

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



РОЗРАХУНОК ТА КОНСТРУЮВАННЯ СПЕЦСПОРУД

**Методичні вказівки
до виконання практичних робіт до 1 модуля**

СУМИ 2012

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра будівельних конструкцій

РОЗРАХУНОК ТА КОНСТРУЮВАННЯ

СПЕЦСПОРУД

Методичні вказівки
до виконання практичних робіт до 1 модуля

для студентів 5 курсу денної форми навчання
освітньо-кваліфікаційного рівня –
магістр 8.06010101
„Промислове та цивільне будівництво”

СУМИ - 2012

УДК 624.01

Укладач: Циганенко Л.А., к.т.н., доцент кафедри будівельних конструкцій

Циганенко Г.М., ст.викладач кафедри будівельних конструкцій

Розрахунок та конструювання спецпоруд : методичні вказівки до виконання практичних робіт до першого модуля для студентів 5 курсу денної форми навчання спеціальності 8.06010101 „Промислове та цивільне будівництво” / Суми, 2011 рік, 32 ст., табл.11, бібл. 10.

Методичні вказівки призначено для виконання практичних робіт за перший модуль студентами 5 курсу денної форми навчання ОКР «магістр» за спеціальністю 8.06010101 „Промислове та цивільне будівництво”. Спрямовано на розвиток у студентів практичних навичок з розрахунку несучих елементів просторових залізобетонних конструкцій типу оболонка, моделювання розрахункових схем просторових оболонок покриття на ПК Лира та вміння проведення самостійного науково-дослідного аналізу напружено-деформованого стану конструкцій з висновками.

Рецензенти: Азізов Т.Н., д.т.н., професор, кафедри будівельних конструкцій,

Нагорний М.В., к.т.н., доцент кафедри будівельного виробництва

Рекомендовано до видання вченою радою ННІТІ Сумського національного аграрного університету. Протокол № __ від „__” _____ 2012 року.

© Сумський національний аграрний університет, 2012

ВСТУП

Курс “Розрахунок та конструювання спецспоруд” має на меті поглиблення знань та умінь конструювання та проектування сучасних ефективних покриттів з використанням просторових конструкцій.

Поглиблене вивчення оболонок покриттів, дозволяє студентам використовувати сучасні комп’ютерні розрахункові програми, що реалізують метод кінцевих елементів та якими повинен володіти конструктор для прийняття оптимальних рішень при виборі конструкції та її розробці.

Метою вивчення дисципліни є підготовка майбутнього інженера в галузі будівництва; надання навичок проектування будівель та споруд із використанням просторових систем. Інженер-проектувальник повинен уміти вибрати з безлічі можливих конструктивних рішень системи, що оптимально задовольняють функційним та архітектурним вимогам, які пред’являються будівлям та спорудам. Для цього він повинен мати інформацію про роботу широкого кола конструкцій та методи їхнього розрахунку, як інженерного «ручного» так і комп’ютерного моделювання на ПК.

Курс формує інженерні навички основ проектування спеціальних споруд (зокрема значного їх класу-оболонок), що закладає основу для аспірантської діяльності по науковій спеціальності 05.23.01 “Будівельні конструкції, будівлі та споруди”.

Курс є складовою частиною підготовки магістрів зі спеціальності 8.06010101 -“Промислове та цивільне будівництво” і етапом, що завершує підготовку майбутнього фахівця в області науково-дослідної роботи.

ТЕМАТИЧНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва модулів, розділів, тем	Кількість тем	Розподіл часу за видами навчальної діяльності (год).				Всього годин	Сума балів для встигаючого студента денної форми навчання	Сума балів для студента заочної форми навчання
			лекції	лабораторно-практичні заняття	семінарські	самостійна робота			
			дф/зф	дф/зф	дф	дф/зф			
1	2	3	4	5	6	7	8	10	11
1.	Модуль 1		12/6	12/6		42/62	66/74	36	
	Тема 1. Розвиток просторових конструкцій.	1	2/1	2/-		4/4	8/5	6	
	Тема 2. Напружений стан тонкостінних оболонок.	1	2/1	2/2		4/6	8/9	6	
	Тема 3. Розрахунок і конструювання циліндричних оболонок.	1	2/1	2/-		10/12	14/13	8	
	Тема 4. Розрахунок і конструювання оболонки у формі еліптичного параболоїду на прямо кутному плані.	1	2/1	2/-		4/12	8/13	8	
	Тема 5. Розрахунок і конструювання оболонок типу гіперболічний параболоїд.	1	2/1	2/2		4/12	8/15	4	
	Тема 6. Розрахунок і конструювання купольних покриттів.	1	2/1	2/2		16/4	20/7	4	
2.	Модуль 2.		6/2	6/-		30/32	42/34	14	
	Тема 7. Розрахунок та конструювання висячих покриттів.	1	2/1	2/-		10/12	14	4	
	Тема 8. Пневматичні тонкостінні покриття	1	2/1	2/-		10/10	10	4	
	Тема 9. Конструювання пневматичних оболонок повітряопірного типу.	1	2/-	2/-		10/10	10	6	
	Разом за модулі:	-	18-	-18	-	72/94-	108/108-	35-50	
	За самостійну роботу:	-	-	-	-	-	-	10-20	
	За проміжну атестацію	-	-	-	-	-	-	10-15	
	Підсумковий контроль	-	-	-	-	-	-	5-15	
	Разом з дисципліни:		18/8	18/6		72/94	108/108	60-100	

Зміст

Вступ	4
1. Загальні дані до виконання практичних робіт ...	7
2. Практична робота №1 «Програмний комплекс “LIRA” для розрахунку просторових покриттів».	7
2.1 Створення розрахункової схеми оболонки оберту.	
2.2. Створення розрахункової схеми оболонки переносу.	
3. Практична робота №2 «Розрахунок і конструювання циліндричних оболонок».	29
4.1. Приклад виконання практичної роботи	31
4.2 Завдання дані до виконання практичної роботи	35
4.3. Бланк завдання на практичну роботу	35
4. Практична робота №3 «Розрахунок і конструювання оболонки у формі еліптичного параболоїду на прямокутному плані».	
4.1. Приклад виконання практичної роботи	
4.2 Завдання до виконання практичної роботи	
4.3. Бланк завдання на практичну роботу	
5. Практична робота №4 «Розрахунок і конструювання оболонок типу гіперболічний параболоїд».	
5.1. Приклад виконання практичної роботи	
5.2 Завдання до виконання практичної роботи	
5.3. Бланк завдання на практичну роботу	
6. Практична робота №5, №6 «Розрахунок і конструювання купольних покриттів».	
6.1. Приклад виконання практичної роботи	
6.2 Завдання до виконання практичної роботи	
6.3. Бланк завдання на практичну роботу	
 Література.....	
<i>Додаток 1</i>	
<i>Додаток 2</i>	

1. Загальні дані до виконання практичних робіт.

Практичні роботи з дисципліни РКСС включають в себе теоретичну та практично-розрахункову частину з розрахунку просторових покриттів на програмному комплексі «Ли́ра».

До кожного практичного заняття розроблено завдання для його виконання та приведено таблиці з варіантами. Практичні роботи виконують на вже готових бланках, які можна отримати від викладача, лаборанта кафедри чи роздрукувати з навчально-методичного комплексу власноруч. Практична робота виконується лише на практичному занятті з заповненням готових бланків, але якщо закінчення виконання роботи проводилось поза аудиторного виконання, потрібно додатково додати диск зі створеною розрахунковою схемою просторового покриття в ПК Ли́ра для контролю викладачем.

Заповнення таблиць в готових бланках практичної роботи повинно проводитися чітким почерком, побудови графіків проводити олівцем з потрібними поясненнями чи побудованими та роздрукованими в програмі Excell чи Word.

Кожна практична робота повинна закінчуватися аналізом та висновком щодо отриманого результату. Номер варіанту для виконання завдання на практичній роботі вибирається для студента згідно списку його академічної групи.

2. Практична робота №1 «Програмний комплекс “LIRA” для розрахунку просторових покриттів»

Для розрахунку оболонки покриття в першу чергу необхідно створити її розрахункову схему на «ПК Ли́ра». За способом утворення оболонки покриття поділяються на : оболонки оберту та оболонки переносу (трансляційні оболонки).

2.1 Створення розрахункової схеми оболонки оберту.

Мета роботи: навчитися створювати розрахункові схеми оболонок оберту (на прикладі купольної оболонки) на ПК Ли́ра двома способами.

Порядок роботи.

Для створення розрахункової схеми оболонки оберту існує два способа завдання розрахункової схеми.

Вихідні дані:

На прикладі оболонки оберту-купольної оболонки розглянемо способи задання розрахункової схеми конструкції:

конструкція покриття – тонкостінний монолітний залізобетонний купол. висота куполу $h=6$ м; діаметр $D=30$ м; місце будівництва – м. Київ;

В ПК «LIRA» купольну оболонку можна задати двома способами:

- 1) Використанням готової функції «Поверхности вращения» в вкладці «Схема»-«Создание»;
- 2) Шляхом введення рівняння твірної поверхні у вкладці «Добавить узел»-«Формульный ввод» з подальшим використанням функції «Объект заданный вращением образующей» в вкладці «Схема»-«Создание».

Створення розрахункової схеми оболонки оберту першим способом.

При створенні нового файлу обираємо ознаку системи (рис.5.1)

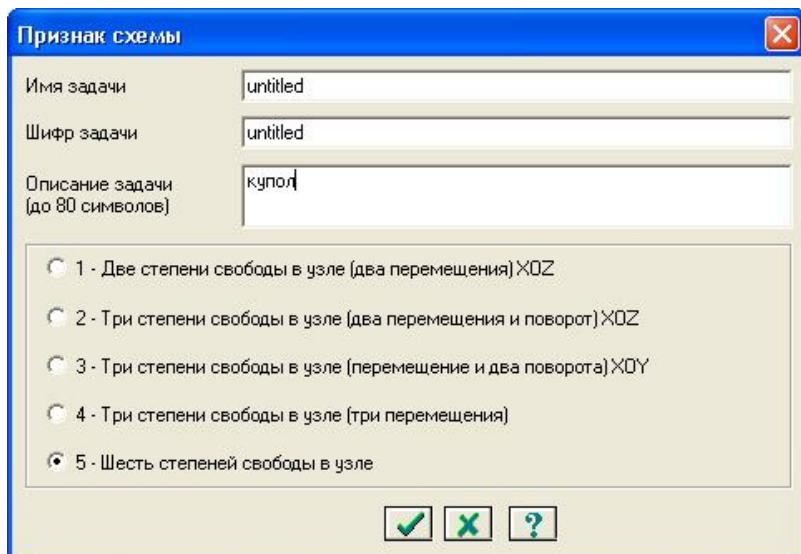


Рис.2.1 Діалогове вікно для завдання ознаки системи для купольної оболонки

Для створення сферичного куполу, що є частиною поверхні сфери, потрібно обрати в меню „Схема” закладку „Поверхности вращения”(рис.2.2) або

натиснути кнопку  .

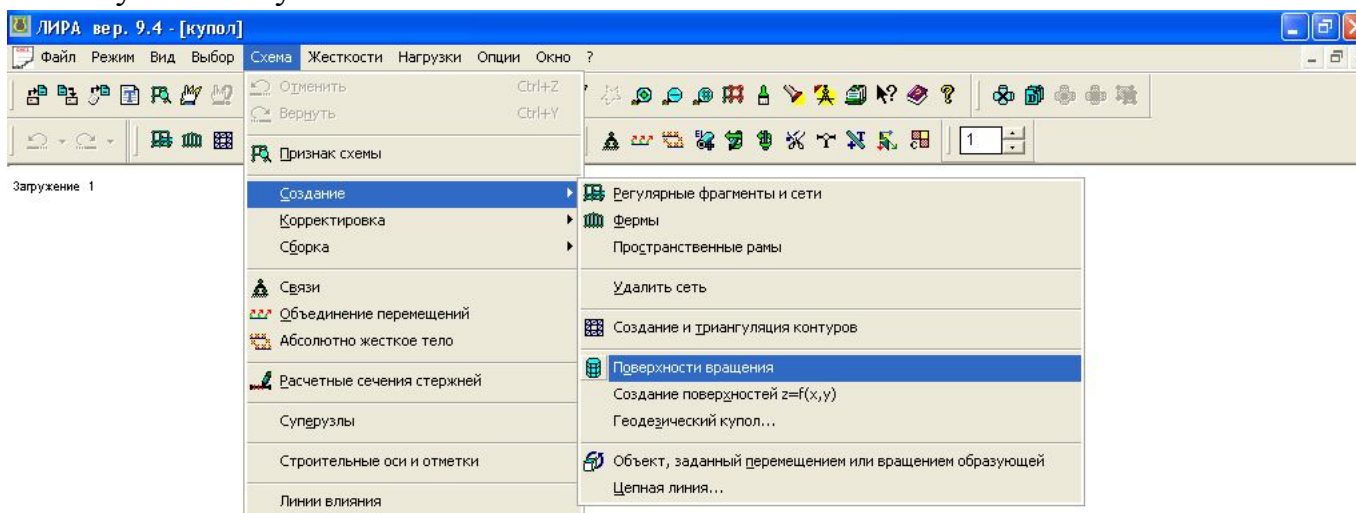


Рис.2.2 Діалогове вікно для створення схеми куполу

В закладці „Поверхности вращения”, що з'явиться, потрібно обрати закладку „Сфера” й задати параметри у діалоговому вікні (рис.2.3).

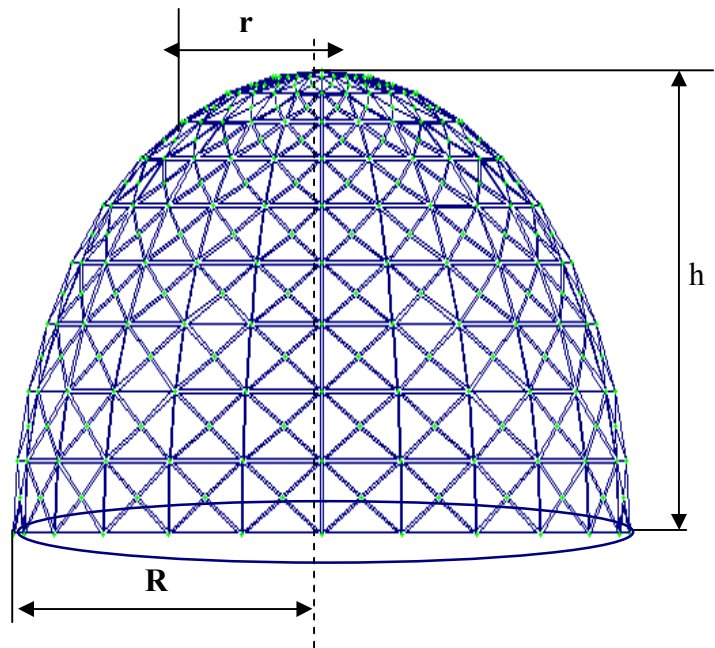
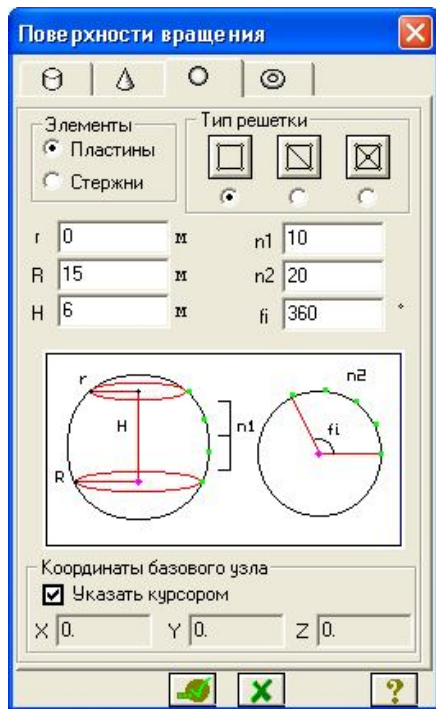



Рис. 2.3 Діалогове вікно завдання параметрів схеми куполу

У діалоговому вікні задається:

- тип кінцевого елемента, яким буде апроксимована поверхня – **пластини**
- тип ґрат пластини – п'ятивузлова пластини в випадку тонкостінної монолітної конструкції;
- параметри сфери (малий радіус r – дорівнює нулю, оскільки купол є замкненим),
- радіус $R=15$ м (радіус основи конструкції),
- висота $H=6$, кількість елементів по висоті n_1 і по колу n_2 , кут розкриття $f_i = 360$).

Після введення всіх параметрів (згідно завдання), натискаємо кнопку підтвердити  та отримуємо розрахункову схему сферичного куполу, зображеного на рис 2.4.

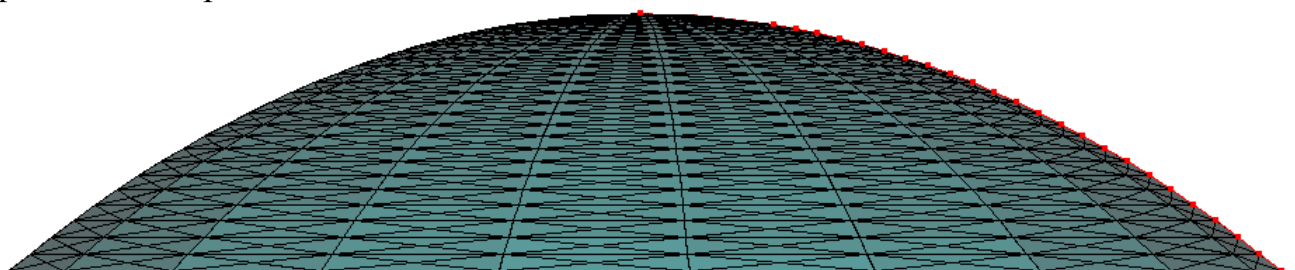



Рис. 2.4 Загальний вигляд розрахункової схеми сферичного куполу

Створення розрахункової схеми оболонки оберту другим способом-обертанням кривої навколо вертикальної вісі.

Купол – є поверхнею, що можливо створити шляхом обертання його твірної (плоскої кривої), навколо вертикальної центральної вісі.

Натиснувши на кнопку «Добавить узел»  обираємо вкладку «Формульний ввод» (рис.2.5), куди записуємо рівняння, яким буде

описуватися твірна поверхні куполу. В нашому прикладі плоска крива-твірна куполу описується рівнянням параболи: $z = -f \frac{x^2}{a^2}$

де f – стріла підйому куполу, x -координата в площині кривої XOZ , a -радіус основи.

