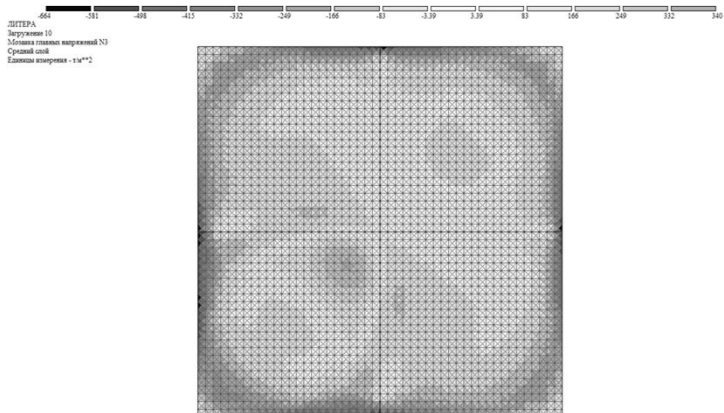


Схема №4



Головні напруження N3 за різних схем завантаження

Схема №7



Максимальні напруження стиску за N1 (т·м)

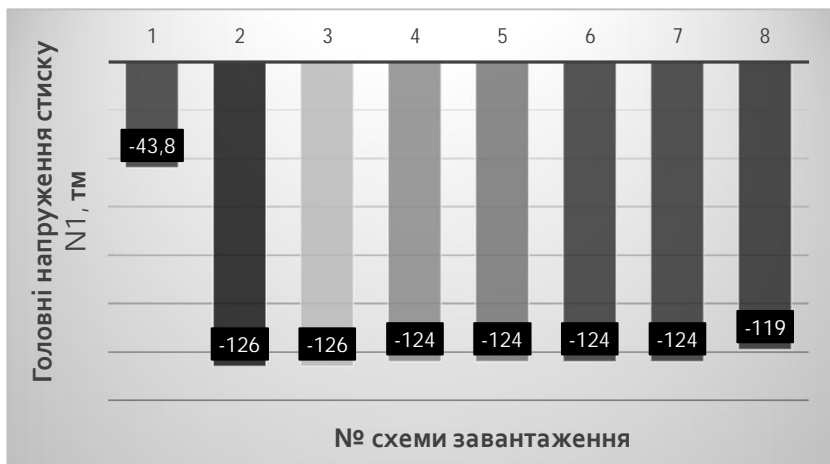
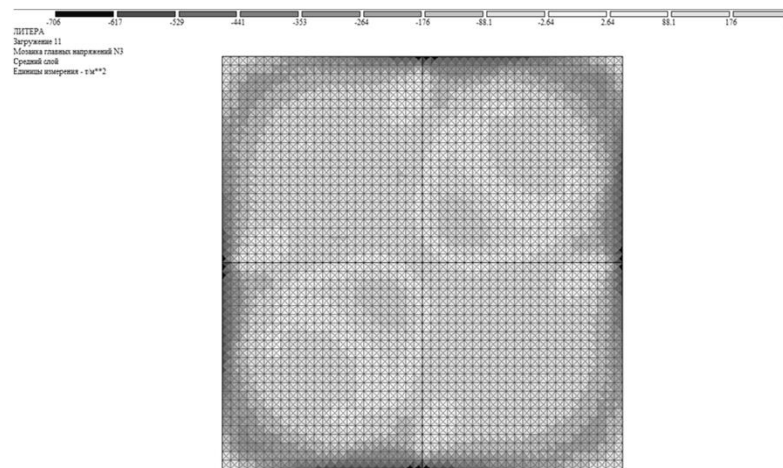
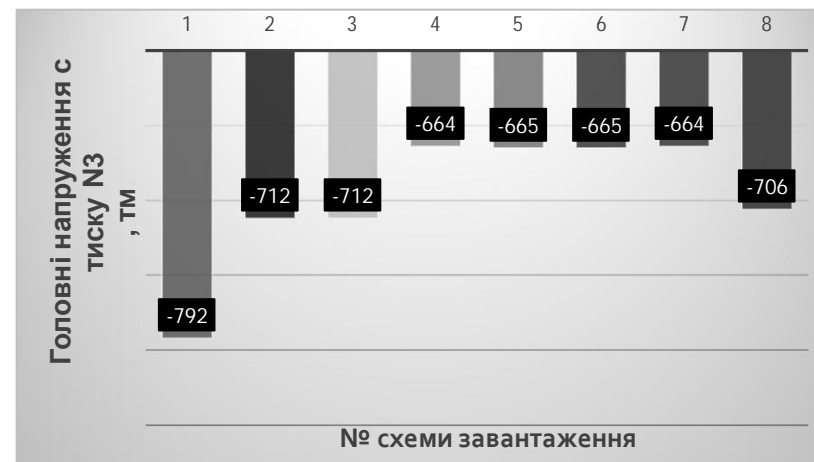


Схема №8

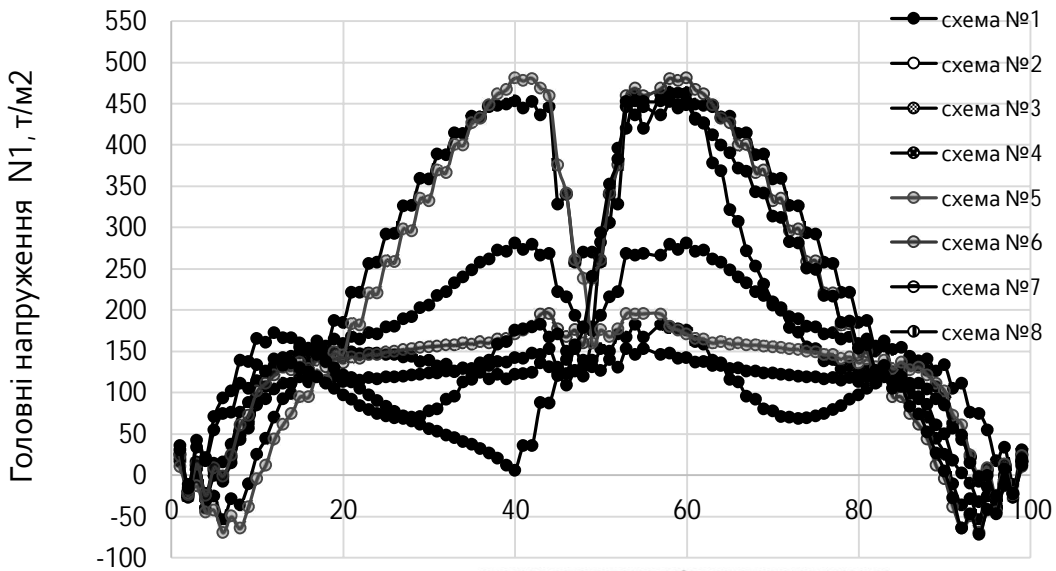


Максимальні напруження стиску за N3 (т·м)