Візьмемо геометричні розміри як для побудови сферичного куполу ($f=H=6$ м; $a=R=15$ м), тоді рівняння плоскої параболи: $z = -6 \frac{x^2}{15^2}$

В діалоговому вікні (рис.2.5) обираємо площину генерації параболи – площину XOZ (натискаємо відповідну кнопку). Також необхідно ввести початкове X_1 та кінцеве X_2 значення для аргументу функції, тобто вказати відрізок на вісі X , на якому будується крива. Достатньо задати напівпараболу, тобто вважати, що $x \in [0;15]$. Таким чином, $X_1=0$ м $X_2=15$ м. Вказуємо кількість вузлів n на інтервалі $[X_1, X_2]$

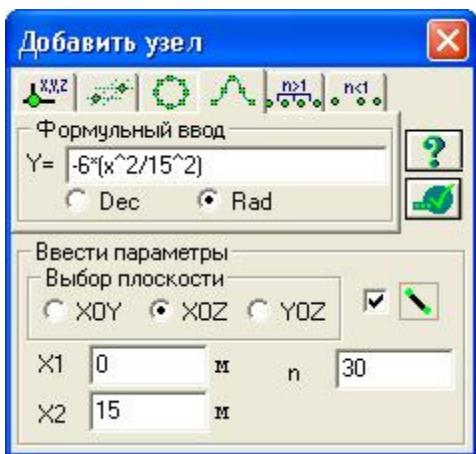



Рис.2.5 Діалогове вікно при завданні плоскої кривої за допомогою формули

Після натискання кнопки  отримуємо плоску криву твірну (рис. 2.6), що складається з кінцевих елементів типу стержень, з'єднаних між собою в вузлах.

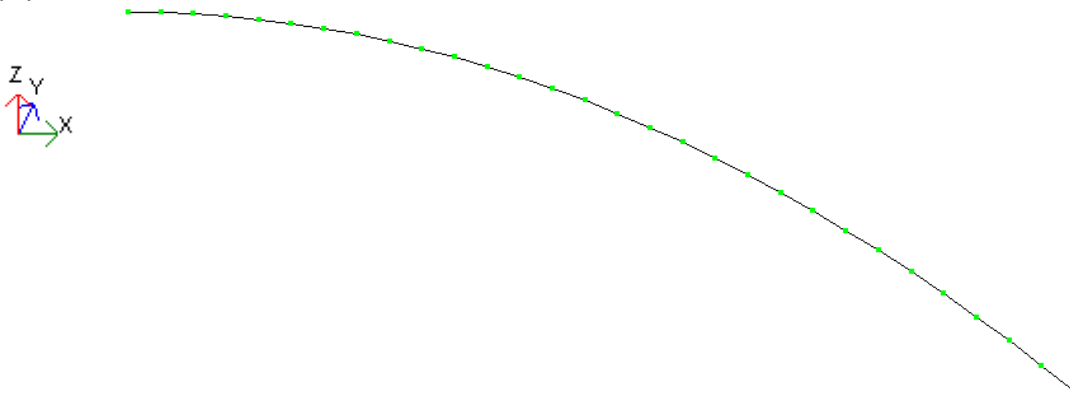



Рис. 2.6 Твірна куполу в площині XOZ

Натисканням на кнопку  «Объект, заданный перемещением или

вращением образующей» викликаємо діалогове вікно (рис. 2.7) та обираємо закладку «Вращение образующей». Виклик вікна може бути здійснено через опції меню (рис. 2.8).

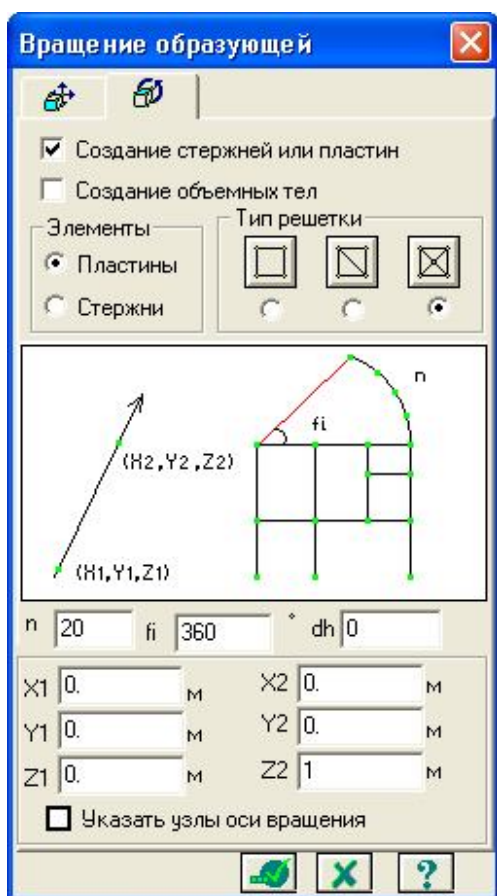
Натисканням на кнопки  («Виділити вузли» та „Виділити елементи») за допомогою рамки виділяємо у червоний кольор криву (рис. 2.9).

У вікні «Вращение образующей» необхідно:

- встановити позначку «Создание стержней или пластин»;
- за допомогою відповідної кнопки вказати елементи, якими будуть з'єднані копії - пластинами;
- за допомогою відповідної кнопки обрати тип решітки, за типом якої буде згенерована поверхня оберту-пятивузловою прямокутною пластиною

У відповідних полях вводу вказується:

- кількість копій заданої твірної n (прийемо 20 копій твірної навколо вісі Z);



- кут оберту ϕ_i (360°);
- координати двох точок, крізь які пройде вісь обертання - X_1, Y_1, Z_1 та X_2, Y_2, Z_2 (вважаємо, що вертикальна вісь обертання співпадає з віссю Z глобальної системи координат, тому перша точка співпадатиме з центром координат $t.1(0;0;0)$, а другою точкою може бути будь-яка точка на вісі Z із додатнім значенням, наприклад $t.2(0;0;1)$

Рис. 2.7 Діалогове вікно для створення поверхні обертання

При генерації геометрії схеми, елементи за замовчуванням одержують тип КЕ, прийнятний для даної ознаки схеми.

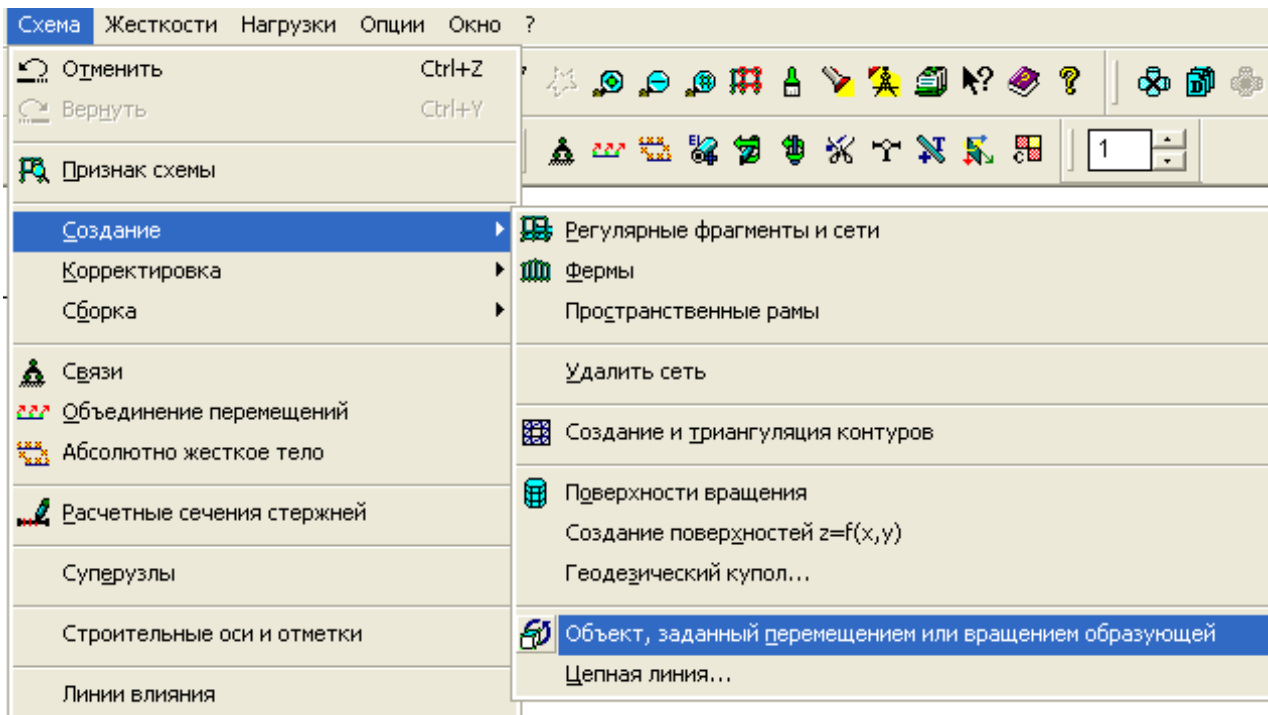


Рис. 2.8 Виклик діалогового вікна для створення поверхні обертання через меню

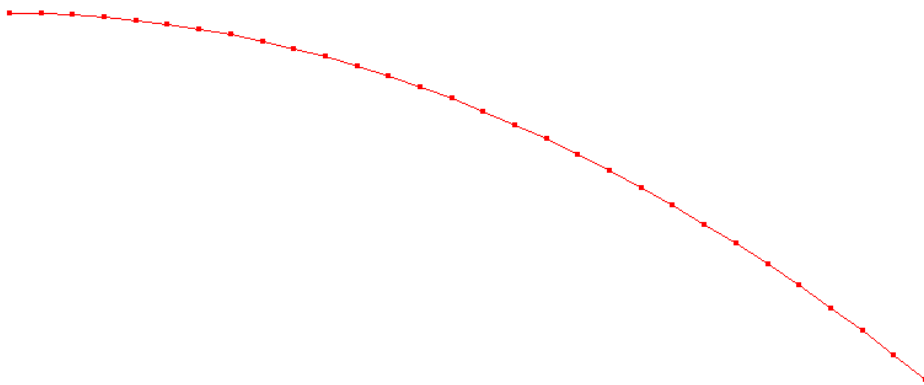

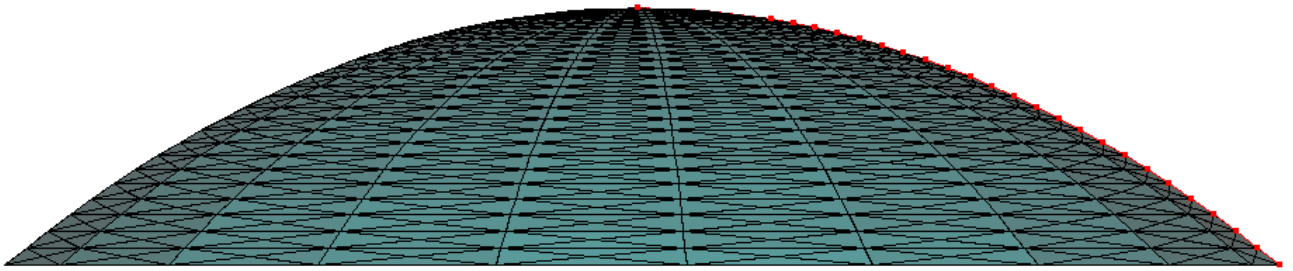


Рис. 2.9 Інвертування вузлів та стержнів плоскої кривої.

В результаті вищенаведених операцій, після натискання кнопки „Применить”  отримуємо параболічний купол (рис. 2.10).

a)



б)

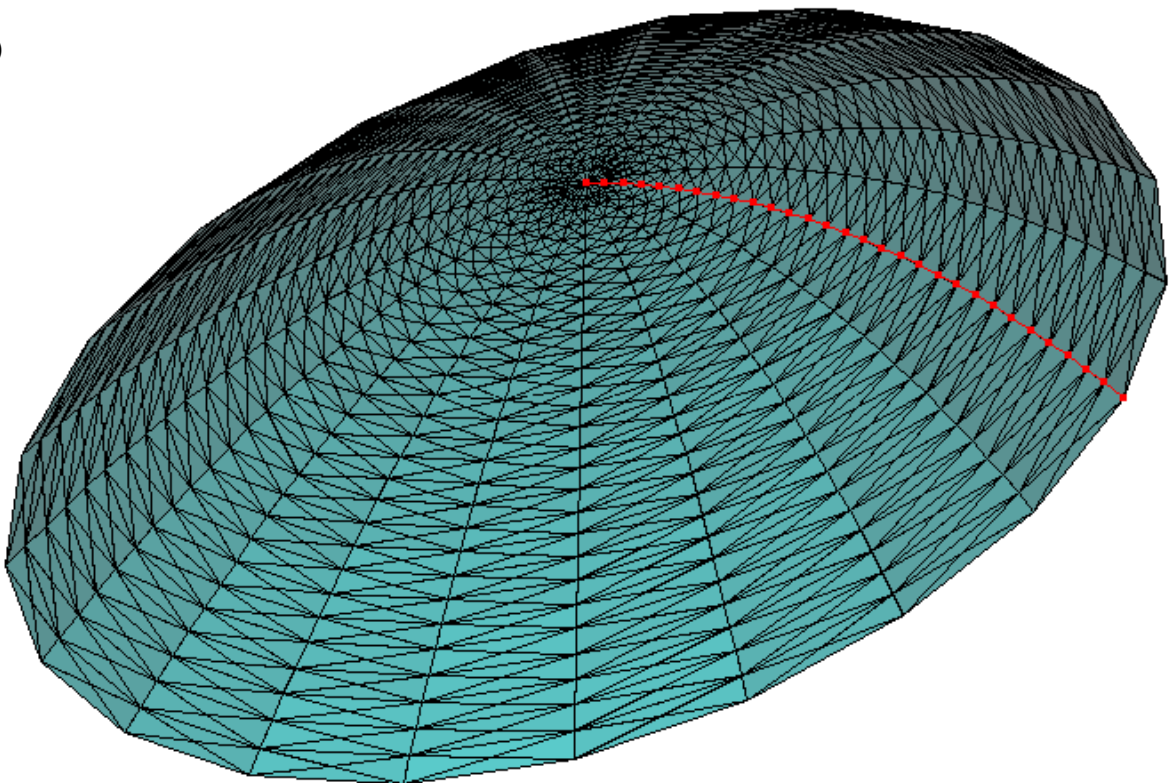




Рис. 2.10 Параболічний купол

2.2. Створення розрахункової схеми оболонки переносу.

Прикладом оболонки переносу є циліндрична оболонка. Її можна створити шляхом переносу твірної кривої по двом прямолінійним напрямкам. Розглянемо приклад.

Вихідні дані: Рівняння плоскої твірної оболонки $y = -0,15 \cdot x^2$, проліт конструкції $L = 12$ м ($a = 6$ м - половина прольоту), довжина конструкції $B = 24$ м,

Створення твірної оболонки починаємо з кнопки  «добавить узел», потім обираємо закладку „задание узлов с  помощью функции одной переменной”. Вводимо у відповідну строку функцію $y = f(x)$, що вказана в завданні. Вказуємо початкове ($X1 = -a$) та кінцеве ($X2 = a$) значення аргументу

функції, кількість вузлів (n) на інтервалі $[X1, X2]$. Прийемо 20 відрізків розбиття вузлами плоскої кривої, значить у вікні кількості вузлів розбиття поставимо $n=21$. Для того, щоб з'єднати вузли стержнями, необхідно виставити відповідний прапорець. За допомогою радіокнопки вказується площина, у якій виконується побудова кривої (це площина XOZ).

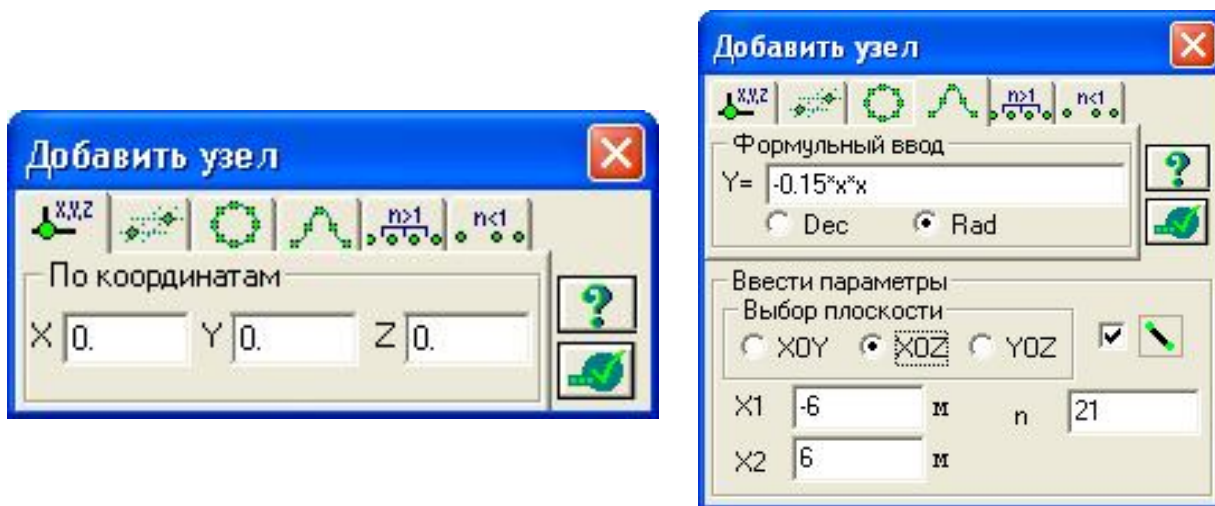




Рис.2.1 Діалогове вікно формульного завдання плоскої твірної (приклад)

Активізуючі кнопки  „выбор элементов” та „выбору узла”  виділяємо рамкою всі вузли й стержні плоскої кривої (рис.2.2).