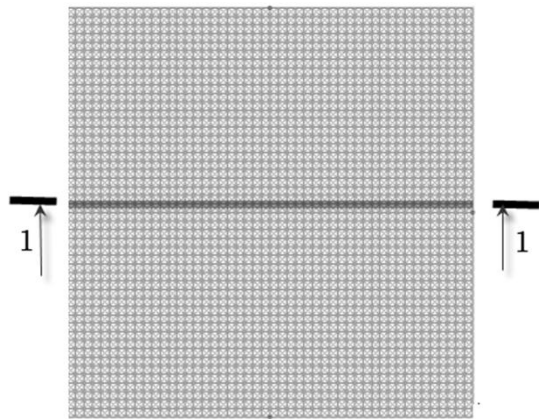
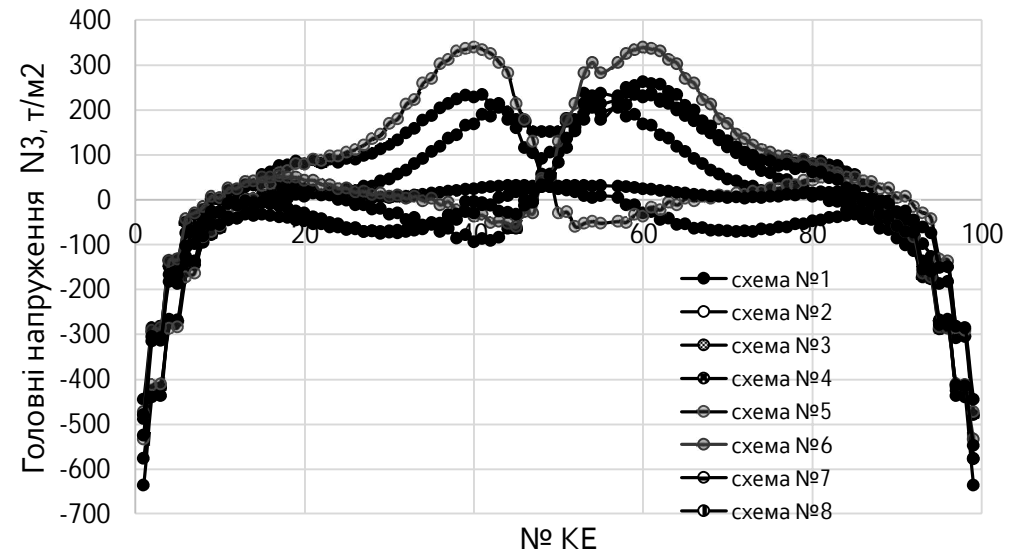


-
- Головні напруження розтягу за напрямком дії напружень N_1 значним збільшуються в 1,67–1,75 рази у всіх несиметрично завантажених схемах. За напрямком дії головних напружень розтягу N_3 для схем завантажених на $\frac{1}{2}$ поля конструкції (схеми №№ 2,3) напруження розтягу майже дорівнюють напруженням розтягу, що виникають в симетрично завантаженій схемі. Але для схем, завантажених на чверть поля оболонки, (схеми №№ 4,5,6) напруження розтягу збільшуються в 1,44 рази
 - Загалом, для всіх схем завантаження напруження розтягу перевищують опір бетону на розтяг: для симетрично завантаженої схеми – в 2,36-2,81 рази, а для несиметрично завантажених схем – в 3,4–4,95 рази.
 - Так, за максимальними напруженнями розтягу та за картиною їх розташування була підібрана площа робочої арматури (рис.4.5–4.6).
 - Напруження стиску, як за напрямком дії напружень N_1 , так і напружень N_3 , не перевищують розрахунковий опір бетону на стиск $f_{cd}=14,5 \text{ МПа}=1478,08 \text{ т/м}^2$

Головні напруження N1 в перерізі 1-1



Головні напруження N3 в перерізі 1-1



Переріз 1-1, в якому визначаються напруження

Різниця між головними напруженнями СТИСКУ в симетрично завантаженій схемі та несиметрично завантаженими схемами

Напру- женн головне, т/м ²	№1	№2	Різниця , %	№1	№3	Різниця, %
N1	-43,8	-126	187,7	-43,8	-126	187,7
N3	-792	-712	11,23	-792	-712	11,23

Напру- женн головне, т/м ²	№1	№4	Різниця , %	№1	№5	Різниця, %
N1	-43,8	-124	183,1	-43,8	-124	183,1
N3	-792	-664	19,3	-792	-665	19,1

Напр у- ження голов не, т/м ²	№1	№6	Різни ця, %	№1	№7	Різни ця, %	№1	№8	Різни ця, %
N1	-43,8	-124	183,1	-43,8	-124	183,1	-43,8	-119	171,7
N3	-792	-665	19,1	-792	-664	19,3	-792	-706	12,2

Різниця між головними напруженнями РОЗТЯГУ в симетрично завантаженій схемі та несиметрично завантаженими схемами

Напруження головне, т/м ²	№1	№2	Різниця, %	№1	№3	Різниця, %
N1	281	472	68	281	472	67,8
N3	236	239	1,3	236	239	1,3

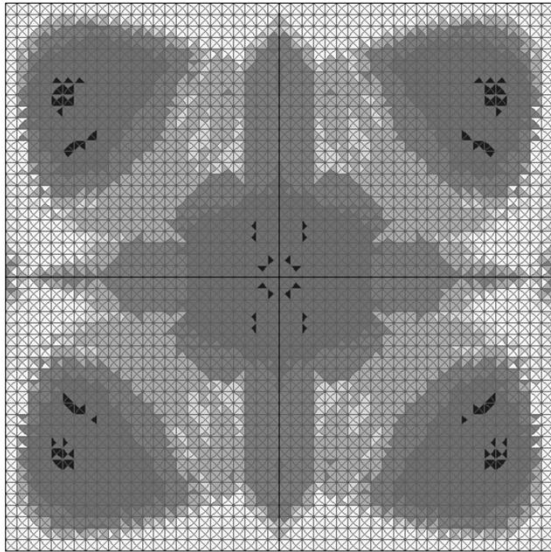
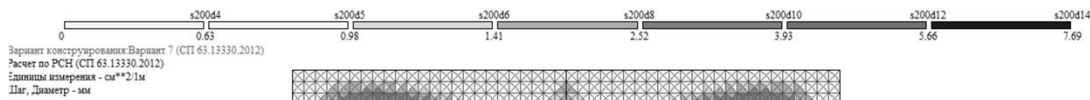
Напруження головне, т/м ²	№1	№4	Різниця, %	№1	№5	Різниця, %
N1	281	494	75,8	281	495	76,15
N3	236	340	44,07	236	340	44,06

Напруження головне, т/м ²	№1	№6	Різниця, %	№1	№7	Різниця, %	№1	№8	Різниця, %
N1	281	495	76,15	281	494	75,8	281	487	73,3
N3	236	340	44,07	236	340	44,06	236	264	11,86

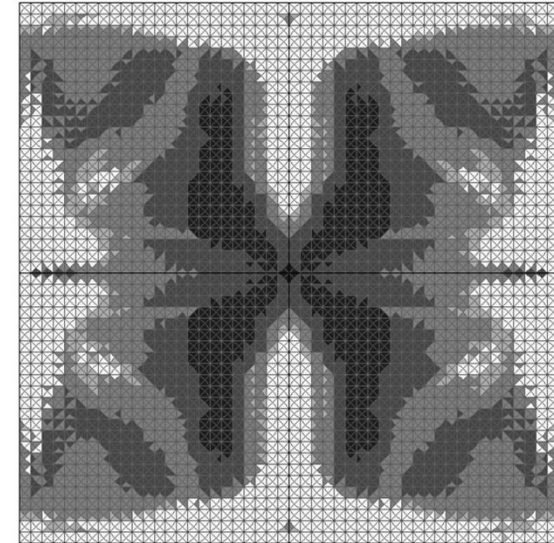
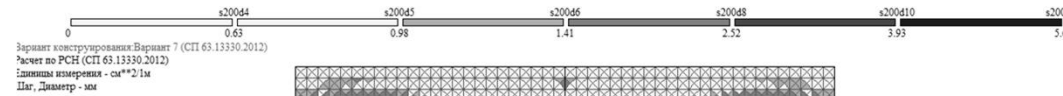
Армування оболонки

За величинами головних напружень розтягу за нормами ДБН В.2.6-98:2009 з використанням модуля Ларм-САПР 2013 була підібрана робоча арматура для поля оболонки для найбільш несприятливих схем її завантаження

Площа верхньої арматури на 1 м.п. з урахуванням тріщиностійкості за напрямком осі X



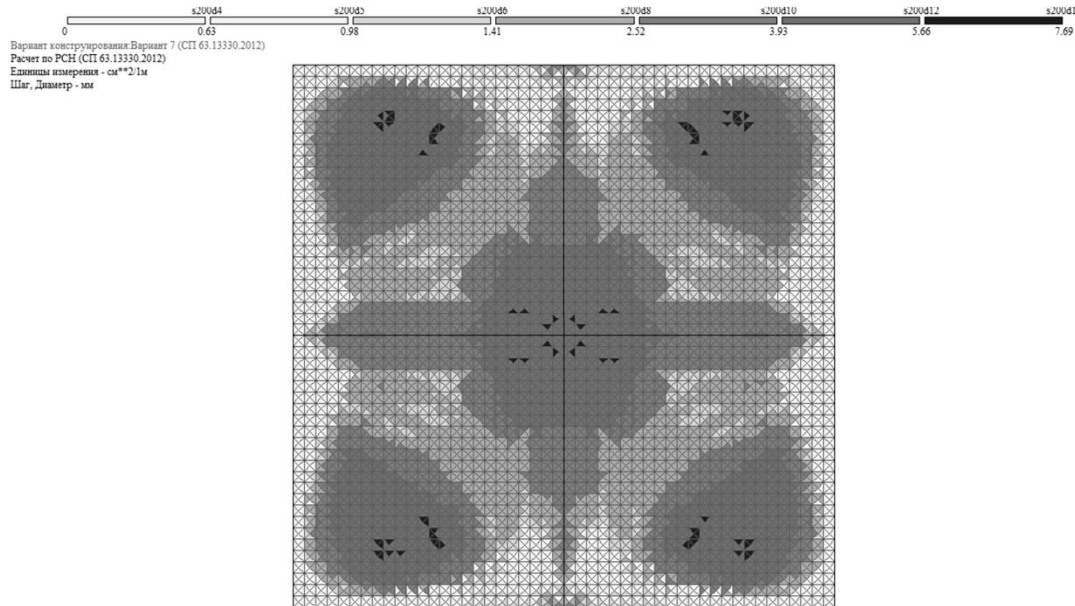
Площа нижньої арматури на 1 м.п. з урахуванням тріщиностійкості за напрямком осі X



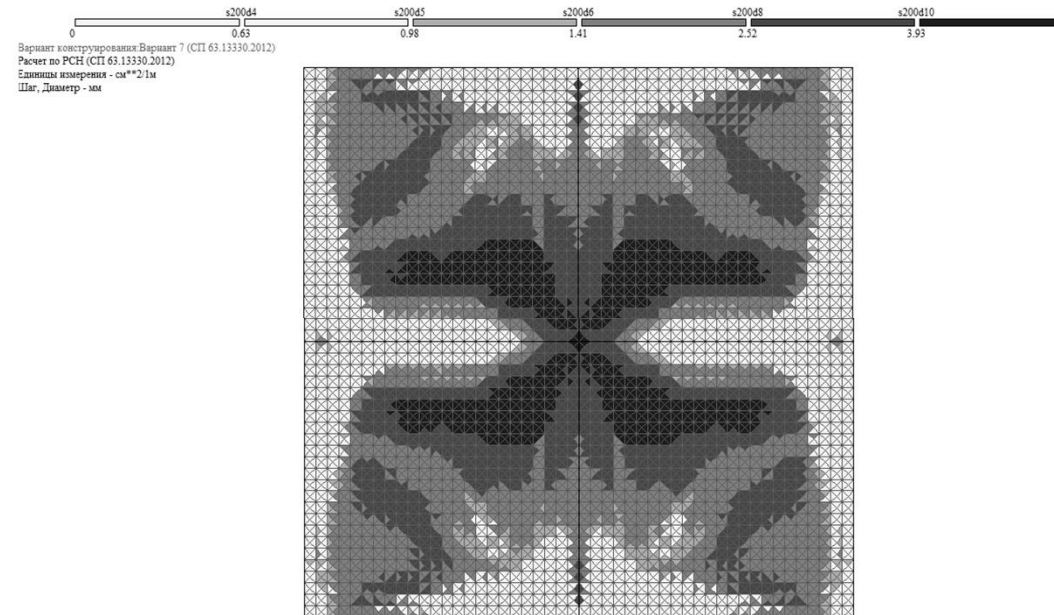
Армування оболонки

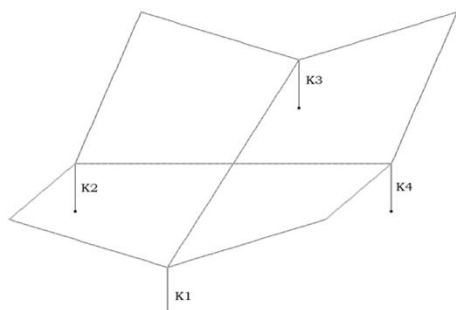
За величинами головних напружень розтягу за нормами ДБН В.2.6-98:2009 з використанням модуля Ларм-САПР 2013 була підібрана робоча арматура для поля оболонки для найбільш несприятливих схем її завантаження

Площа верхньої арматури на 1 м.п. з урахуванням тріщиностійкості за напрямком осі У

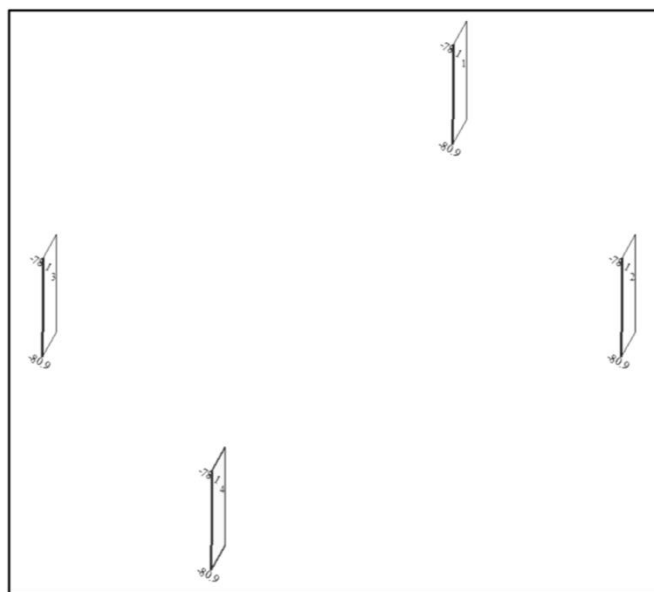


Площа нижньої арматури на 1 м.п. з урахуванням тріщиностійкості за напрямком осі У