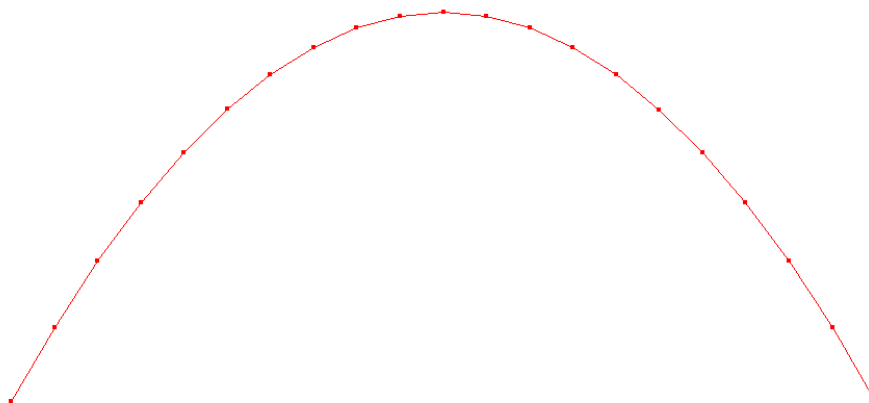



Рис.2.2 Побудова плоскої кривої-твірної (інвертування кривої)

За допомогою кнопки  „Объект, заданный перемещением или вращением образующей”, викликаємо відповідне діалогове вікно (рис.2.3): Генеруємо тривимірну конструкцію на основі плоскої твірної шляхом лінійного копіювання. При цьому відбувається копіювання твірної, зв'язки між екземплярами якої створюються за принципом: вузли перетворюються в стрижні, стрижні - у пластини.

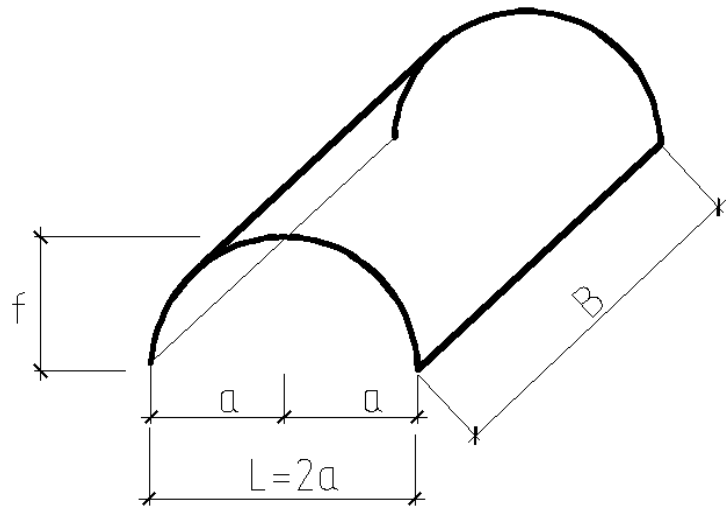
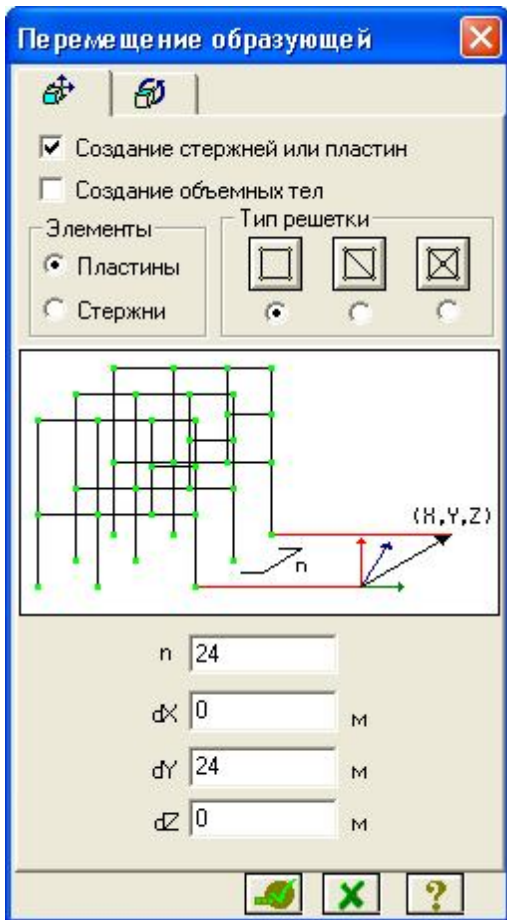


Рис.2.3 Генерация тривимірної конструкції на підставі плоскої твірної шляхом лінійного копіювання.

У діалоговому вікні задається тип решітки, елементи, з яких буде згенерована поверхня переміщення (пластини) і наступні параметри:

- кількість копій заданої твірної n (приймаємо $n=24$ -копіювання таким чином буде відбуватися з кроком 1 м) ;
- відстань між твірною та її останньою копією уздовж відповідної осі dy (ця відстань повинна дорівнювати довжині конструкції b , що вказана в завданні)

При генерації геометрії схеми, елементи за замовчуванням одержують тип КЕ, прийнятний для даної ознаки схеми.

Після копіювання кривої необхідно КЕ типу стержень, інвертовані червоним кольором НЕ видаляємо!!! Отримуємо просторову схему, рисунок 2.4.

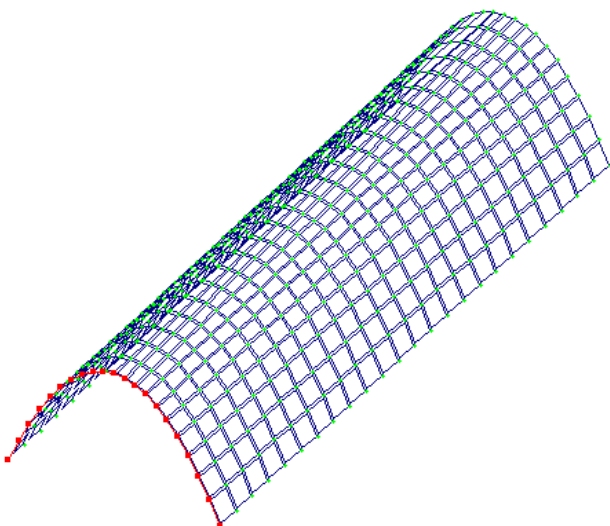


Рис.2.4 Геометрична схема циліндричної оболонки після копіювання кривої

3. Практична робота №2 «Розрахунок і конструювання циліндричних оболонок».

Мета роботи: дослідити напружено-деформований стан трансляційної циліндричної оболонки покриття за двома умовами її спирання (спирання оболонки по чотирьом точкам на колони; спиранні оболонки по довгим сторонам – на несучі стіни) та зробити висновки щодо впливу умови закріплення оболонки на її напружено-деформований стан.

Порядок роботи.

Для створення розрахункової схеми оболонки та проведення аналізу її напружено-деформованого стану приймаємо наступні вихідні дані:

Вихідні дані: Рівняння плоскої твірної оболонки описується за формою параболі: $y = -0,15 \cdot x^2$; прольот конструкції $L = 12$ м ($a = 6$ м- половина прольоту); довжина конструкції $b = 24$ м; клас бетону- В 30; місце будівництва – м. Київ


Статичний розрахунок циліндричної оболонки виконуємо за наступним алгоритмом:



1. Створення розрахункової схеми.

Створення конструкції проводимо відповідно практичного заняття №1 пункт 2.2 (створення розрахункової схеми оболонки переносу).

2. Моделювання бортового елемента.

На отриманій схемі циліндричної оболонки додаємо елементи, що будуть моделювати бортовий елемент оболонки. В нашому випадку в я кості бортового елемента прийнято розкісну залізобетонну ферму.

Для більш зручного завдання стержнів діафрагми жорсткості, за допомогою кнопки  викличемо проекцію конструкції в площині XOZ.

За допомогою кнопки  викликаємо відповідне діалогове вікно, обираємо першу закладку  - додати стержень. Вказавши мишею два вузла, між якими додаємо стержень, отримуємо стержневий елемент нижнього поясу діафрагми жорсткості (розкісної ферми)(рис 3.1).

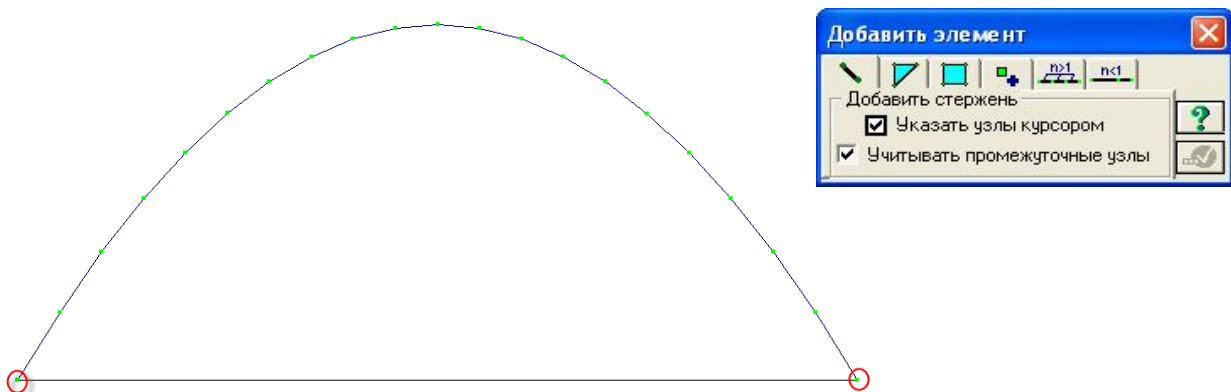





Рис.3.1 Утворення нижнього поясу діафрагми оболонки

Для подальшого створення розкісної ферми потрібно нижній пояс поділити на рівні частини. Для цього за допомогою кнопки  виділяємо у червоний колір стержень, що моделює нижній пояс ферми. Потім за допомогою кнопки  викликаємо відповідне діалогове вікно, рисунок 3.2, обираємо закладку  (розбиття виділеного стержня на n рівних частин).

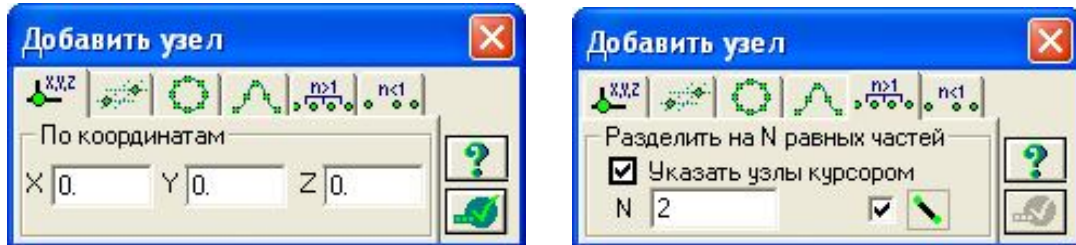




Рисунок 3.2. Діалогове вікно для розбиття на відрізки нижнього поясу ферми

Натискаємо  й отримуємо нижній стержень, розбитий навпіл вузлом (рис.3.3,(а)). Додаємо за допомогою функції  вертикальний стержень стійку, рисунок 3.3(б).

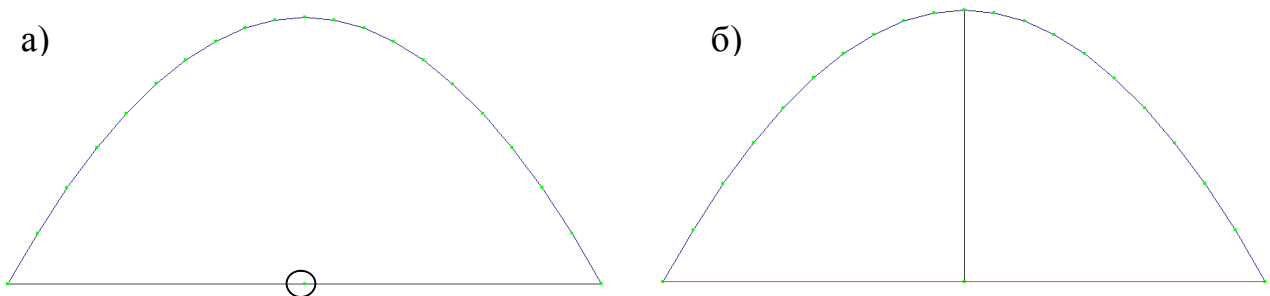


Рисунок 3.3. а) нижній стержень розбито навпіл; б) додання стійки ферми

Таким же чином, як це було зроблено вище проводимо розбиття нижнього поясу ферми на чотири рівні частини.

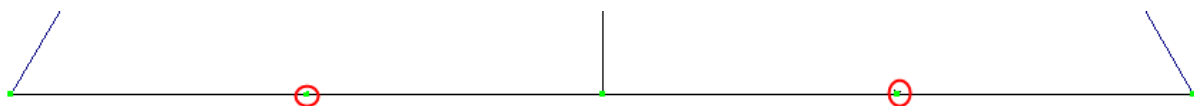


Рисунок 3.4. Фрагмент бортового елемента (ферми) зі схемою розбиття нижнього поясу на чотири рівні частини

За допомогою опції „Добавить элемент» додаємо стержні – моделюємо стійки та розкоси діафрагми жорсткості (розкісної ферми).

В результаті отримаємо діафрагму жорсткості як показано на рисунку 3.5.

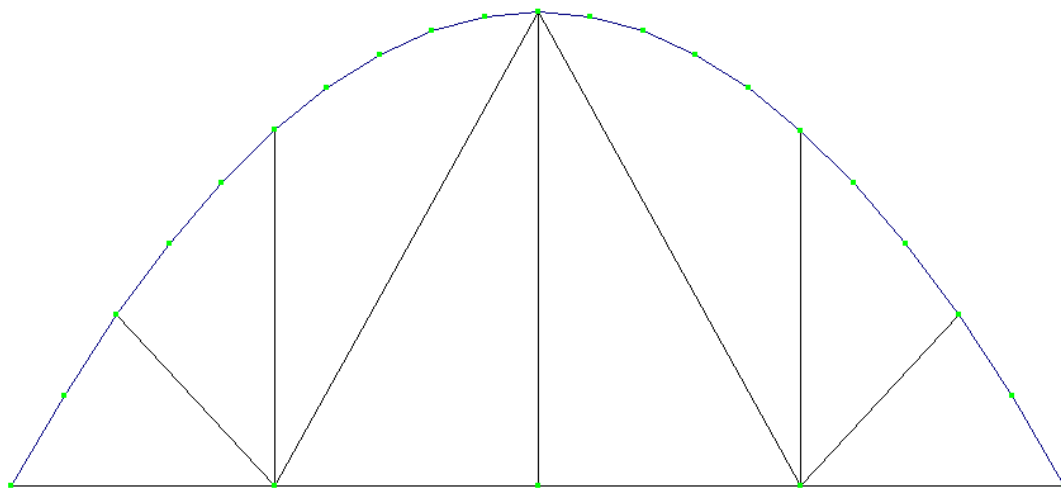
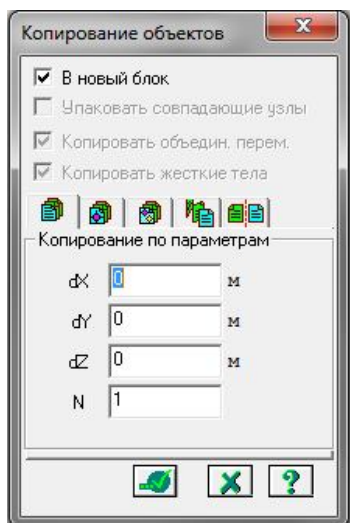


Рис.3.5. Розрахункова схема бортового елемента оболонки (розкісна ферма)

Виділяємо у червоний колір створену розкісну ферму та проводимо її копіювання в торець оболонки за допомогою функції «Схема»-«Корректировка»-«Копирование выбранных объектов», рисунок 3.4 (а) та отримуємо готову розрахункову схему оболонки, рисунок 3.4 (б)

а)



б)

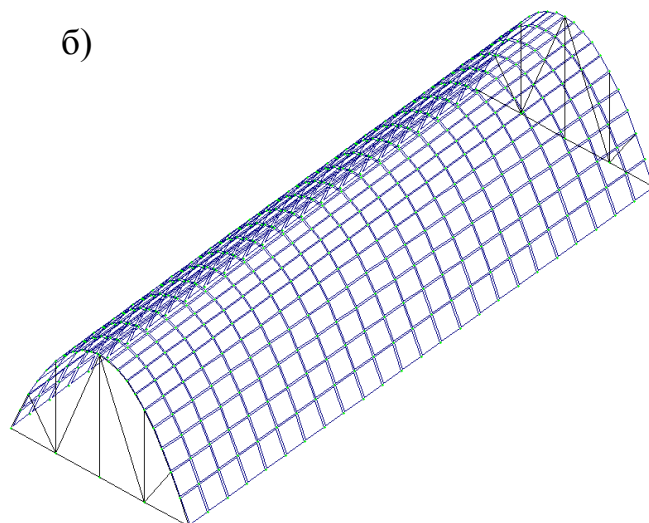



Рисунок 3.6. Розрахункова схема оболонки покриття.

Додатково потрібно створити бортовий елемент вздовж довгих сторін оболонки. Для зручності переводимо зображення розрахункової схеми в площину XOY кнопкою  й задаємо за допомогою функції „добавить элемент” стержні між опорними вузлами, створивши, таким чином, бортові (поздовжні) ребра жорсткості циліндричної оболонки (рис.3.7)

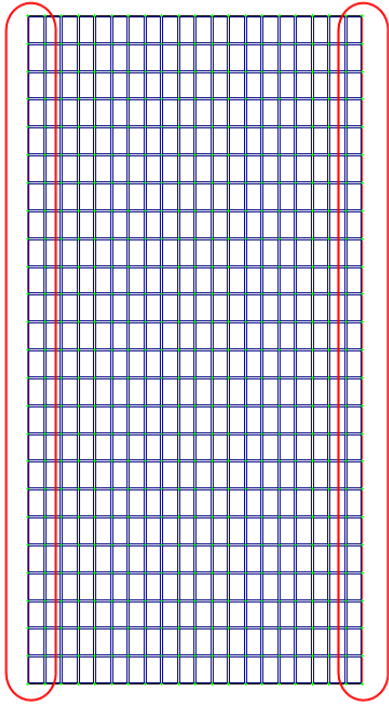


Рисунок 3.7. Виділені зони для яких задаються стержньові елементи, що моделюють бортовий елемент вздовж довгої сторони оболонки.