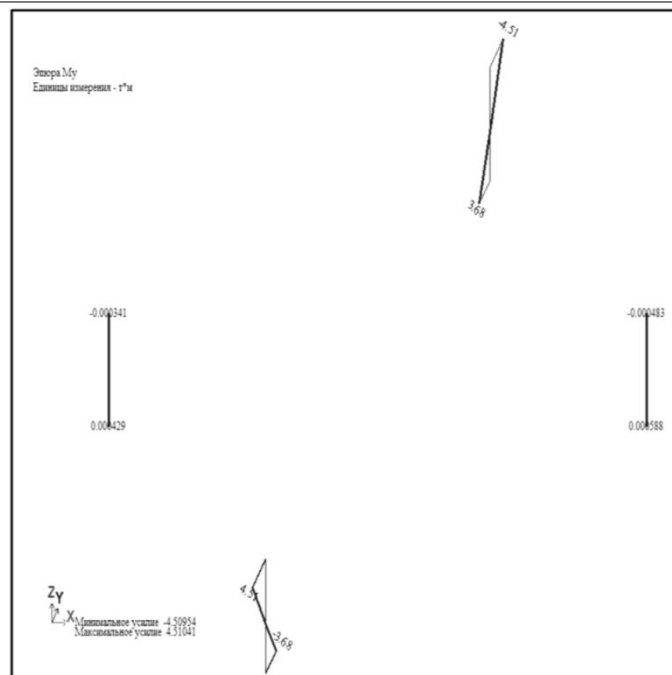




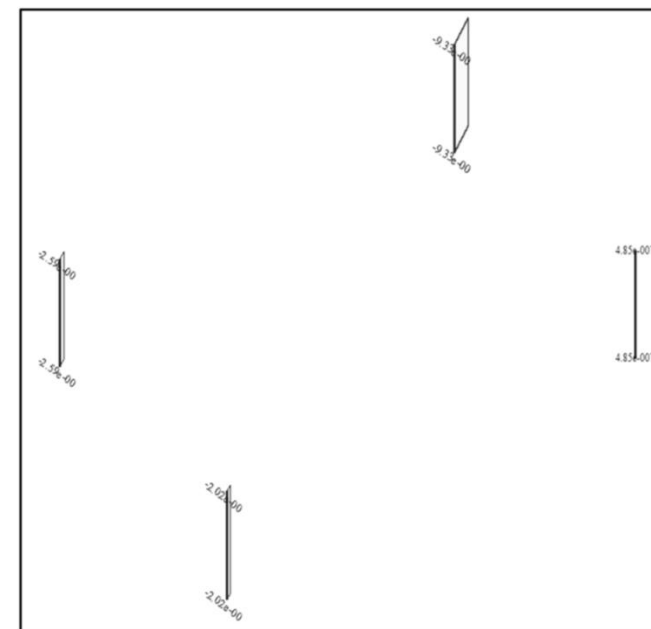
АНАЛІЗ ЗУСИЛЬ У КОЛОНАХ



Епюри поздовжньої сили N в колонах розрахункової схеми для схеми завантаження №1



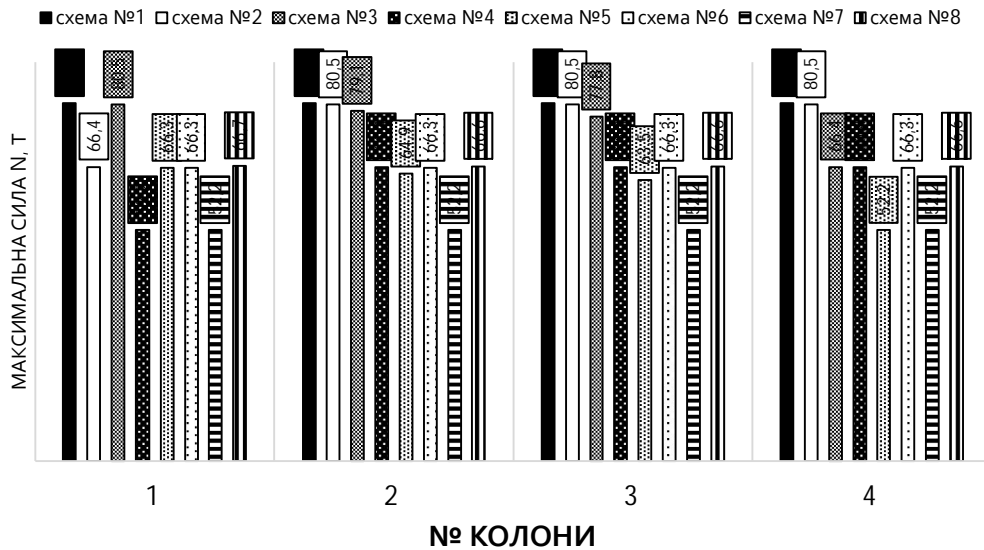
Епюри моменту вигину M_y в колонах розрахункової схеми для схеми завантаження №1



Епюри крутного моменту M_x в колонах розрахункової схеми для схеми завантаження №1

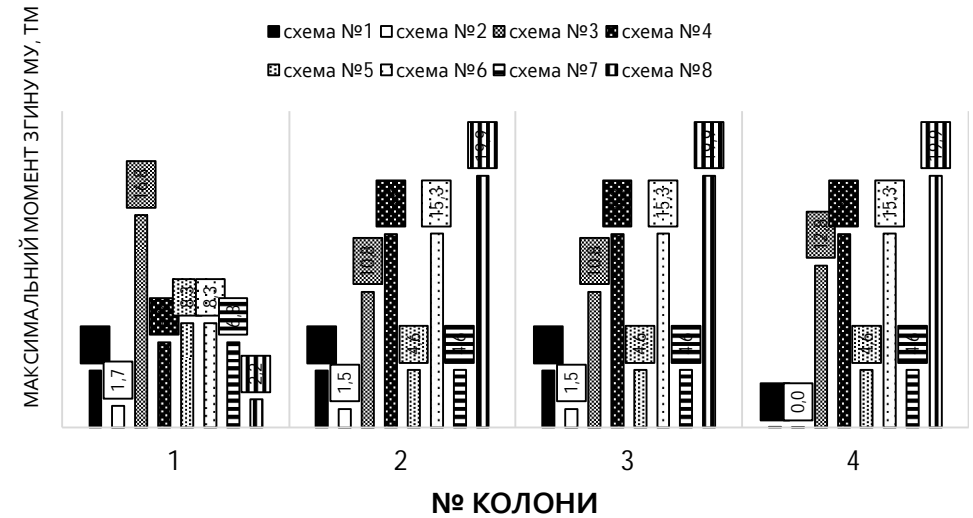
- Було вибрано максимальні абсолютні значення зусиль в колонах та відслідкована їх зміна в усіх колонах в залежності від способу прикладення снігового навантаження. Ці дані наведено на рисунках

СТИСКАЮЧА СИЛА N , Т



Абсолютні максимальні значення зусилля стиску N в колонах розрахункової моделі в залежності від схеми прикладення снігового навантаження

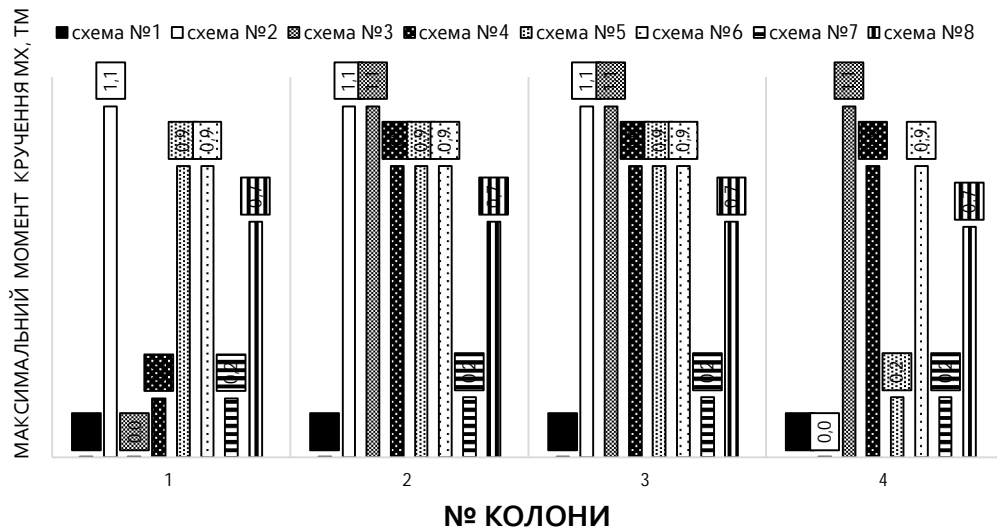
МОМЕНТ ВИГИНУ M_u , (ТМ)



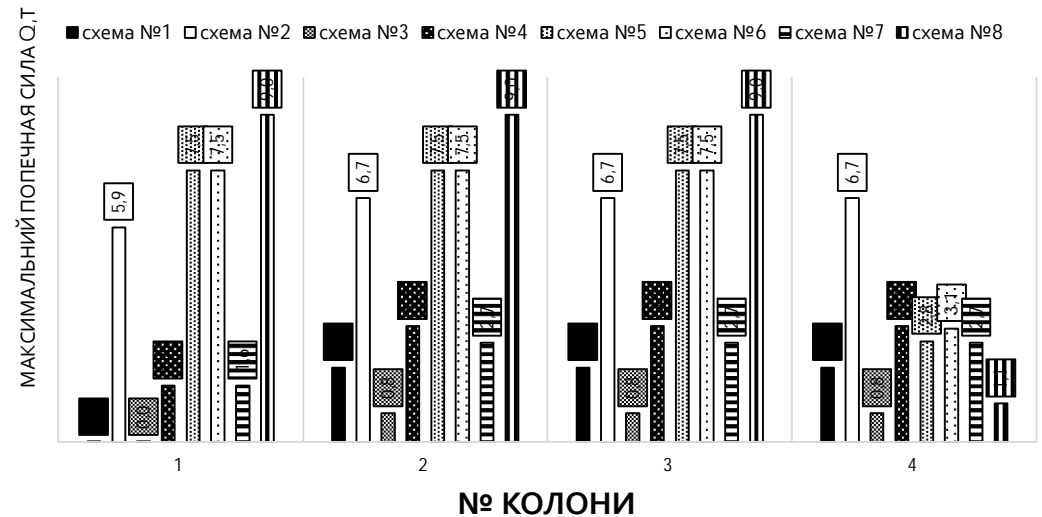
Абсолютні максимальні значення моменти вигину M_u в колонах розрахункової моделі в залежності від схеми прикладення снігового навантаження

- Було вибрано максимальні абсолютні значення зусиль в колонах та відслідкована їх зміна в усіх колонах в залежності від способу прикладення снігового навантаження. Ці дані наведено на рисунках

КРУТНИЙ МОМЕНТ МК, (ТМ)



ПОПЕРЕЧНА СИЛА Q, Т



Абсолютні максимальні значення крутного моменту M_k в колонах розрахункової моделі в залежності від схеми прикладення снігового навантаження

Абсолютні максимальні значення поперечної сили Q_u в колонах розрахункової моделі в залежності від схеми прикладення снігового навантаження

Не симетричний спосіб прикладення снігового навантаження не викликає збільшення осьового зусилля стиску для колон моделі оболонки. В першій та четвертій колонах для схем завантаження на $\frac{1}{4}$ поля оболонки №№4,7 зусилля N навіть зменшуються на 55%.

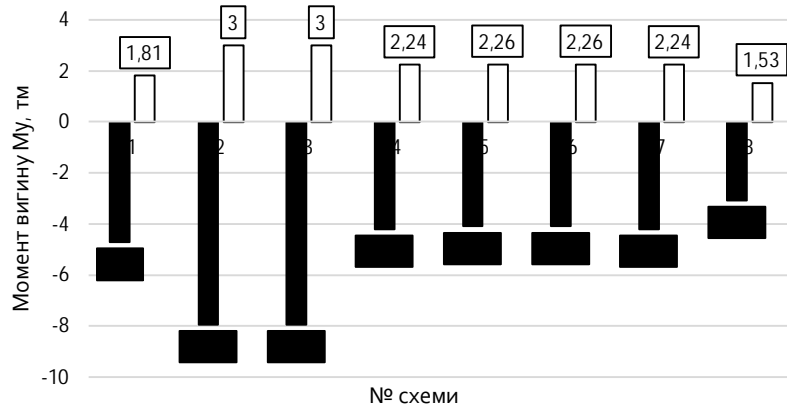
Графік максимальних моментів вигину свідчить про те, що для більшості схем прикладення несиметричного навантаження в колонах моменти згину суттєво збільшуються. Так при завантаженні за схемою №8 (завантажено снігом одночасно дві чверті по діагоналі) моменти згину в 2-й, 3-й, 4-й колонах збільшилися в 4,4 рази. Для інших схем таке збільшення становить від 51,1 % до 273%

У всіх колонах симетричне завантаження снігом поля оболонки не викликає крутних моментів, але несиметричне його прикладення **викликає крутні моменти** в усіх колонах моделі.

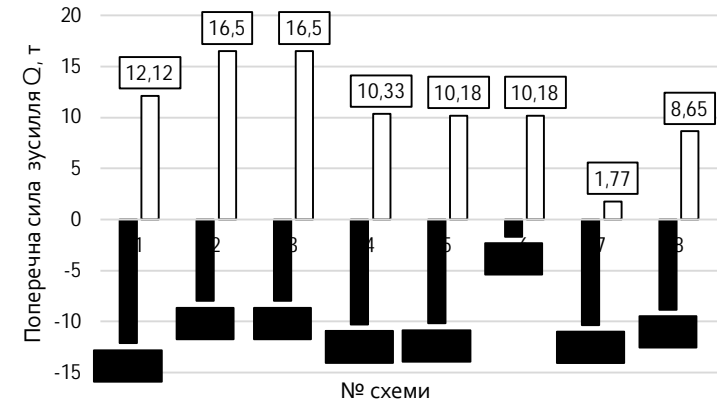
Максимальна поперчена сила збільшується в колонах несиметрично завантажених схем у 1,6–4,5 рази.

ЗУСИЛЛЯ В РОЗЖОЛОБКАХ

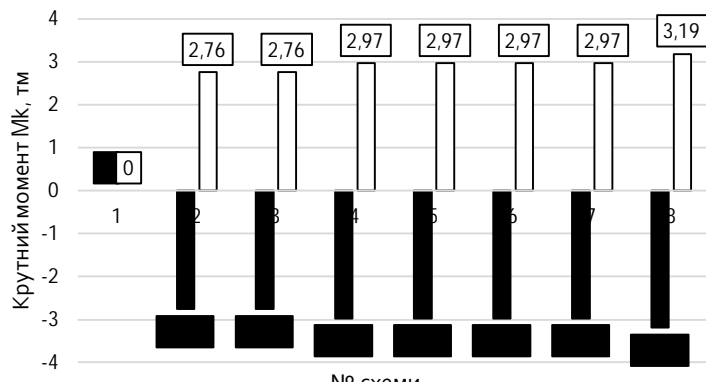
Максимальні моменти вигину M_u , (тм)



Максимальна поперечна сила Q , т



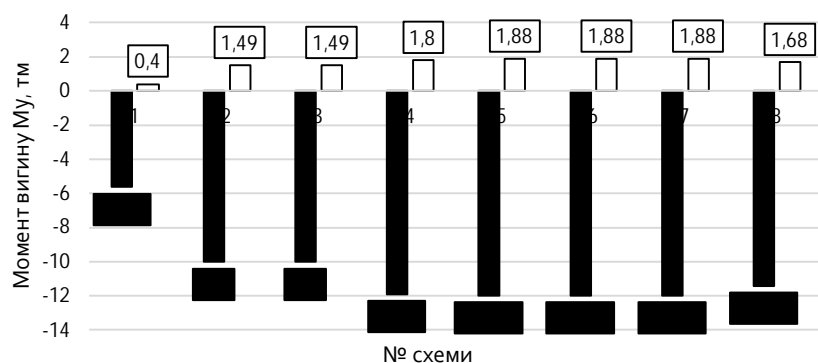
Максимальні крутні моменти M_k (тм)