3. Задання жорсткісних параметрів кінцевих елементів

Заданим стержньовим елементам бортових ребер за допомогою кнопки



виводимо на екран таблицю «Жесткости элементов» та задаємо їх жорсткісні характеристики (рисунок 3.8):

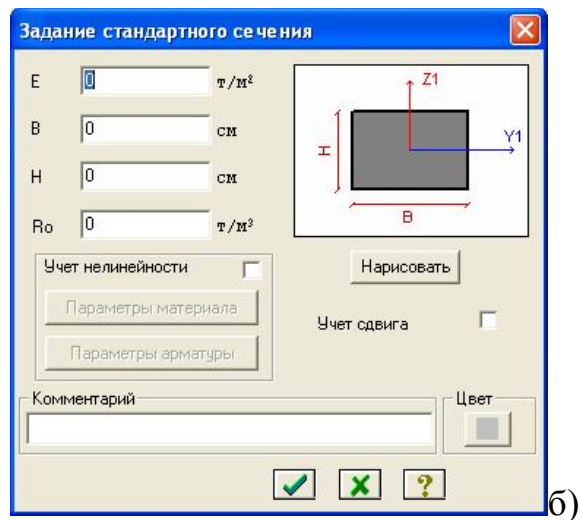
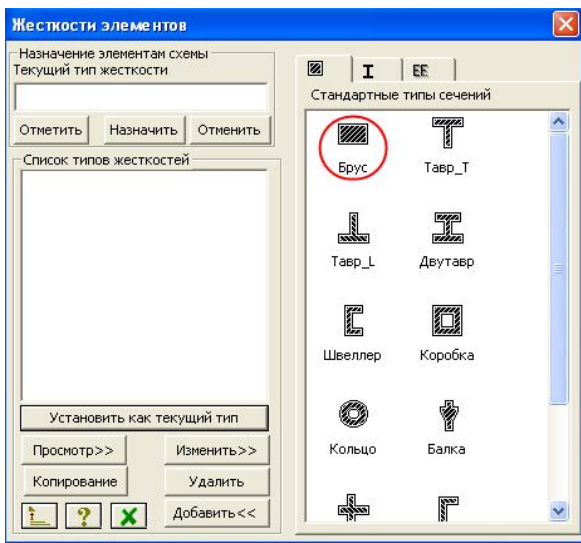


Рисунок 3.8. Таблица «Жесткости элементов»

Обираємо тип перерізу –прямокутний брус та вводимо відповідні жорсткісні характеристики для стержня.

E - початковий модуль пружності бетону , що залежить від його класу (приймаємо за довідковими даними із бланка завдання);

B, H – ширина та висота прямокутного перерізу (розміри приймаються для стійок і поясів торцевої діафрагми варіативно; аналогічним чином вони приймаються й для бортових елементів);

R_0 – питома вага важкого бетону (постійний показник, що дорівнює в середньому $2,45 \text{ т/м}^3$).

Переріз елементів стійок, розкосів, елементів верхнього криволінійного поясу ферми задаємо варіативно, рисунок 3.9.

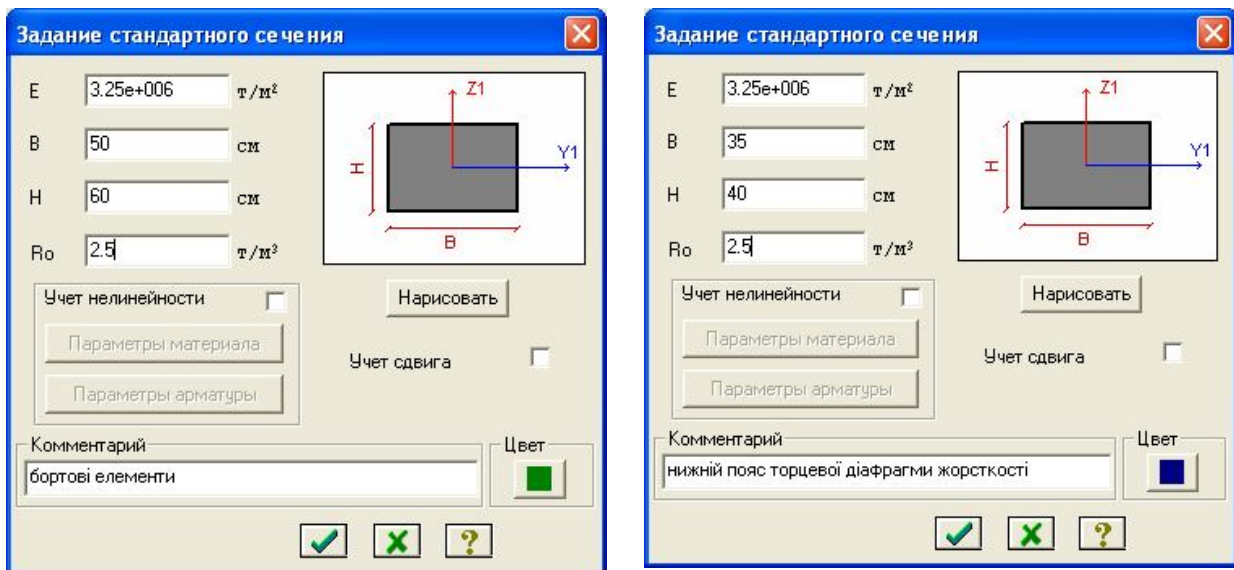





Рис.3.9. Приклад жорсткості для стержневих елементів ферми

Подали потрібно задати жорсткість елементам пластини, що моделюють монолітне поле оболонки. Відтворивши за допомогою кнопки  проекцію конструкції на горизонтальну площину, інвертуємо кінцеві елементи ПЛАСТИНИ та призначаємо жорсткісні характеристики KE типу оболонка.

За допомогою кнопки «жесткости элементов»  викликаємо відповідне діалогове вікно, де вибравши закладку „численное описание жесткости”, обираємо вкладку „пластины” (рис.3.10) та задаємо наступні параметри жорсткості пластин:

- модуль пружності (E) – із довідки згідно класу бетону в завданні;
- коефіцієнт Пуассона (n) – із довідки в завданні;
- товщина плити (H) – приймається максимально допустимою із конструктивних міркувань;
- питома вага матеріалу (R0) - із довідки в завданні;
- за допомогою радіокнопок указується тип KE (Плита й оболонка) та вид KE (трикутний або прямокутний).

За допомогою кнопки „выделить элементы» інвертуємо розрахункову схему. Обираємо заданий тип жорсткості як поточний та призначаємо його виділеним елементам. Загальний вигляд таблиці жорсткісних характеристик для поля оболонки та бортових елементів приведена на рисунку 3.11. Після завдання усіх параметрів оболонки потрібно провести упакування схеми.

Виконаємо упакування схеми, натиснувши на кнопку  („Упаковать схему”), рисунок 3.12.

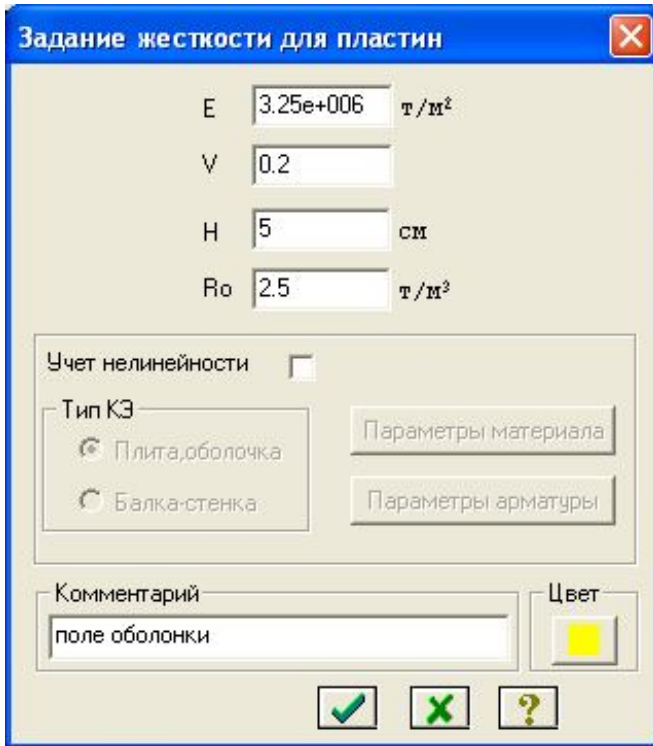


Рисунок 3.10 Жорсткості для елементів типу пластина (варіант)

Рисунок 3.11 Вікно із списком типів жорсткостей для кінцевих елементів розрахункової схеми

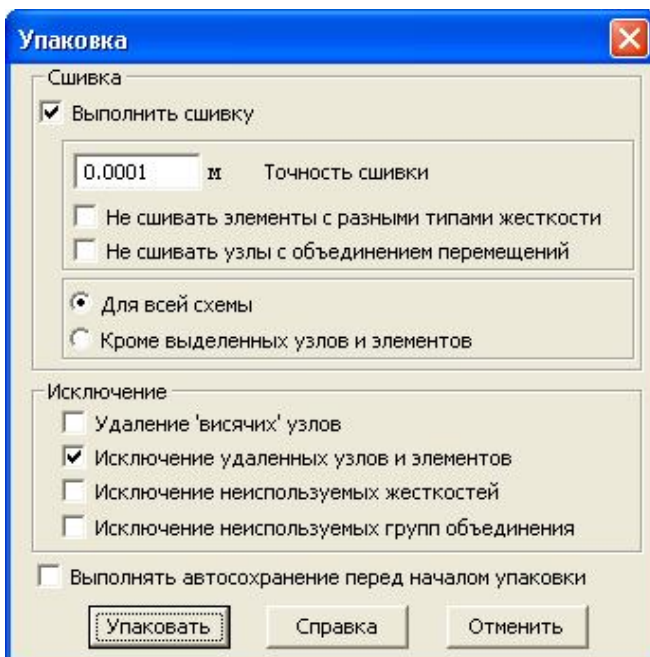
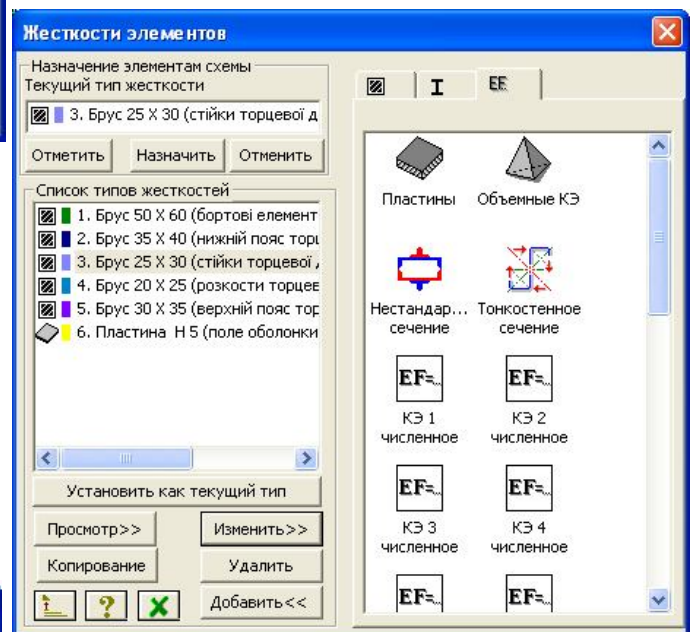


Рисунок 3.12 Діалогове вікно „Упаковка схеми”

4. Завдання крайових умов конструкції

Згідно завдання, необхідно провести аналіз напружено-деформованого стану конструкції за двома варіантами її спирання на опори:

перший- конструкція спирається через торцеві діафрагми жорсткості на колони в чотирьох точках;

другий – конструкція спирається по двом сторонам – бортовими елементами на несучі стіни.

Для розрахунку конструкції за **першим варіантом** збережемо розрахункову схему під назвою, наприклад, „ЦИЛІНДР 1”.

Інвертуємо чотири опорних вузли, як показано на рисунок 3.13 (а) та закріпимо їх жорстко (рисунок 3.13(б))

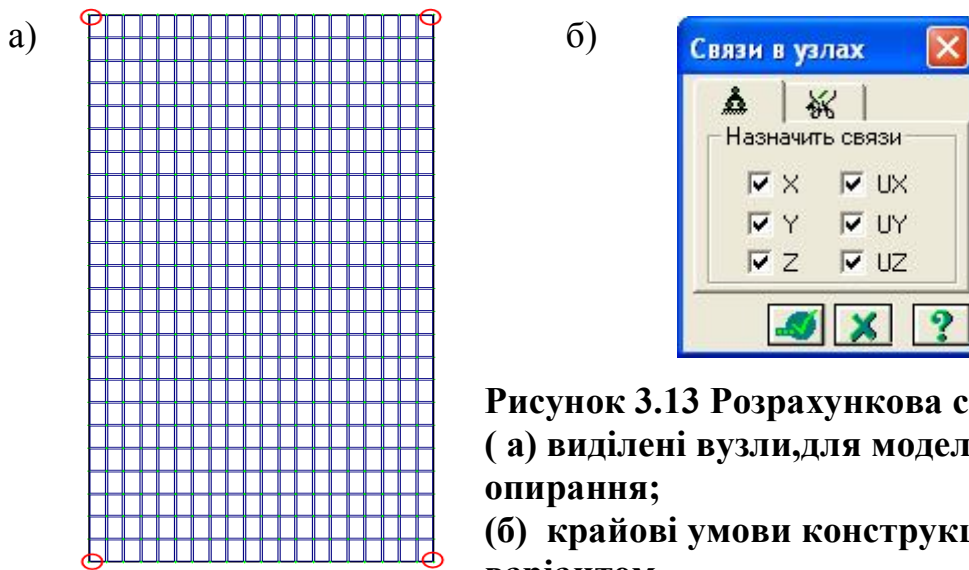


Рисунок 3.13 Розрахункова схема

(а) виділені вузли, для моделювання умови опирання;

(б) крайові умови конструкції за 1-м варіантом

Для розрахунку конструкції за **другим варіантом** збережемо розрахункову схему під назвою, наприклад, „ЦИЛІНДР 2”.

Інвертуємо всі опорні вузли, вздовж довгої сторони, як показано на рисунку 3.14 (а) та закріпимо їх жорстко (рисунок 3.14(б))

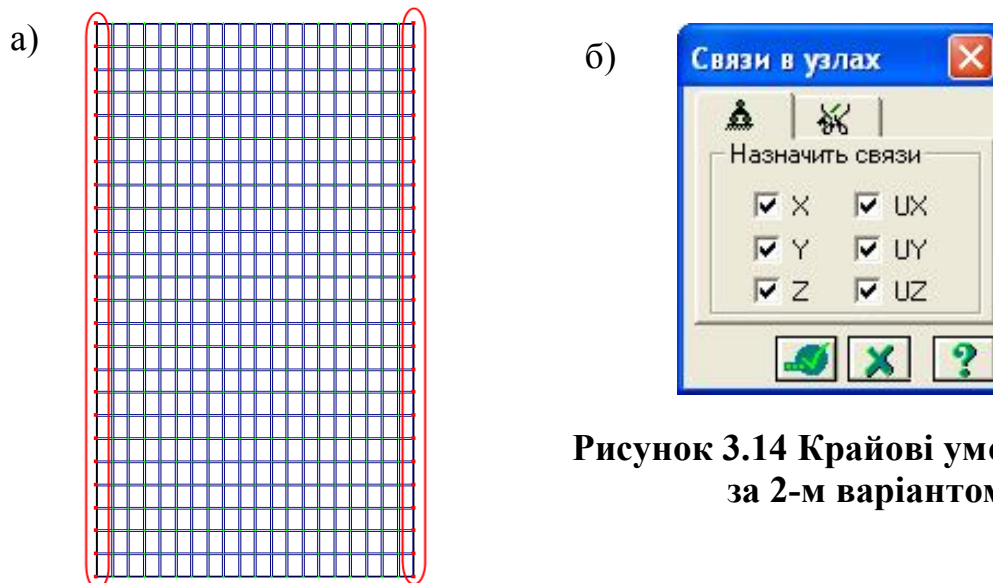


Рисунок 3.14 Крайові умови конструкції за 2-м варіантом

5. Призначення навантаження

Діючими навантаженнями на оболонку покриття є: постійні навантаження-власна вага конструкції та тимчасове - снігове відповідно до [1]. Навантаження прикладається до пластинчатих елементів, що моделюють поле оболонки у вигляді рівномірно-розподіленого навантаження, яке показано на рисунку 3.15. Для цього за допомогою кнопки „выделить элементы” інвертуємо **всю** розрахункову схему, викликаємо діалогове вікно для завдання навантаження відповідною кнопкою „нагрузка на узлы и элементы” В даному вікні обираємо закладку «Нагрузка на пластины»

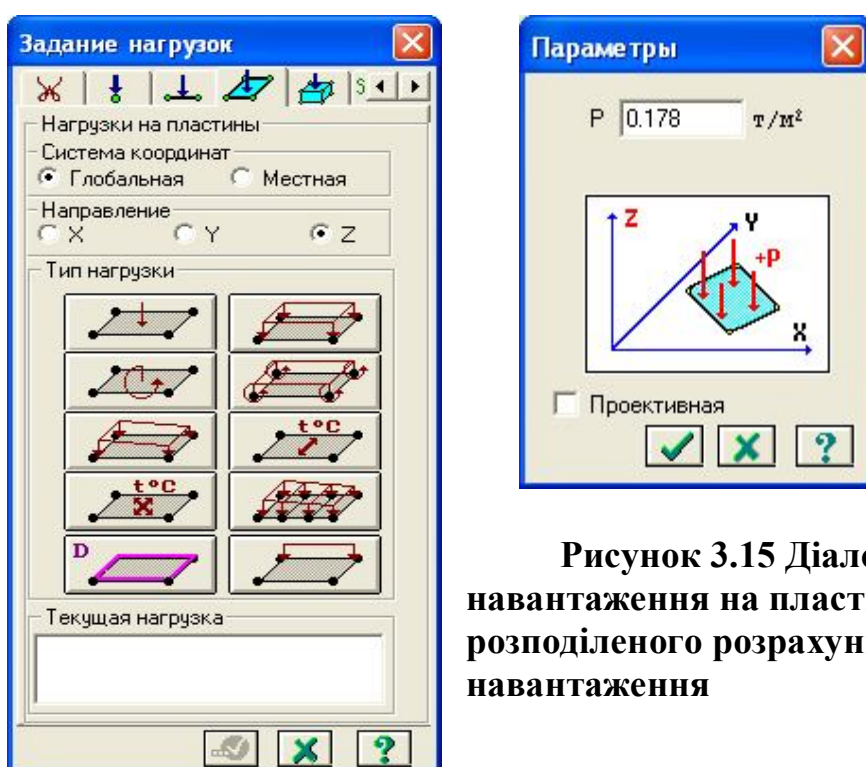


Рисунок 3.15 Діалогові вікна завдання навантаження на пластини рівномірно-розподіленого розрахункового снігового навантаження

У діалоговому вікні, що відкриється, за умовчанням встановлено глобальну систему координат, вибіраємо напрямок дії навантаження – по вісі Z

й натискаємо тип навантаження „равномерно-распределенная нагрузка (на пластины)». У вікні, що відкрилося, задаємо розрахункову інтенсивність снігового навантаження, що прикладене по всій площі пластини, згідно кліматичного району, який вказано в завданні.