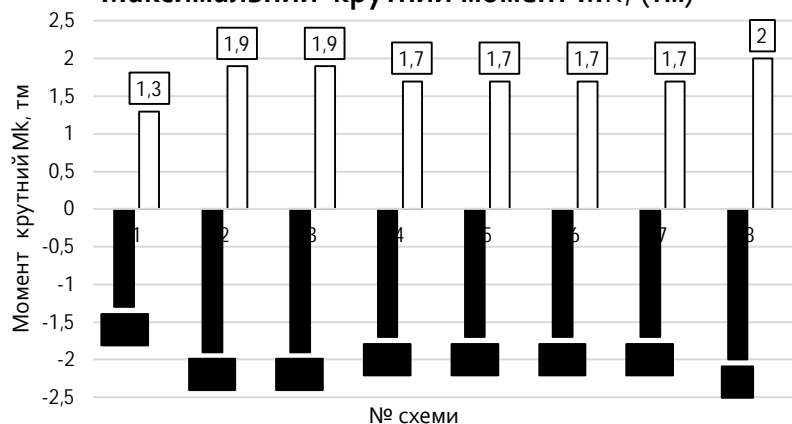
В розжолобках при несиметричному завантаженні системи моменти збільшуються в 1,69 рази, а поперечна сила при завантаженні поля на половину (схема №№ 2,3) збільшується в 1,36 рази. При симетричному навантаженні крутні моменти балках-розжолобках відсутні, але прикладення навантаження на частину оболонки викликає появу в них значних крутних моментів.

ЗУСИЛЛЯ В БОРТОВИХ ЕЛЕМЕНТАХ

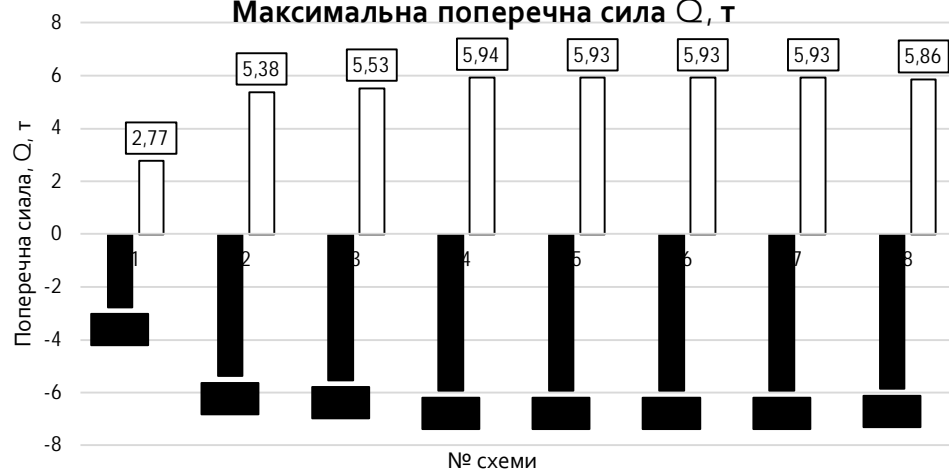
Максимальні моменти вигину M_y , (тм)



Максимальний крутний момент M_k , (тм)

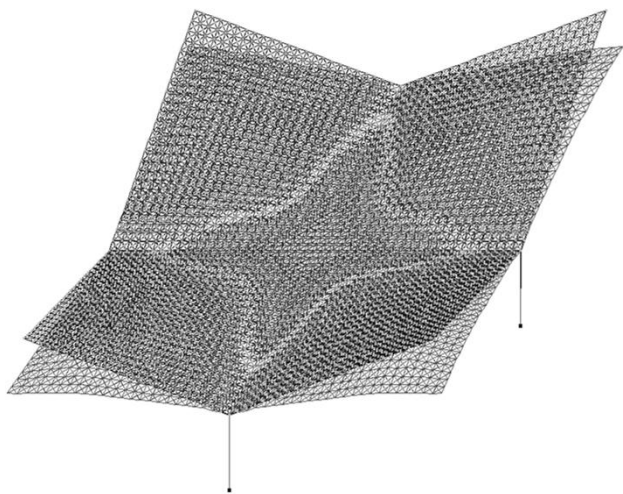


Максимальна поперечна сила Q , т

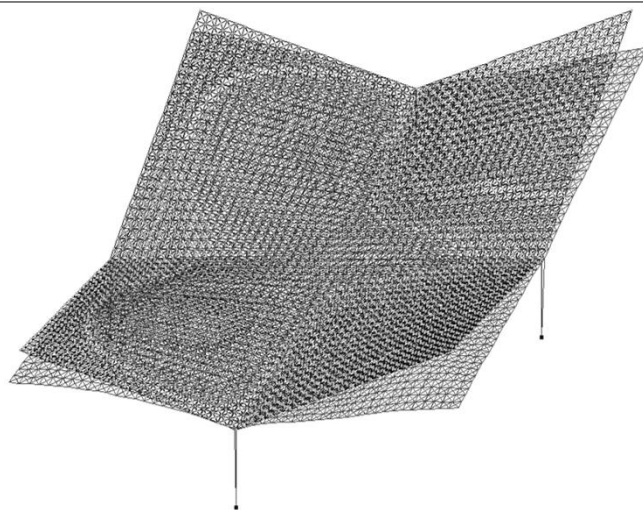


В бортових елементах максимальні моменти вигину при несиметричному завантаженні поля збільшуються до 2,13 рази, а поперечна сила зростає у 2,0–2,14 рази. Крутні моменти в бортових ребрах виникають як при симетричному, так і не при симетричному завантаженні. При завантаженні снігом на $\frac{1}{2}$ поля оболонки вони збільшуються в 1,46 рази, а при завантаженні поля на $\frac{1}{4}$ частину – в 1,3–1,5 рази.