Призначення снігового навантаження.

Снігове навантаження є змінним. Для нього згідно [1] встановлені три розрахункових значення:

- граничне розрахункове значення;
- експлуатаційне розрахункове значення;
- квазіпостійне розрахункове значення.

Згідно п.8.2 [1] граничне розрахункове значення снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття (конструкції) обчислюється за формулою:

$$S_m = \gamma_{fm} S_0 C \quad (1)$$

де γ_{fm} - коефіцієнт надійності за граничним значенням снігового навантаження, обумовлений у відповідності до 8.11 [1];

S_0 - характеристичне значення снігового навантаження (в Па), обумовлене відповідно до 8.5 [1];

$C = \mu C_e C_{alt}$ - коефіцієнт, обумовлений за вказівками 8.6[1]; враховує форму поверхні конструкції покриття, режим експлуатації покрівлі та географічну висоту, на якій розташована споруда.

Приймаємо $\gamma_{fm} = 1,14$. За даними додатку Е [1] для м.Київ маємо характеристичне значення снігового навантаження $S_0 = 1550$ Па (або 155 кг/м^2). Приймаємо $C=1$.

Таким чином, граничне розрахункове значення снігового навантаження для м. Київ становить:

$$S_m = \gamma_{fm} S_0 C = 1,14 \cdot 155 \cdot 1 = 178,25 \text{ кг/м}^2 = 0,178 \text{ т/м}^2$$

Задамо це значення навантаження на конструкцію:

$$S = S_0 \cdot \mu \cdot \gamma_{fm}, \text{ де}$$

S_0 - нормативне значення ваги снігового покриву на 1 м^2 горизонтальної поверхні землі.

$\mu=1$ - коефіцієнт, що враховує геометрію поверхні оболонки;

$\gamma_{fm} = 1,4$ - коефіцієнт надійності за навантаженням

Призначення постійного навантаження (власна вага елементів).

Навантаження від власної ваги елементів конструкції (в діалоговому вікні „нагрузки” вмикаємо опцію „добавить собственный вес»).

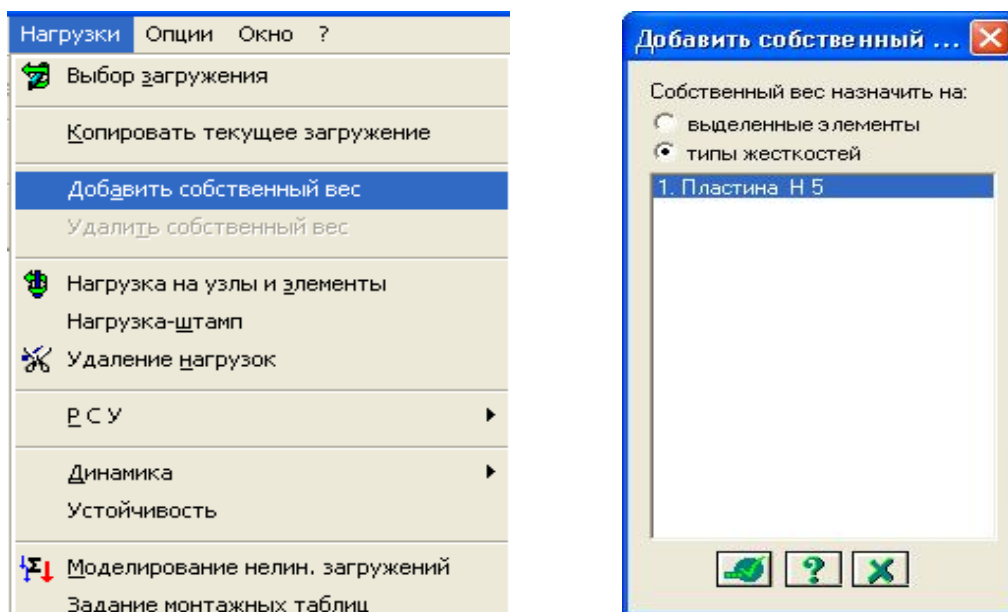



Рис.3.16 Призначення власної ваги елементам, яким задана жорсткість

6. Статичний розрахунок конструкції.

Після задання розрахункової схеми, моделювання умов спирання та завдання навантаження, необхідно провести розрахунок конструкції та проаналізувати отриманий напружено-деформований стан конструкції оболонки. Для цього необхідно вибрати в меню „Режим” опцію „выполнить расчет» або натиснути кнопку  та виконати розрахунок.


7. Аналіз напружено-деформованого стану оболонки

Результати розрахунку можна отримати лише вибравши в меню „Режим” опцію «Результаты расчета».

Аналіз напружено-деформованого стану оболонки проводиться *за двома видами умов її опирання*, вказаних в завданні.

Аналіз деформативності конструкції

Прогин оболонки від навантаження визначаємо за найбільшим значенням переміщення вузла розрахункової схеми та порівнюємо це переміщення з допустимим прогином для даного типу конструкцій [2 (дбн по збк)].

Натиснувши кнопку  - показати деформовану схему разом з основною, отримуємо картину деформованої конструкції покриття від заданих навантажень та умов закріплення. (рис.3.17).

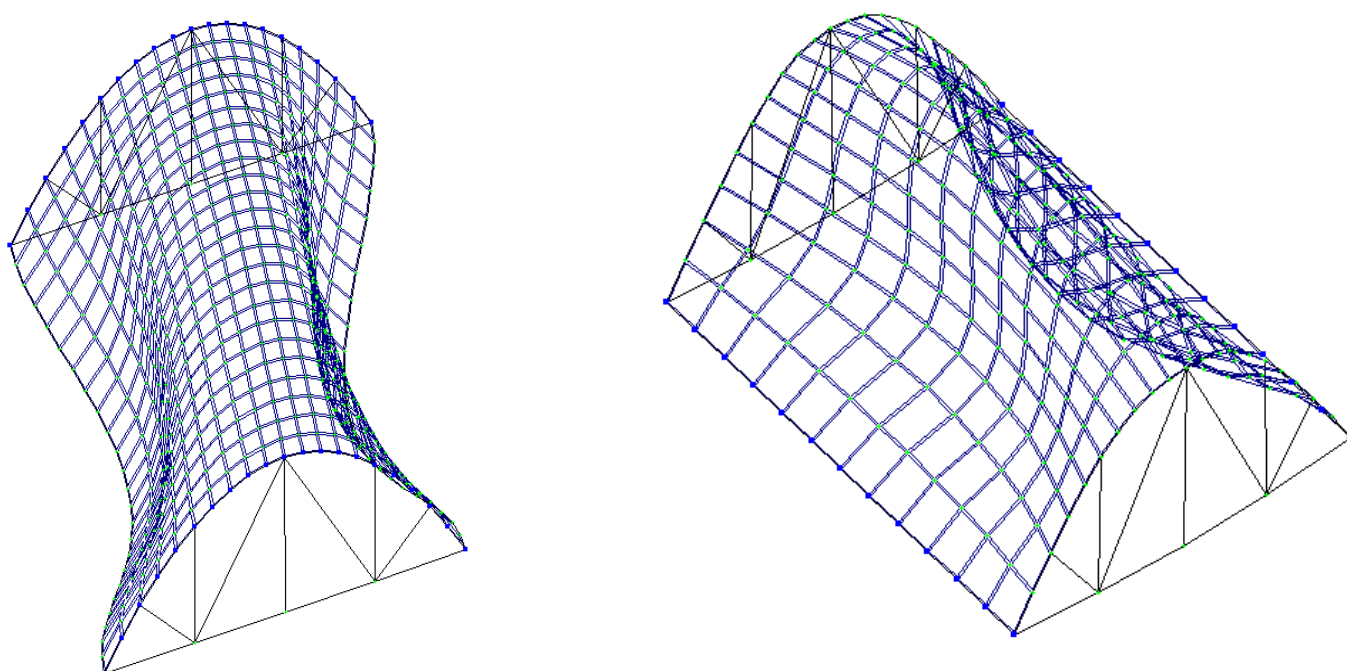


Рисунок 3.17 Деформована схема оболонки покриття: а) перший варіант умови закріплення; б) другий варіант умови закріплення.

Як бачимо зі схеми, поле оболонки деформується по різному - в залежності від того, якій зоні воно належить: приконтурній чи середній зоні. Інвертуємо на розрахунковій схемі вузли, що лежать в перерізі оболонки 1-1 (рис.3.18) та покажемо „графічно» переміщення середньої зони поля оболонки з різними умовами її опирання, рисунок 3.19.

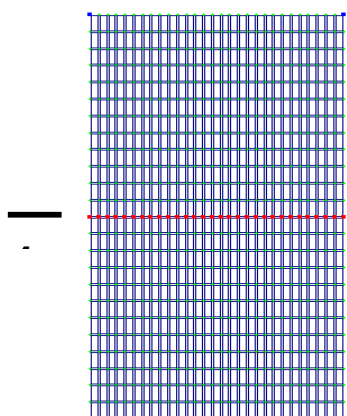


Рис.3.18. Інвертування вузлів в перерізі 1-1

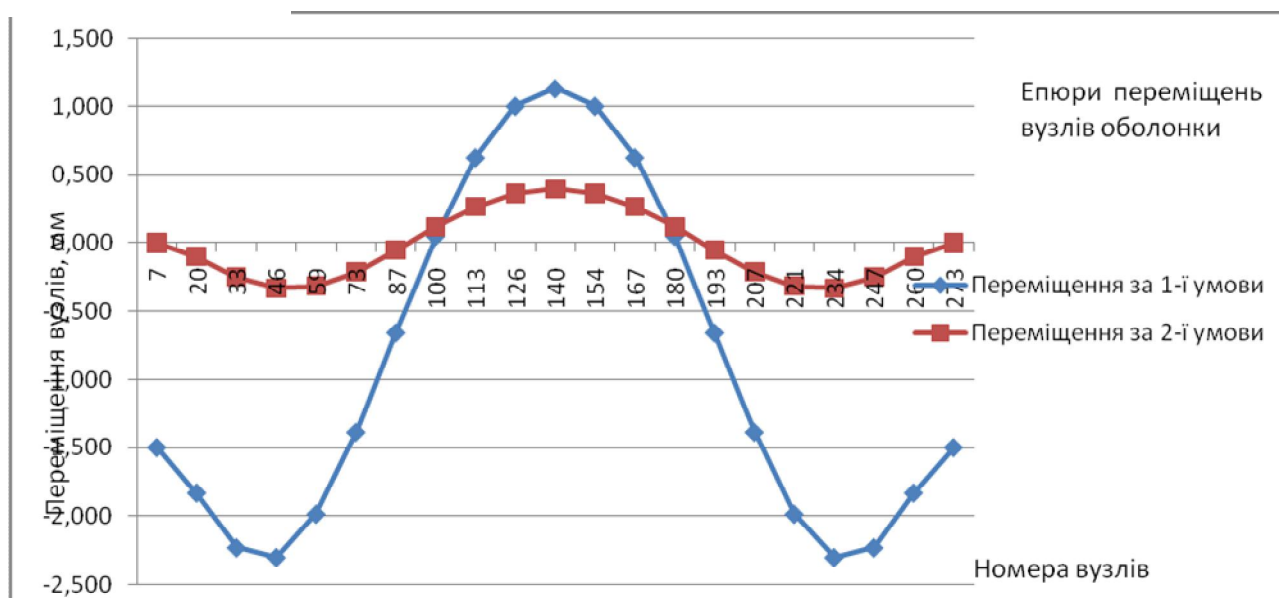


Рисунок 3.19. Переміщення середньої зони поля оболонки за перерізом 1-1

Для того, щоб отримати табличні результати переміщень поля ,потрібно обрати опцію „Интерактивные таблицы” та вивести на екран «Таблицу узлов», рисунок 3.20.

В діалоговому вікні, що відкриється, обираємо „Перемещения”, підтверджуємо ставимо (ставимо галочку) – „Для выбранных узлов” (для цього їх потрібно виділити на схемі у червоний колір) та отримуємо таблицю, де наведені переміщення лише вибраних (інвертованих) вузлів, рисунок 3.20.

Таблица узлов

№ узла	Перемещения						№ загруз	Составл
	X (см)	Y (см)	Z (см)	UX рад*1000	UY рад*1000	UZ рад*1000		
57	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1	-
82	0.204	0.000	-0.121	0.032	3.180	0.157	1	-
107	0.491	0.001	-0.311	0.176	2.675	0.337	1	-
132	0.630	0.005	-0.416	0.269	0.650	0.427	1	-
157	0.598	0.011	-0.390	0.266	-1.536	0.406	1	-
182	0.455	0.020	-0.247	0.176	-3.143	0.310	1	-
207	0.281	0.031	-0.033	0.029	-3.879	0.189	1	-
232	0.134	0.042	0.200	-0.136	-3.741	0.087	1	-
257	0.042	0.052	0.402	-0.283	-2.892	0.024	1	-
282	0.005	0.059	0.537	-0.383	-1.564	0.000	1	-
307	0.000	0.061	0.585	-0.418	0.000	0.000	1	-
332	-0.005	0.059	0.537	-0.383	1.564	0.000	1	-
357	-0.042	0.052	0.402	-0.283	2.892	-0.024	1	-
382	-0.134	0.042	0.200	-0.136	3.741	-0.087	1	-
407	-0.281	0.031	-0.033	0.029	3.879	-0.189	1	-
432	-0.455	0.020	-0.247	0.176	3.143	-0.310	1	-
457	-0.598	0.011	-0.390	0.266	1.536	-0.406	1	-
482	-0.630	0.005	-0.416	0.269	-0.650	-0.427	1	-
507	-0.491	0.001	-0.311	0.176	-2.675	-0.337	1	-
532	-0.204	0.000	-0.121	0.032	-3.180	-0.157	1	-
557	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1	-

Рисунок 3.20 Табличне значення переміщень вузлів поля оболонки

До таблиці „Переміщення вузлів оболонки в перерізі 1-1” в бланці практичної роботи заносимо значення переміщень відповідних вузлів по вісі Z.

Обираємо із отриманої таблиці максимальну за значенням величину переміщення в мм для першої та для другої умов порівняння конструкції. Обчислюємо максимальний допустимий прогин конструкції за формулою (1):

$$[f_u] = \frac{l}{300} \quad (1)$$

де $[f_u]$ - допустимий прогин оболонки;

L – проліт конструкції в см (розмір „2a” оболонки за завданням)

Порівнюємо $[f_u]$ з найбільшим за значенням величини переміщення вузла конструкції для двох умов порівняння конструкції. Робимо відповідні висновки щодо того, чи задовольняє дана конструкція вимогам II групи граничних станів.

Бланки графіків переміщень вузлів наведені в бланку практичної роботи.

Аналіз напруженого стану оболонки

Для аналізу напруженого стану циліндричної оболонки потрібно обчислити головні напруження за головними напрямками кінцевих елементів типу пластина.

Картина розподілу напружень дозволяє зрозуміти де та в яких саме місцях в поле оболонки виникають максимально стиснуті чи розтягнуті напруження, що викликають процес тріщини утворення та на які подальше потрібно провести розрахунок поля оболонки за 1 групою граничних станів.

В режимі „Результаты расчета” обираємо опцію „Усилия”, в якому відкриваємо діалогове вікно „ЛИТЕРА” – обчислення головних та еквівалентних напружень. В діалоговому вікні, що відкриється, ставимо галочку напроти опції „вычисление главных напряжений по усилиям» (рисунок 3.22) та підтверджуємо операцію натисканням кнопки „Подтвердить”.

В опції зусилля (або при натисканні відповідної кнопки) обираємо пункт „Изополя”, далі „Изополя главных напряжений” , далі значення головних напружень за головними напрямками N1 (або N3). Після виконаних операцій отримуємо епюри головних напружень в елементах типу пластини розрахункової схеми.

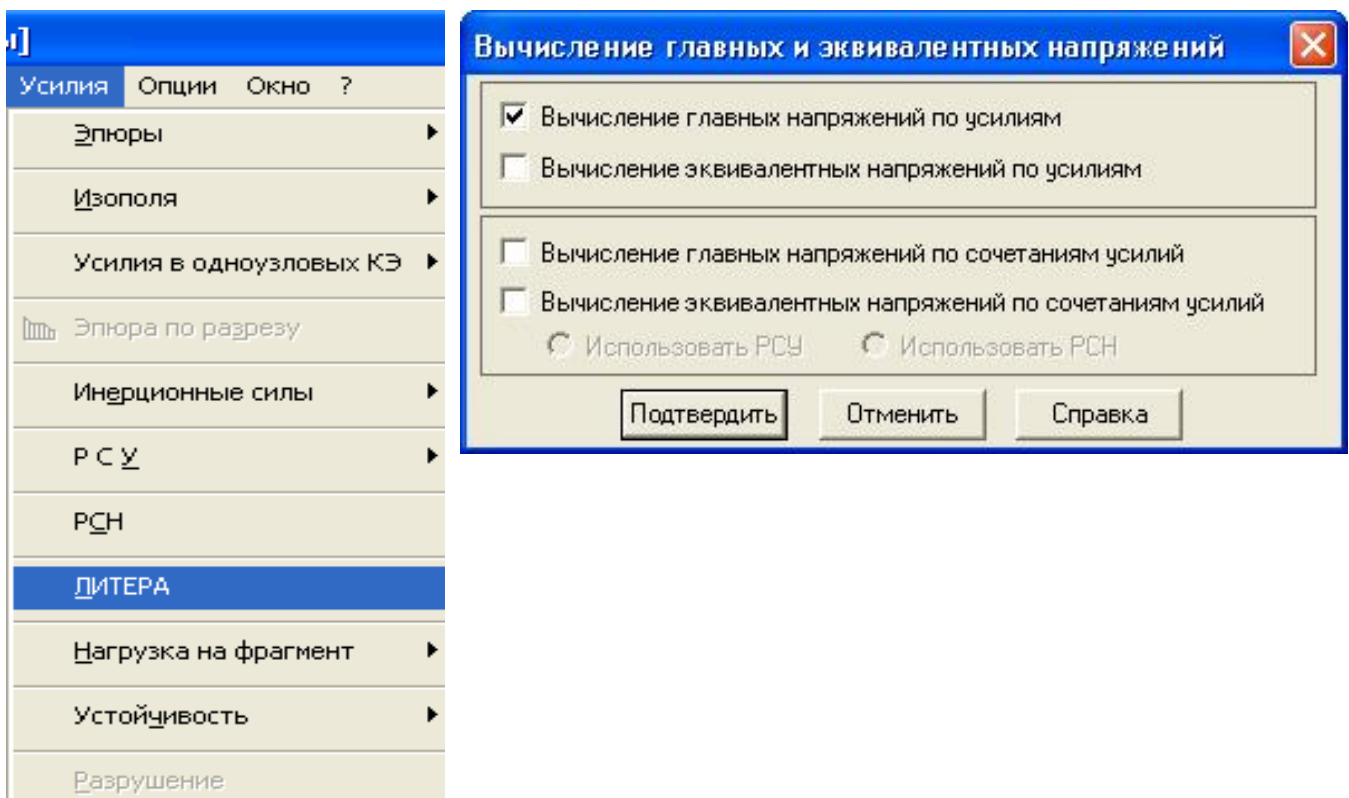


Рисунок 3.22 Діалогові вікна при обчисленні головних напружень за головними напрямками в кінцевих елементах типу пластина

Після проведення розрахунку, отримані результати можна вивести в графічному вигляді - епюри головних напружень в кольоровому варіанті. Для цього, вибираючи опцію «Усилия»- «Изополя»-«Изополя главных напряжений», рисунок 3.23, отримуємо епюри головних напружень.

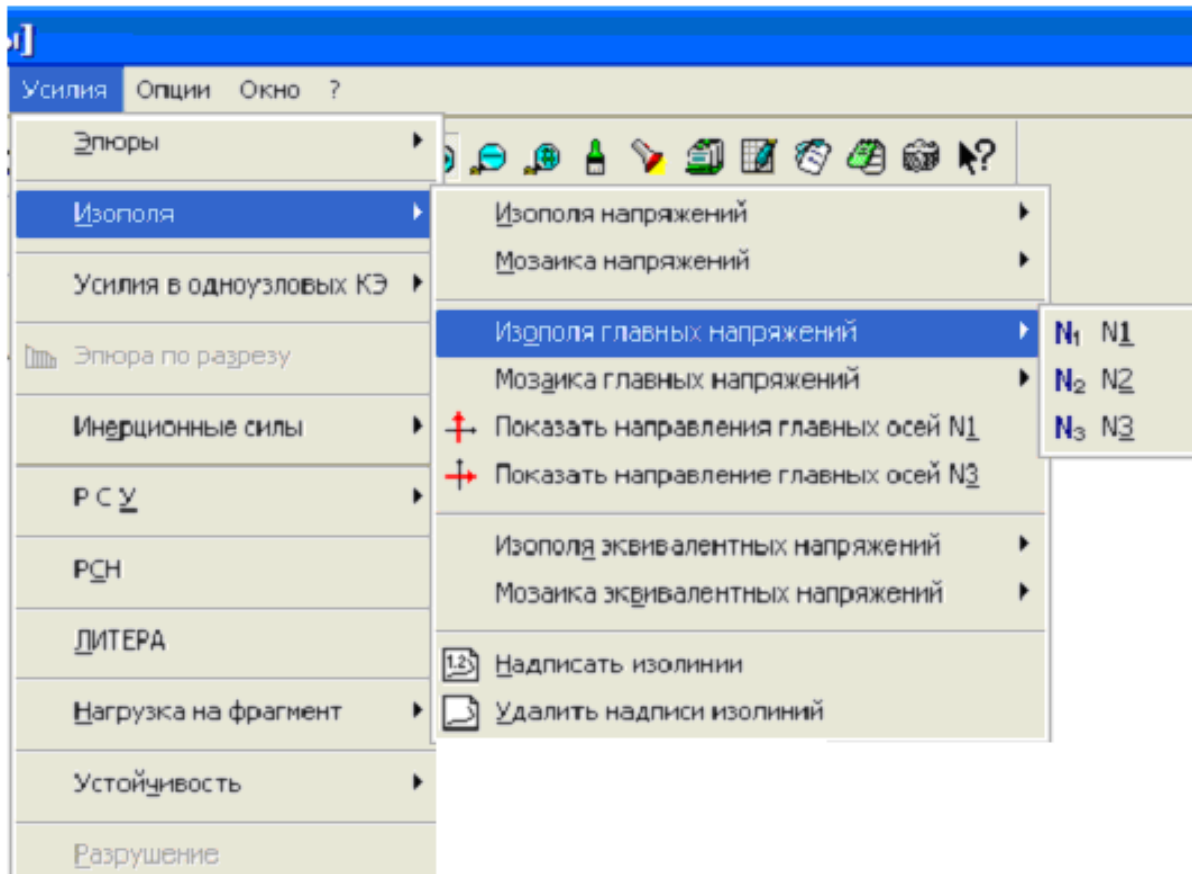


Рисунок 3.23 Діалогове вікно для отримання епюри в ізополях головних напружень

Самі епюри розподілу головних напружень за головними напрямками N1 та N3 зображено: на рисунку 3.24 для оболонки, що опирається за першою умовою, а на рисунку 3.25 для оболонки, що опирається за другою умовою опираю.

Студенту слід розібратися в картині складного напруженого стану конструкції по головним вісям та зробити відповідні висновки з записом їх до розділу „Висновки” бланку практичної роботи. Слід звернути увагу на характер і знак напруження в центральній зоні оболонки та при опірних зонах.

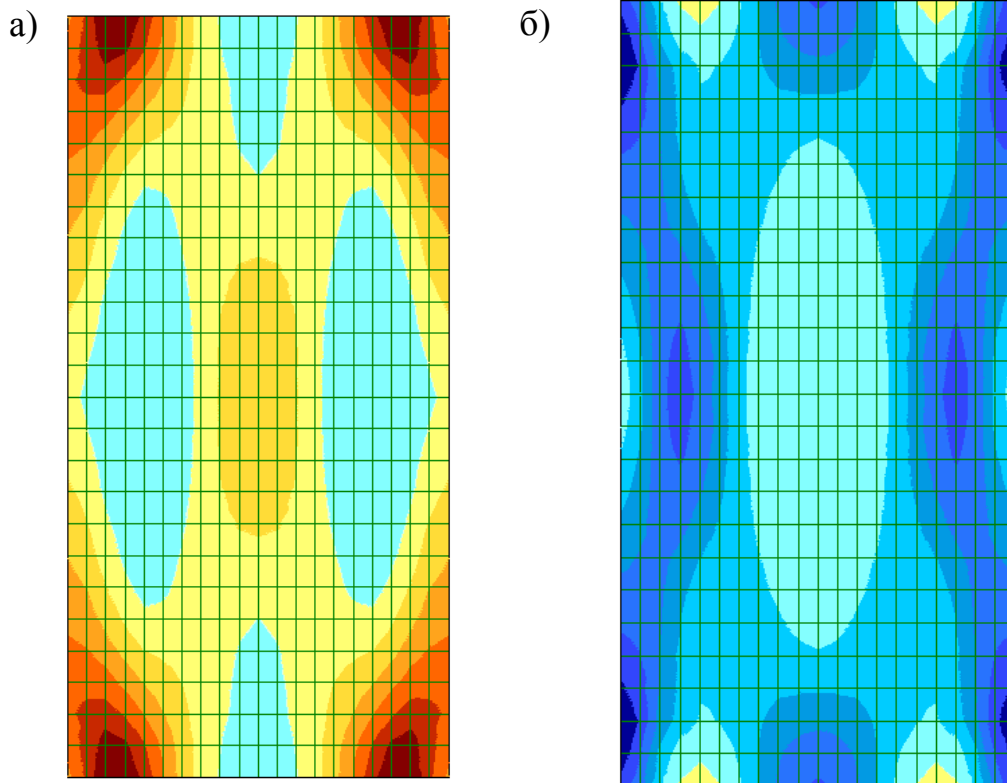


Рисунок 3.24 Ізополя головних напружень за головними напрямками
 (1-ша умова спирання конструкції:
 а – головні напруження N1; б- головні напруження N3)

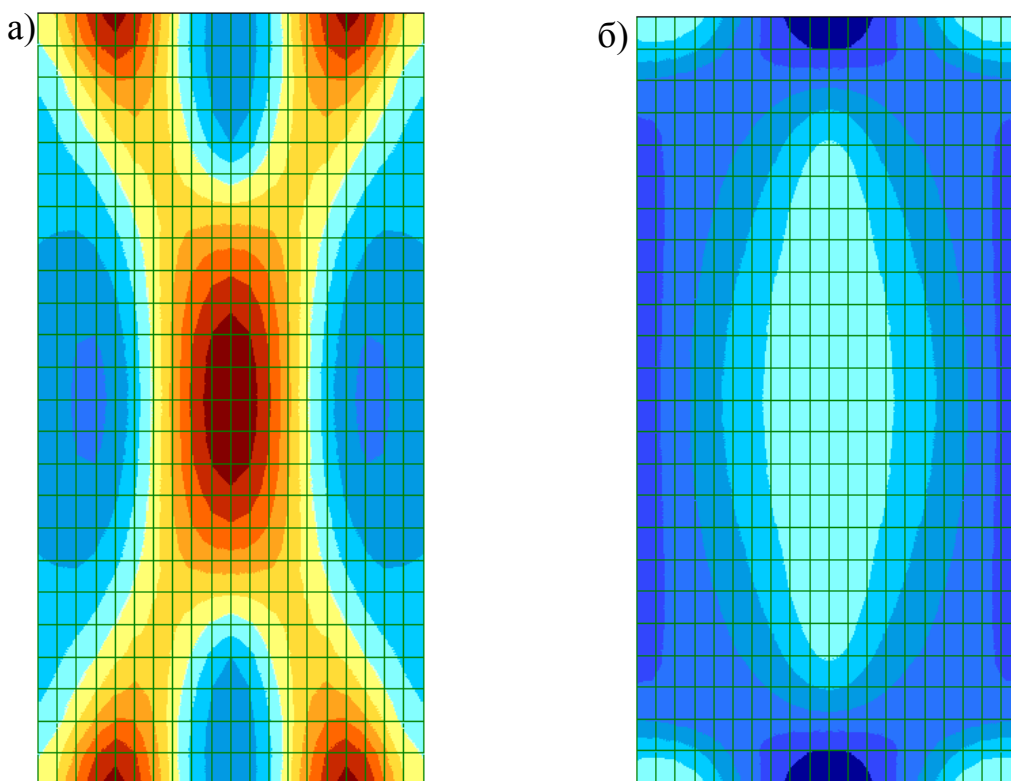


Рисунок 3.25 Ізополя головних напружень за головними напрямками
 (2-га умова спирання конструкції:
 а – головні напруження N1; б- головні напруження N3)

Для отримання чисельного характеру розподілу головних напружень потрібно побудувати графіки (епюри) головних напружень N_1 та N_3 за умовами порівняння, що вказані в завданні та отримати таблицю їх значень. Для цього потрібно визначити характерні напрямки, вздовж яких будуть кінцеві елементи з максимальними значеннями напружень стиску чи розтягу.

В режимі „Результаты расчета» інвертуємо КЕ типу пластина, наприклад, в перерізі 1-1 як вказано на рисунок 3.26.

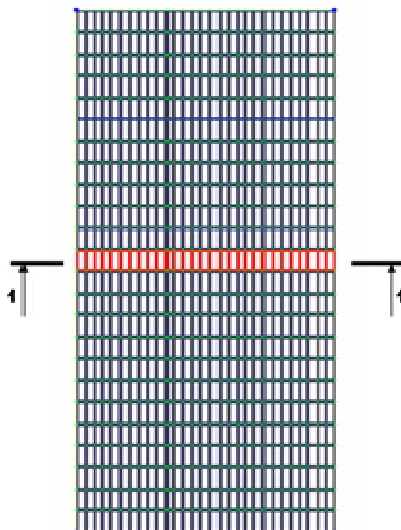


Рисунок 3.26 Один з характерних перерізів 1-1 кінцевих елементів, для яких визначаються величини головних напружень

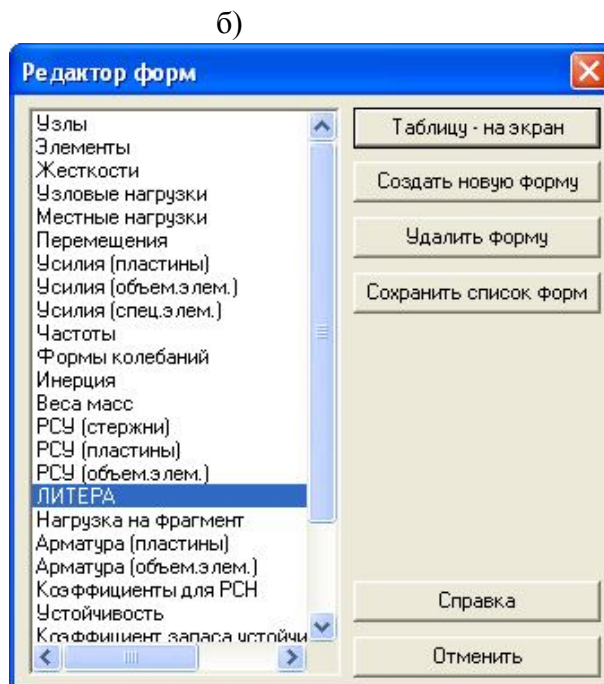
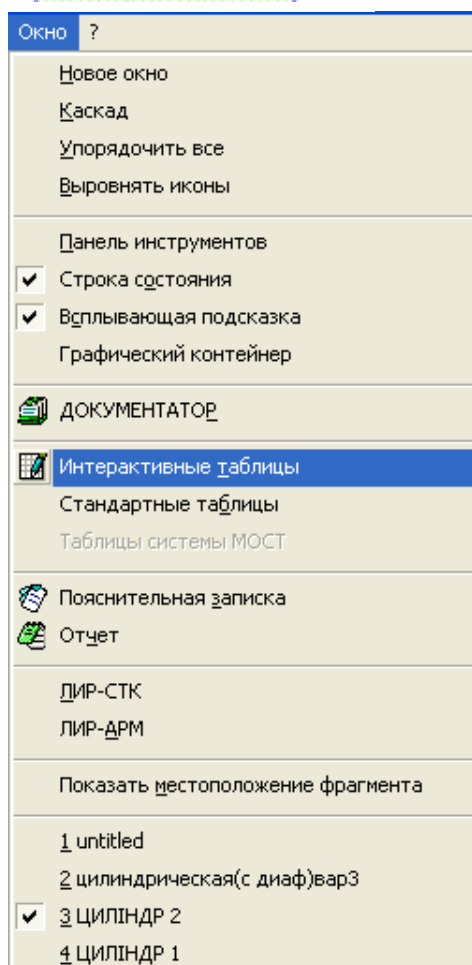


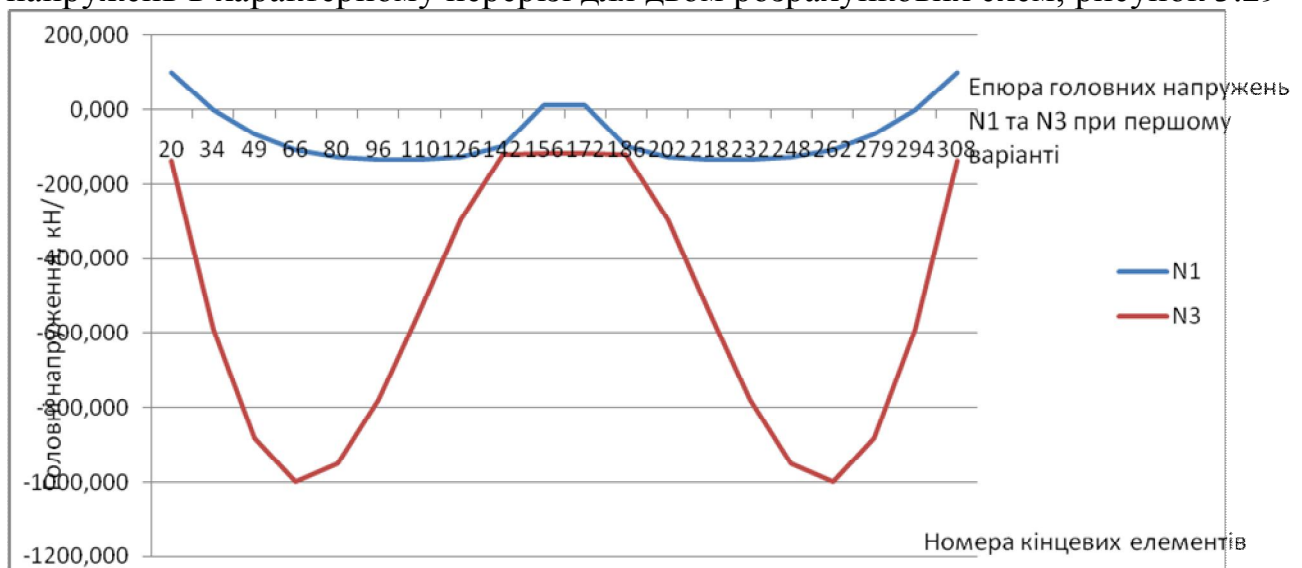
Рисунок 3.27 Діалогові вікна для виклику інтерактивних таблиць головних напружень поля оболонки

В меню «Окно» обираємо опцію «Інтерактивні таблиці», і в діалоговому вікні «Редактор форм», що відкриваємо, вибираємо пункт „ЛИТЕРА” (рисунок 3.27). У вікні, що відкрилося, ставимо радіо перемикач „Для выбранных элементов» та «Для одного загрузки» та отримуємо таблицю головних напружень, рисунок 3.28.