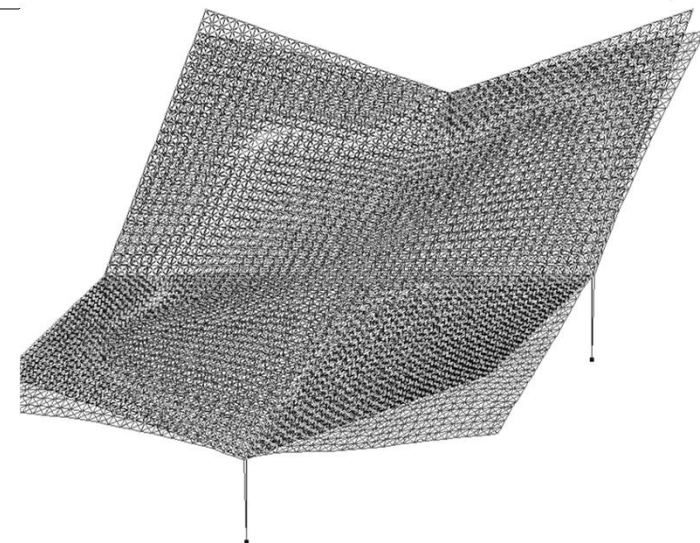
ДЕФОРМАТИВНІСТЬ СИСТЕМИ



Вихідна та деформована схеми
оболонки від завантаження за
схемою №1



Вихідна та деформована
схеми оболонки від
завантаження за схемою №2



Вихідна та деформована
схеми оболонки від
завантаження за схемою №4

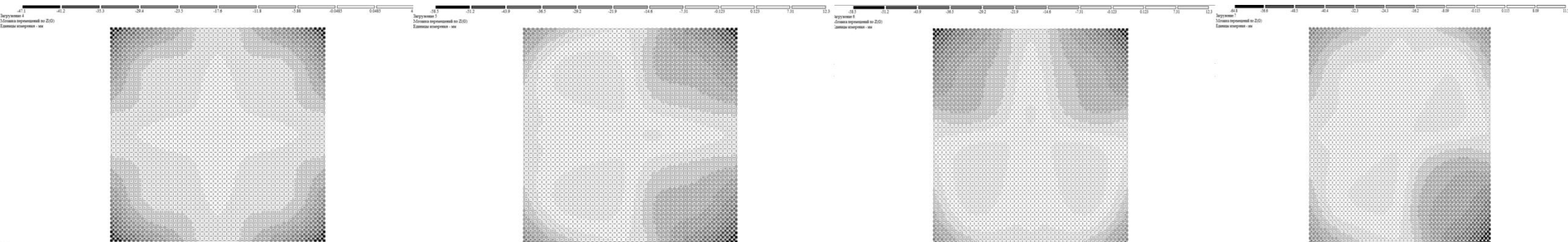


Схема №1

Схема №2

Схема №3

Схема №4

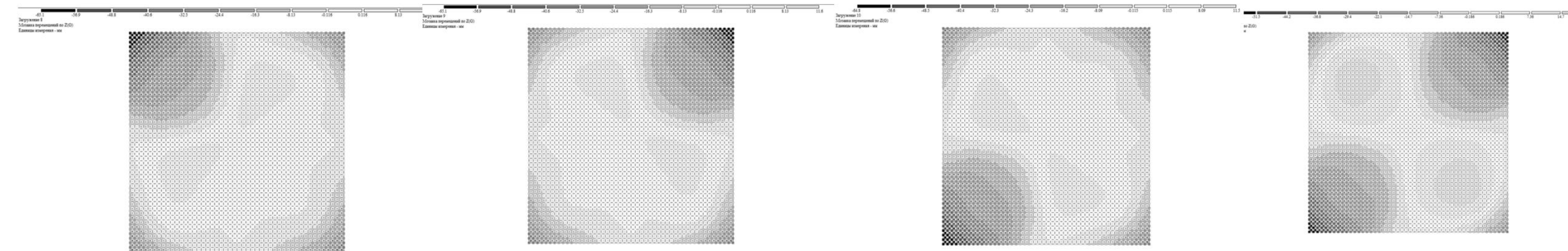


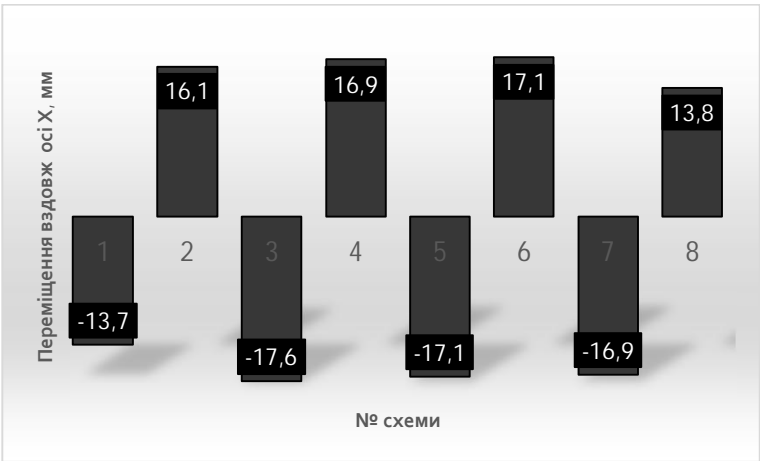
Схема №5

Схема №6

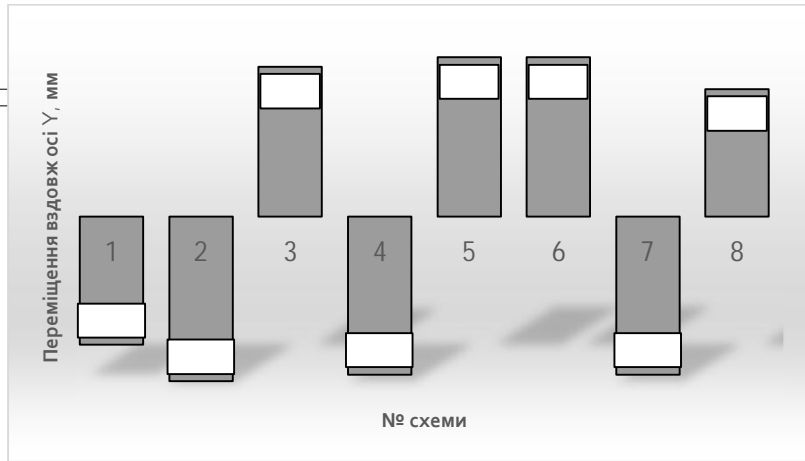
Схема №7

Схема №8

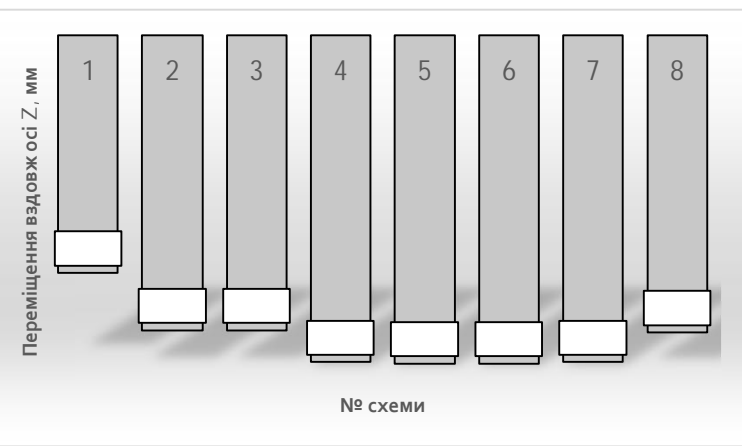
Мозаїка переміщень вузлів гіперболічної оболонки здовж осі Z для різних схем завантажень



Максимальні переміщення вузлів схеми вздовж осі **X**



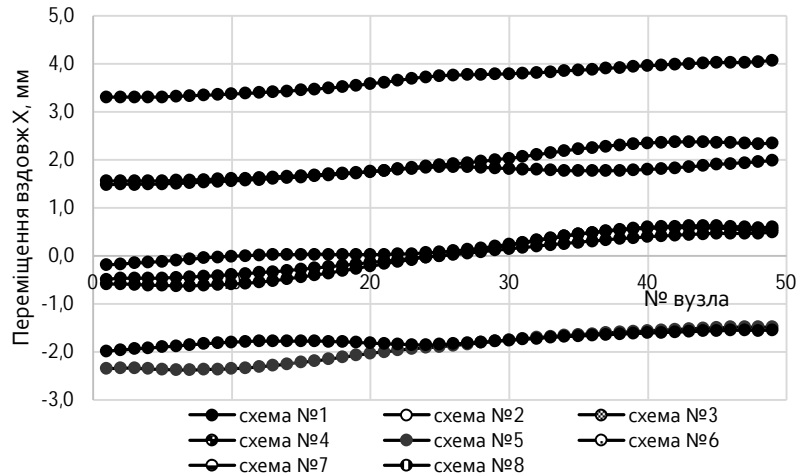
Максимальні переміщення вузлів схеми вздовж осі **Y**



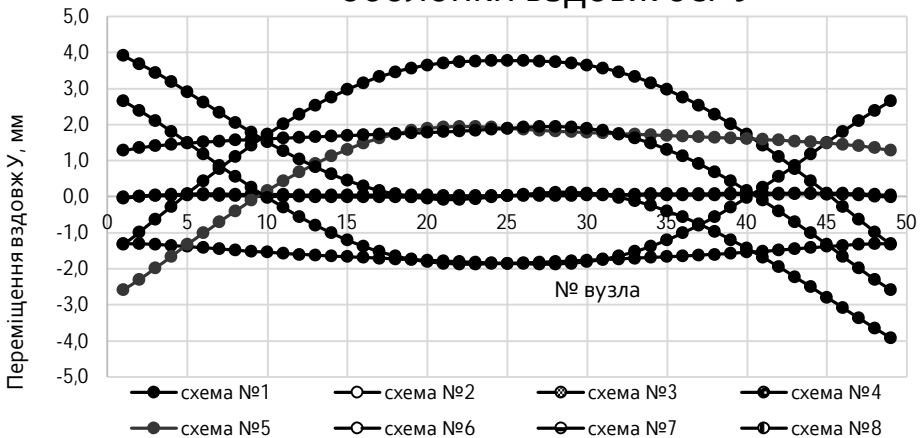
Максимальні переміщення вузлів схеми вздовж осі **Z**

Різниця між максимальними переміщеннями вздовж осі Z становить 38,21 %. Значення максимальних переміщень для всіх схем не перевищують максимально допустимого переміщення точок оболонки по вертикалі. Різниця між максимальними переміщеннями по осі X та Y становить 28,5 %.

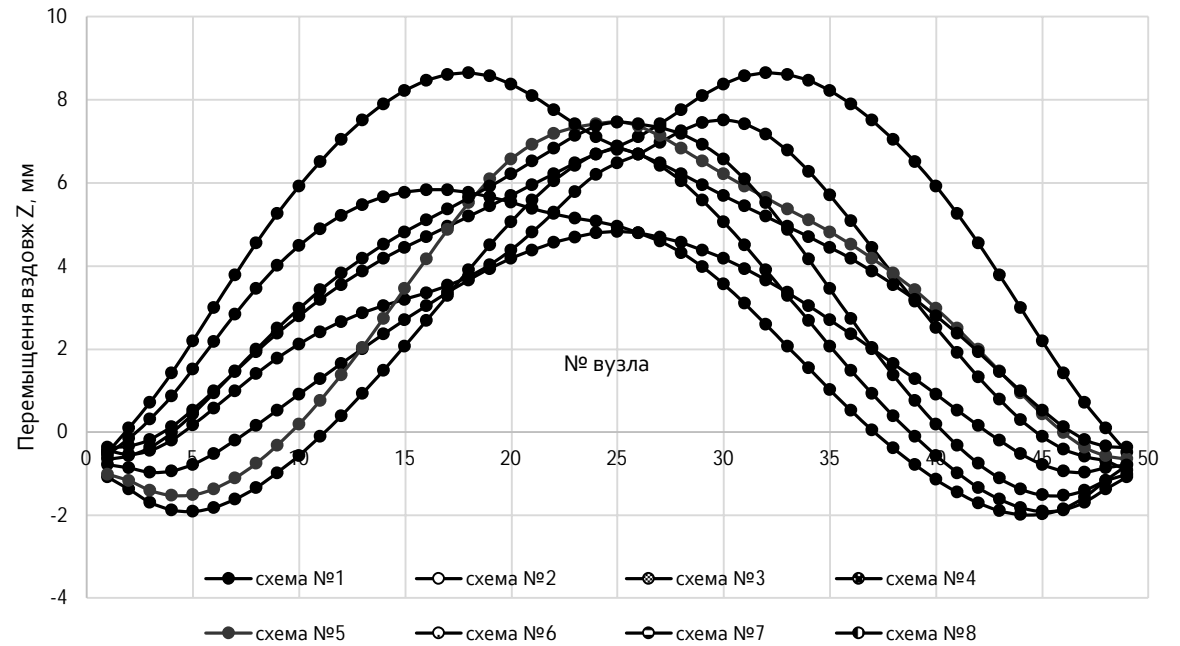
Переміщення вузлів КЕ схеми
оболонки вздовж осі X



Переміщення вузлів КЕ схеми
оболонки вздовж осі Y



Переміщення вузлів КЕ схеми
оболонки вздовж осі Z



Оболонка є найменш деформативною при завантаженні її рівномірно прикладеним сніговим навантаженням на все поле (схема №1).

Таким чином, вертикальні прогини оболонки за різних схем її завантаження знаходяться в допустимих межах.

ВИСНОВКИ

- Досвід проектування показує, що оболонки у вигляді гіперболічних параболоїдів раціональніше виконувати монолітному залізобетоні. Поверхня гіпару є відносно простою в розрахунку та конструюванні, оскільки зусилля в оболонці майже не змінюються.
- Загалом, для всіх схем завантаження напруження розтягу перевищують опір бетону на розтяг: для симетрично завантаженої схеми – в 2,36-2,81 рази, а для несиметрично завантажених схем – в 3,4–4,95 рази.
- Головні напруження розтягу за напрямком дії напружень N_1 значним чином збільшуються в 1,67–1,75 рази у всіх несиметрично завантажених схемах. За напрямком дії головних напружень розтягу N_3 для схем завантажених на $\frac{1}{2}$ поля конструкції (схеми №№ 2,3) напруження розтягу майже дорівнюють напруженням розтягу, що виникають в симетрично завантажених схемі. Але для схем, завантажених на чверть поля оболонки, (схеми №№ 4,5,6) напруження розтягу збільшуються в 1,44 рази.

- За максимальними напруженнями розтягу та за картиною їх розташування була підібрана площа робочої арматури.
- Напруження стиску, як за напрямком дії напружень N_1 , так і напружень N_3 , не перевищують розрахунковий опір бетону на стиск $f_{cd}=14,5 \text{ МПа}=1478,08 \text{ т/м}^2$
- При несиметричному прикладенні навантаження на поле оболонки головні напруження стиску N_1 збільшуються для усіх схем на 183 %, а за напрямком дії головних напружень стиску N_3 – на величини від 11,3% до 19,3%. Напруження розтягу в несиметрично завантажених схемах збільшуються в порівнянні із завантаженням на все поле оболонки за напрямком дії головних напружень розтягу N_1 на 76,2%, а головні напруження розтягу N_3 на 44%.
- Несиметричне завантаження гіперболічної оболонки за будь-якою схемою призводить до суттєвого збільшення напружень як розтягу, так і стиску.

- При завантаженні за схемою №8 (завантажено снігом одночасно дві чверті по діагоналі) моменти згину в 2-й, 3-й, 4-й колонах збільшилися в 4,4 рази. Для інших схем таке збільшення становить від 51,1 % до 273%.
- У всіх колонах симетричне завантаження снігом поля оболонки не викликає крутних моментів, але не симетричне його прикладення викликає крутні моменти в усіх колонах моделі. Максимальна поздовжня сила збільшується в колонах несиметрично завантажених схем у 1,6–4,5 рази.
- Отже, завантаження поля оболонки снігом на $\frac{1}{2}$ та на $\frac{1}{4}$ є найбільш небезпечним типом завантаження для гіперболічної оболонки. На несиметричні навантаження обов'язково потрібно виконувати статичний розрахунок оболонки.