Таблица главных усилий																
№ элем	№ точки	Кр-й (PCУ)	Напряжения			Главные напряжения			Углы			Nu	Экв. напряжения		Тип элем	№ загр
			Nx (т/м**2)	Ty (т/м**2)	Tz (т/м**2)	N1 (т/м**2)	N2 (т/м**2)	N3 (т/м**2)	Fi (град)	Psi (град)	Teta (град)		NE (т/м**2)	NS (т/м**2)		
58	Н	0	0.000	0.000	0.000	161.525	0.000	30.640	-86.529	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
58	С	0	0.000	0.000	0.000	-12.482	0.000	-58.066	2.137	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
58	В	0	0.000	0.000	0.000	-55.634	0.000	-277.628	2.924	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
82	Н	0	0.000	0.000	0.000	-18.780	0.000	-91.728	-9.947	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
82	С	0	0.000	0.000	0.000	-12.621	0.000	-51.379	3.436	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
82	В	0	0.000	0.000	0.000	8.808	0.000	-26.300	38.110	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
106	Н	0	0.000	0.000	0.000	-45.595	0.000	-210.116	-1.964	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
106	С	0	0.000	0.000	0.000	-11.595	0.000	-45.458	5.369	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
106	В	0	0.000	0.000	0.000	121.040	0.000	20.565	83.124	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
130	Н	0	0.000	0.000	0.000	-48.617	0.000	-233.537	1.629	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
130	С	0	0.000	0.000	0.000	-8.427	0.000	-40.276	7.241	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
130	В	0	0.000	0.000	0.000	153.907	0.000	30.841	88.739	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
154	Н	0	0.000	0.000	0.000	-33.957	0.000	-191.976	5.581	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
154	С	0	0.000	0.000	0.000	-2.766	0.000	-35.728	8.017	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
154	В	0	0.000	0.000	0.000	120.723	0.000	28.222	-86.155	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
178	Н	0	0.000	0.000	0.000	-7.120	0.000	-113.216	12.026	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
178	С	0	0.000	0.000	0.000	4.958	0.000	-31.756	7.382	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
178	В	0	0.000	0.000	0.000	51.199	0.000	15.541	-68.267	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
202	Н	0	0.000	0.000	0.000	29.437	0.000	-24.760	29.336	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
202	С	0	0.000	0.000	0.000	13.720	0.000	-28.438	5.867	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
202	В	0	0.000	0.000	0.000	13.791	0.000	-47.903	-14.097	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
226	Н	0	0.000	0.000	0.000	88.785	0.000	34.468	66.127	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
226	С	0	0.000	0.000	0.000	22.135	0.000	-25.897	4.095	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
226	В	0	0.000	0.000	0.000	1.739	0.000	-132.514	-5.697	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
250	Н	0	0.000	0.000	0.000	152.406	0.000	62.205	81.285	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
250	С	0	0.000	0.000	0.000	28.754	0.000	-24.204	2.379	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
250	В	0	0.000	0.000	0.000	-6.518	0.000	-198.993	-2.718	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
274	Н	0	0.000	0.000	0.000	188.638	0.000	75.458	87.596	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
274	С	0	0.000	0.000	0.000	32.393	0.000	-23.365	0.777	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
274	В	0	0.000	0.000	0.000	-10.846	0.000	-235.195	-0.826	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1
298	Н	0	0.000	0.000	0.000	188.638	0.000	75.458	-87.596	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	44	1

Рисунок 3.28. Таблица величин головних напружень, для выбранных элементов в перерізі 1-1.

Заносимо дані до програми EXCELL та отримуємо графіки розподілу головних напружень в характерному перерізі для двом розрахункових схем, рисунок 3.29



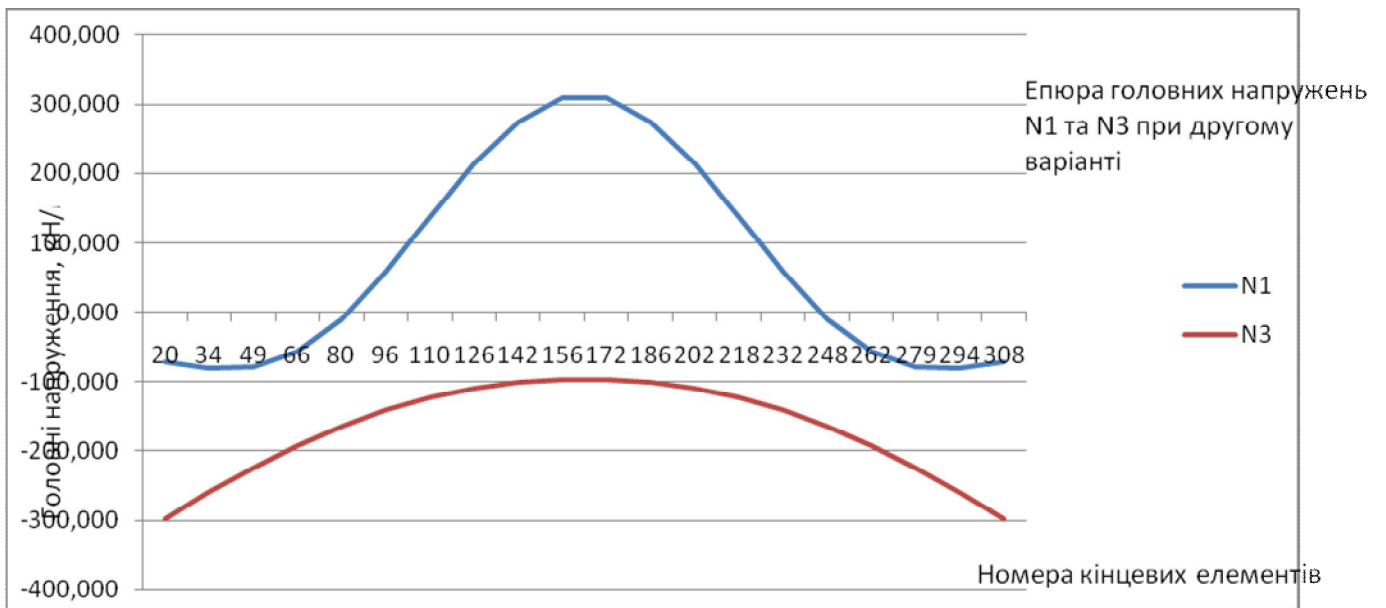


Рисунок 3.29. Епюри (графіки розподілу) головних напружень поля оболонки з двому умовами її опирання

Розрахунок поля оболонки за 1 групою граничних станів.

Отримані величини напружень повинні бути сприйняті як самим полем оболонки так і з урахуванням його армування.

Процес тріщиноутворення в циліндричній оболонці виглядає таким чином, рисунок 3.30 (а), відповідно чому, проводиться і армування оболонки, рисунок 3.30 (б)

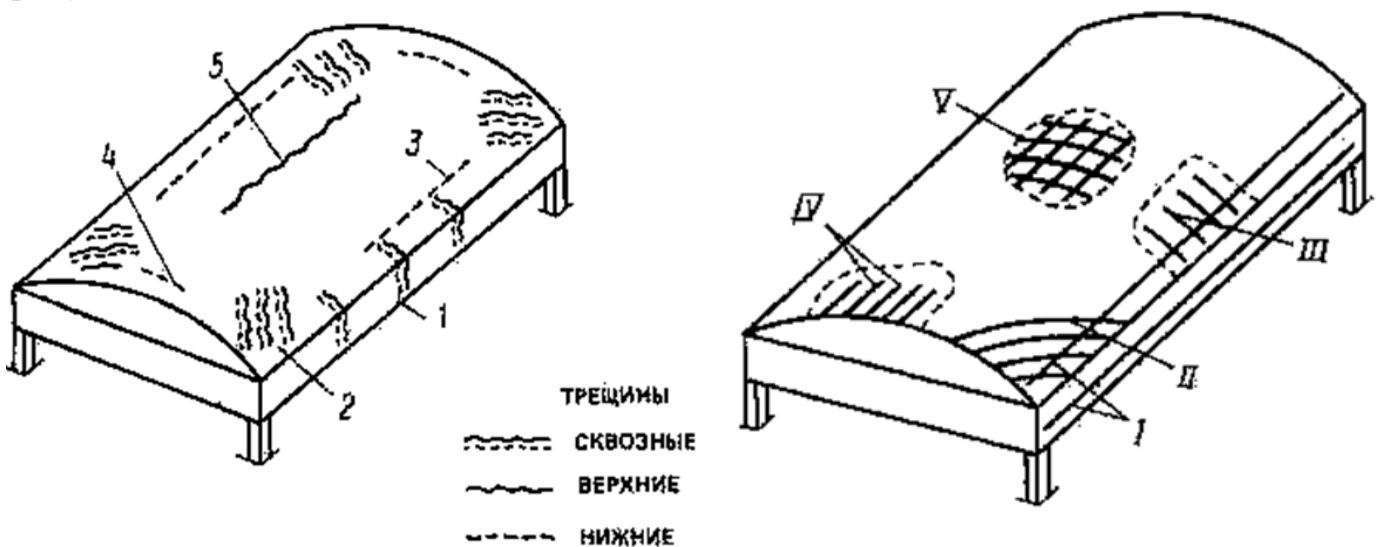


Рисунок 3.30 Тріщиноутворення та армування циліндричної оболонки.

Повинні виконуватися умови міцності для поля оболонки:

1. Умови міцності перерізу на стиск: $\sigma_{z12}^- \leq R_b$
2. Умова міцності перерізу на розтяг: $\sigma_{z11}^+ \leq 3R_{bt}$ $\sigma_{z11}^+ \leq R_{bt}$

Якщо ці умови виконуються, можна подалі проводити її армування, з урахуванням слідуючих рекомендацій

➤ в тих ділянках оболонки, де головні напруження розтягу бетону менше $\sigma_{+_{zl}} \leq R_{bt}$ установлюють конструктивно арматуру. Ці сітки розміщують у серединній поверхні оболонки;

➤ в тих ділянках оболонки де $\sigma_{+_{zl}} > R_{bt}$ внутрішні зусилля оболонки повинні повністю передаватися тільки арматурі-переріз арматури повинен

$$A_s = \frac{N_{\max}}{R_s}$$

бути не менш ніж 70% від розрахованого: $A_s = \frac{N_{\max}}{R_s}$, де N_{\max} - максимальне зусилля розтягу, яке отримано зі статичного розрахунку оболонки чи величина повного об'єму епюри зусиль розтягу на опорі.

➤ арматура типу I- армування $\phi 5 \dots 6$ мм у вигляді сіток із кроком стержнів 150...250 мм і площею стержнів в кожному напрямку не менш 0,2 % від бетонного перерізу оболонки;

➤ арматура типу II- на сприйняття головних напружень розтягу, де $\sigma_{+_{zl}} > R_{bt}$ - її встановлюють у вигляді сіток під кутом 45° чи ортогональні, анкетування проводиться в бортових елементах;

➤ арматура типу III та IV на сприйняття моменту $M \leq \cos \varphi R_s A_s \gamma_s h_o$ згину

➤ арматура типу V- $\phi 4 \dots 5$ мм у вигляді сіток із кроком стержнів 100...160 мм і площею стержнів в кожному напрямку не менш 0,2 % від бетонного перерізу оболонки;

Потрібно провести розрахунок щодо визначення потрібної товщини поля оболонки за величинами головних напружень згідно формул :

$$\delta = \frac{N^{-}_{zl} \cdot \delta_{\text{прийняте}}}{R_b} \quad \delta = \frac{N^{+}_{zl} \cdot \delta_{\text{прийняте}}}{R_{bt}}$$

та зробити висновок

5.Висновки щодо розрахунку конструкції.

Розрахунок циліндричної оболонки з двома умовами її опирання проводиться з метою вивчення впливу зміни умови опирання на напружено-деформований стан конструкції. Для більш зручного проведення аналізу, необхідно провести виборку результатів розрахунку та навести в таблиці 2.1

Результати статичного розрахунку конструкції

Таблиця 2.1.

Максимальні переміщення вузлів, мм		Максимальні нормальні напруження стиску, кН/м ²		Максимальні нормальні напруження розтягу, кН/м ²	
варіант 1	варіант 2	варіант 1	варіант 2	варіант 1	варіант 2
2,3	0,331	138,095	298,341	99,351	308,845

3.2 Завдання до виконання практичної роботи

Варіант	Розміри оболонки в плані , м		Клас бетону	Формула твірної	Місце будівництва
	a	b			
1	9	12	B15	$z = -3 \frac{x^2}{15^2}$	Кременчук
2	9	12	B25	$z = -3 \frac{x^2}{15^2}$	Рівне
3	9	12	B15	$z = -3 \frac{x^2}{15^2}$	Южноукраїнськ
4	9	12	B15	$z = -3 \frac{x^2}{15^2}$	Полтава
5	9	12	B15	$z = -3 \frac{x^2}{15^2}$	Суми
6	9	12	B30	$z = -3 \frac{x^2}{15^2}$	Чернігів
7	9	12	B25	$z = -3 \frac{x^2}{15^2}$	Черкаси
8	6	18	B25	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Тернопіль
9	6	18	B30	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Симферополь
10	6	18	B30	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Глухів
11	6	18	B15	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Умань
12	6	18	B15	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Євпаторія
13	6	24	B25	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Севастополь
14	6	24	B20	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Трускавець
15	6	24	B20	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Лебедин
16	6	24	B35	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Харків
17	6	24	B20	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Купянськ
18	6	24	B15	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Ізюм
19	6	24	B15	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Охтирка
20	6	24	B20	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Ужгород

21	6	24	B20	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Конотоп
22	6	24	B30	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Херсон
23	6	24	B20	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Мукачеве
24	6	24	B20	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Київ
25	6	24	B30	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Дніпропетровськ
26	6	24	B15	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Луганськ
27	6	24	B25	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Одеса
28	6	24	B25	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Миколаїв
29	6	24	B30	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Івано- Франківськ
30	6	24	B35	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Запоріжжя
31	3	12	B20	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Феодосія
32	3	12	B15	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Нежин
33	3	12	B25	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Львів
34	3	12	B25	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Кривий Рів
35	3	12	B30	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Славута
36	3	12	B20	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Мелітополь
37	3	12	B15	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Винниця
38	3	12	B35	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Чернівці
39	3	12	B25	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Переяслав- Хмельницький
40	3	12	B20	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Луцьк

4. Практична робота №3 «Розрахунок і конструювання оболонки у формі еліптичного параболоїду на прямокутному плані».

Мета роботи:

Порядок роботи

Оболонка еліптичного параболоїду є оболонкою додатної Гаусової кривини та має кривину поверхні у взаємно протилежних напрямках, на відміну від циліндричної оболонки. Приведемо приклад розрахунку квадратної в плані оболонки покриття.

Вихідні дані:

- конструкція покриття – монолітна залізобетонна
- стріла підйому $f_1 = f_2 = 5$ м;
- розмір половини сторони $a = 18$ м $b = 18$ м;
- місце будівництва – м. Київ;
- матеріал конструкції – бетон класу В25

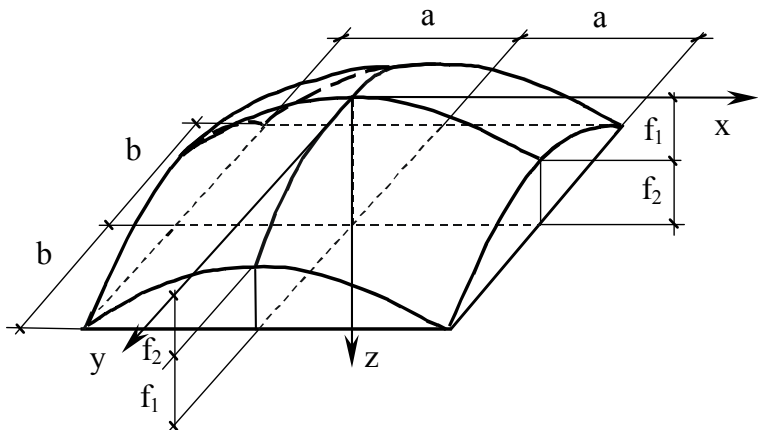


рисунок 4.1. Схема еліптичного параболоїду

Статичний розрахунок оболонки виконуємо за наступним алгоритмом:

1. Створення розрахункової схеми.

Тому розрахункову схему моделюємо за допомогою спеціальної опції «Создание поверхностей», рисунок 4.2

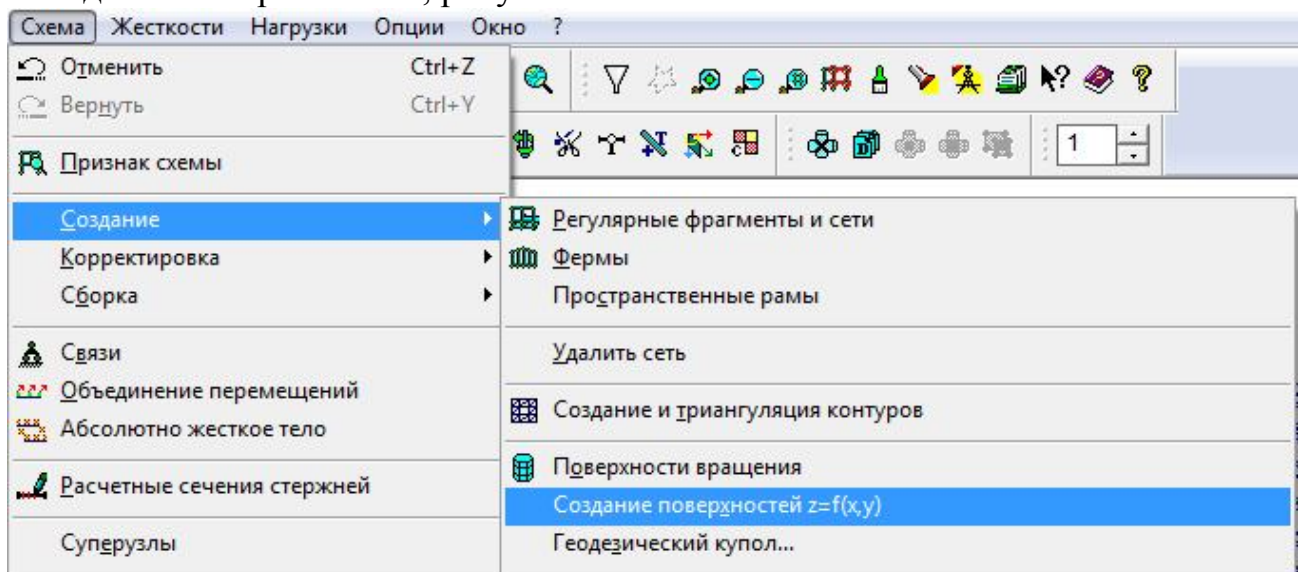


Рисунок 4.1. До створення розрахункової схеми оболонки еліптичного параболоїду

Для заповнення таблиці, що дозволяє створити схему, потрібно задати рівняння поверхні оболонки. Приймаємо, що еліптичний параболоїд буде описано за рівнянням параболы, тоді рівняння поверхні можна записати:

$$z = \frac{f_1}{a^2} x^2 + \frac{f_2}{b^2} y^2$$

Заповнюємо таблицю, що викликається опцією «Создание поверхностей», як це показано на рисунку 4.3

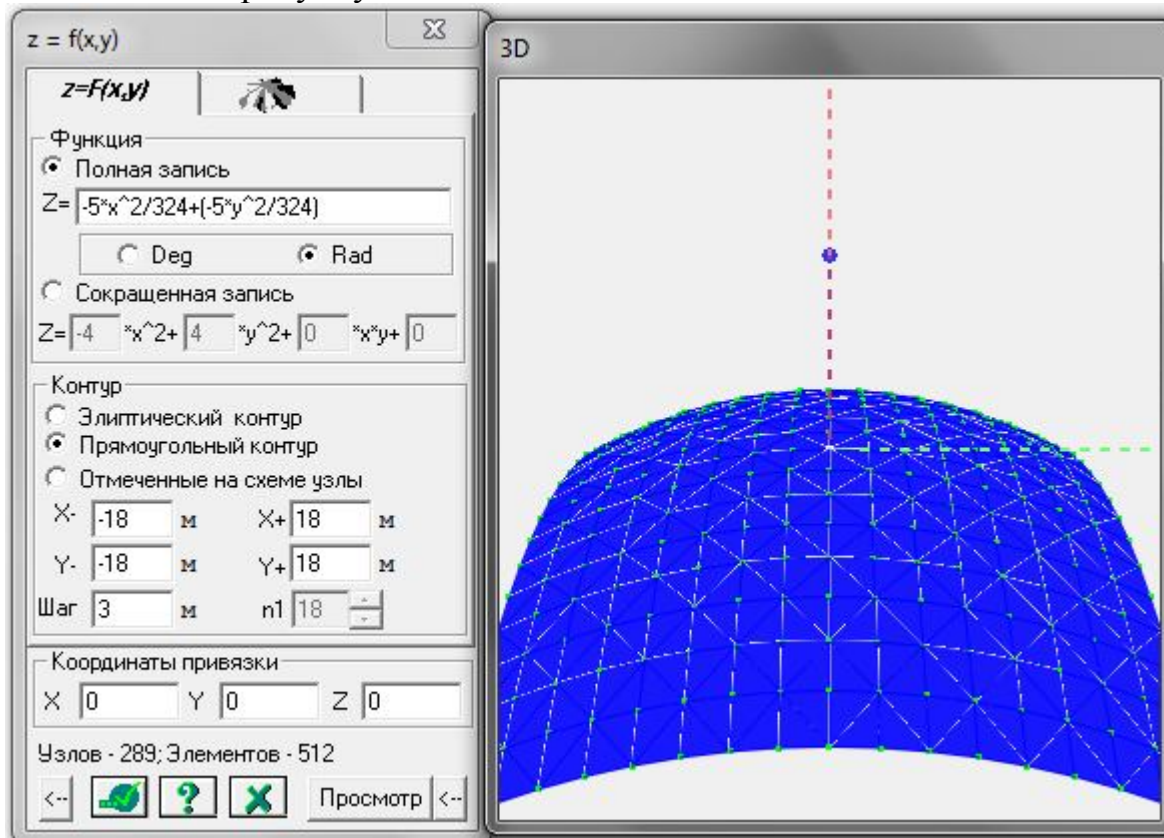


Рисунок 4.3. Формування розрахункової схеми оболонки покриття. Та отримуємо розрахункову схему з центром координат, рисунок 4.4.

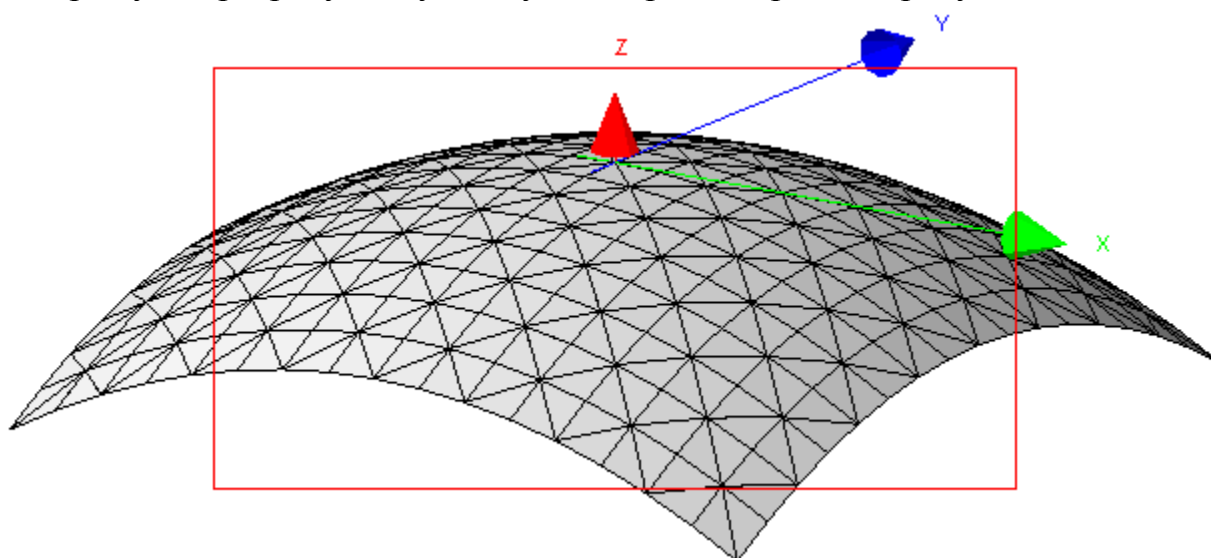
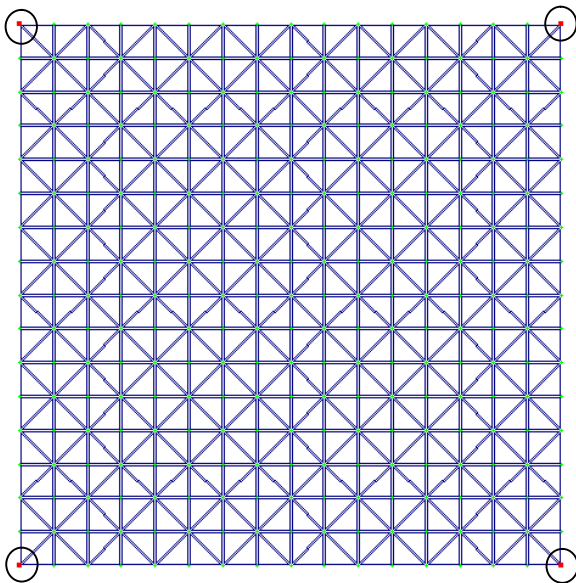


Рисунок 4.4. Розрахункова схема оболонки покриття.

3. Завдання крайових умов конструкції

Згідно завдання, опирання конструкції передбачено по чотирьом кутам.

Інвертуємо чотири опорних вузли, як показано на рисунок 4.5 (а) та закріпимо їх жорстко (рисунок 4.5(б))



б)

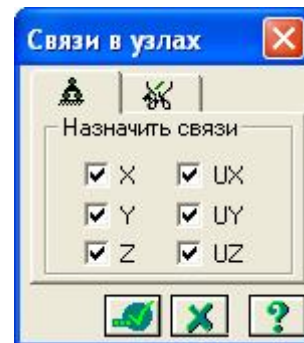


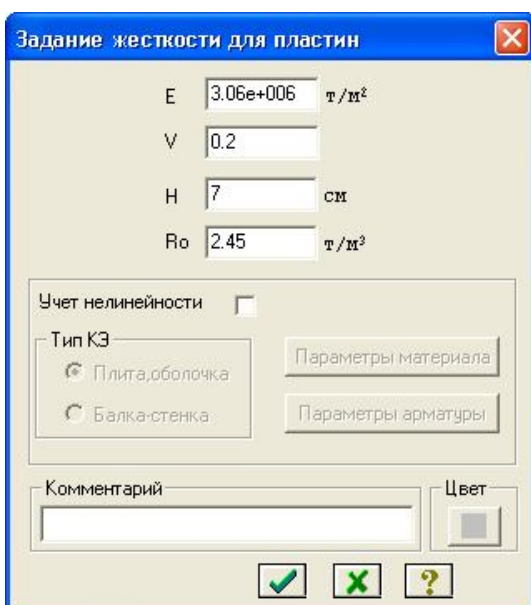
Рисунок 4.5 Розрахункова схема (а) виділені вузли, для моделювання умови опирання; (б) крайові умови опирання конструкції

2. Моделювання бортового елемента.

Бортовим елементом може бути як розкісна ферма, моделювання якої наведено в ПЗ.№2, пункт 2 (даної методички) чи у вигляді арки з затяжкою. Бортовий елемент –арка з затяжкою, моделюється стержньовими кінцевими елементами вздовж чотирьох сторін поля оболонки та їм присвоюється жорсткість, рисунок 3.8 та 3.9.

3. Задання жорсткісних параметрів кінцевих елементів

Задання жорсткісних параметрів поля оболонки та її бортових елементів, проводимо таким же яином, як і для циліндричної оболонки покриття.




У діалоговому вікні задаються параметри жорсткості пластин:

- модуль пружності (E) - із довідки згідно класу бетону в завданні;
- коефіцієнт Пуассона (ν) - із довідки в завданні;
- товщина плити (H) -приймається мінімально допустимою із конструктивних міркувань;
- питома вага матеріалу (Ro) - із довідки в завданні;

4. Призначення навантаження

Основними навантаженнями, що будуть діяти на конструкцію будуть власна вага конструкції та снігове навантаження (оскільки еліптичний параболоїд є пологим, то вітровим навантаженням нехтуємо).

Правило задання снігового навантаження та визначення його значення наведено в «Розділ 2 Практичне заняття №2 Розрахунок циліндричних оболонки, пункт 5.» Його також приймають рівномірно-розподіленим по полю оболонки, з величиною згідно варіанту до практичної роботи.

Власна вага також задається після присвоєння параметрів жорсткості кінцевим елементам, з указівкою питомої ваги матеріалу. Вибравши меню «Нагрузки», обираємо опцію «Добавить собственный вес» (рисунок 4.6,а). В вікні, що відкриється (рисунок 4.6,б) встановлюємо прапорець на «все элементы». Натисканням кнопки , підтверджуємо призначення власної ваги елементам оболонки.

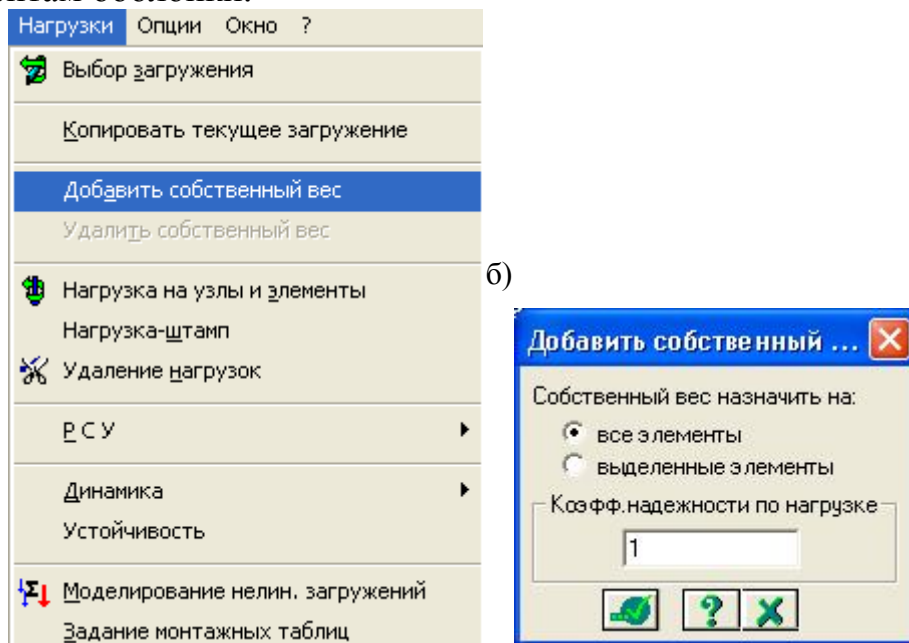
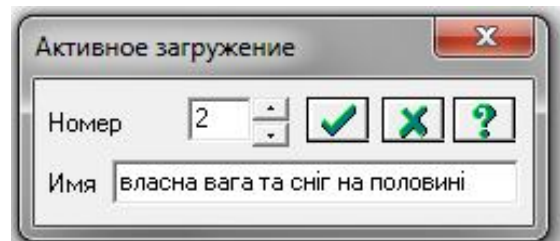
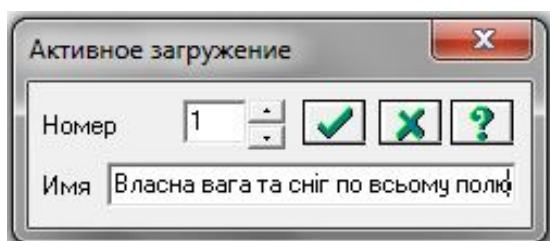


Рисунок 4.6 Призначення власної ваги елементам конструкції

Однією із можливих небезпечних ситуацій, яка може вплинути на роботу оболонки покриття є несиметричний розподіл снігу на поверхні покриття, наприклад його розташування на половині поля оболонки.

Тому, потрібно створити два типа завантаження покриття оболонки:

- 1-ше- власна вага оболонки + сніг по всій поверхні поля;
- 2-ге - власна вага оболонки + сніг $\frac{1}{2}$ поверхні поля;



Як це показано на рисунку 4.7.

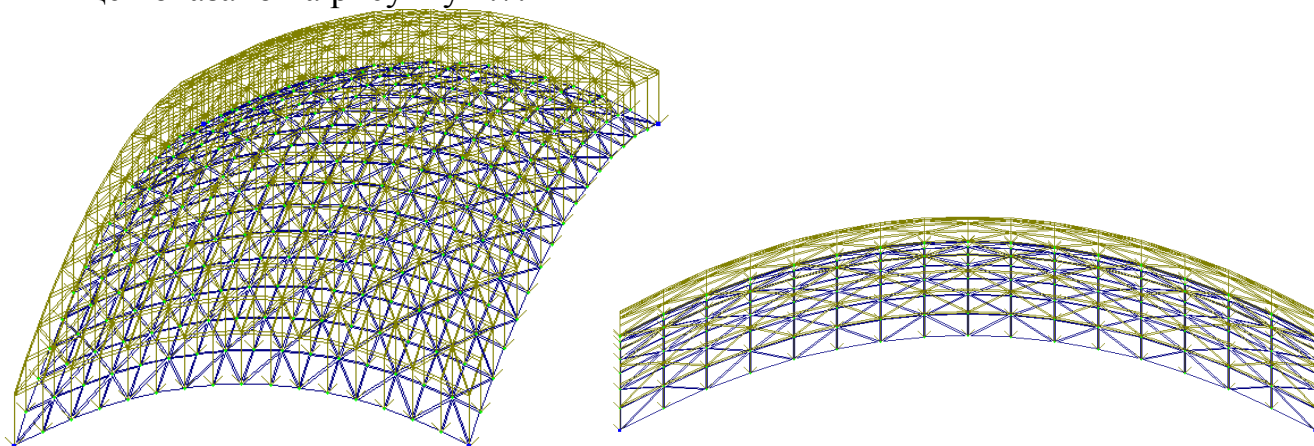


Рисунок 4.7. Активне завантаження №1-власна вага та сніг по всій поверхні поля оболонки

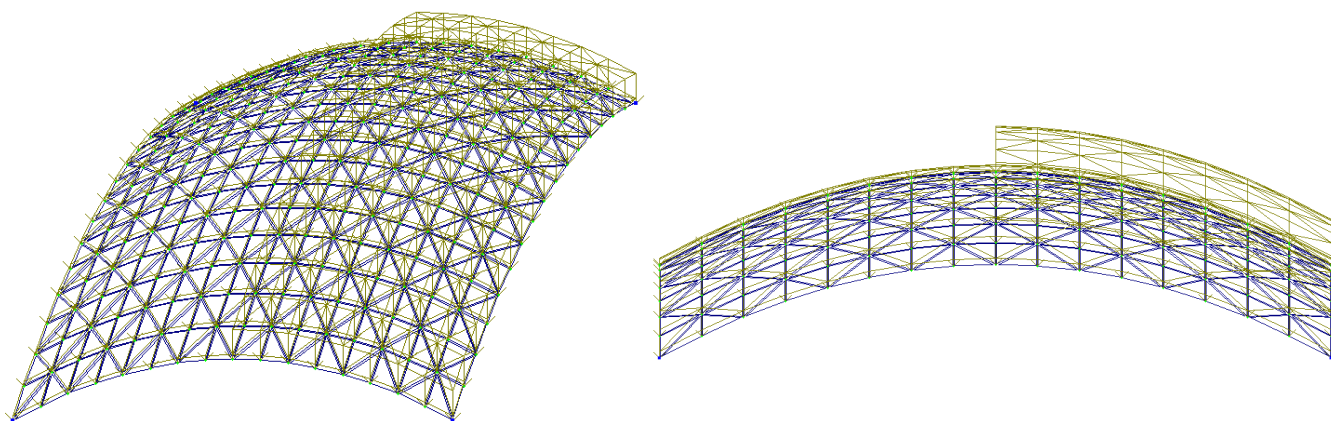



Рисунок 4.8. Активне завантаження №2 - власна вага та сніг на $\frac{1}{2}$ поверхні поля оболонки

6. Статичний розрахунок конструкції.

Після задання розрахункової схеми, моделювання умов спирання та завдання навантаження, необхідно провести розрахунок конструкції та проаналізувати отриманий напружено-деформований стан конструкції оболонки. Для цього необхідно вибрати в меню „Режим” опцію „выполнить расчет» або натиснути кнопку  та виконати розрахунок.

7. Аналіз напружено-деформованого стану оболонки

Результати розрахунку можна отримати лише вибравши в меню „Режим” опцію «Результаты расчета».

Аналіз напружено-деформованого стану оболонки проводиться *за двома видами умов завантаження поля оболонки сніговим навантаженням*, визначеного в завданні.

Аналіз деформативності конструкції

За 1-м типом навантаження оболонка отримала таку деформовану схему, рисунок 4.9.

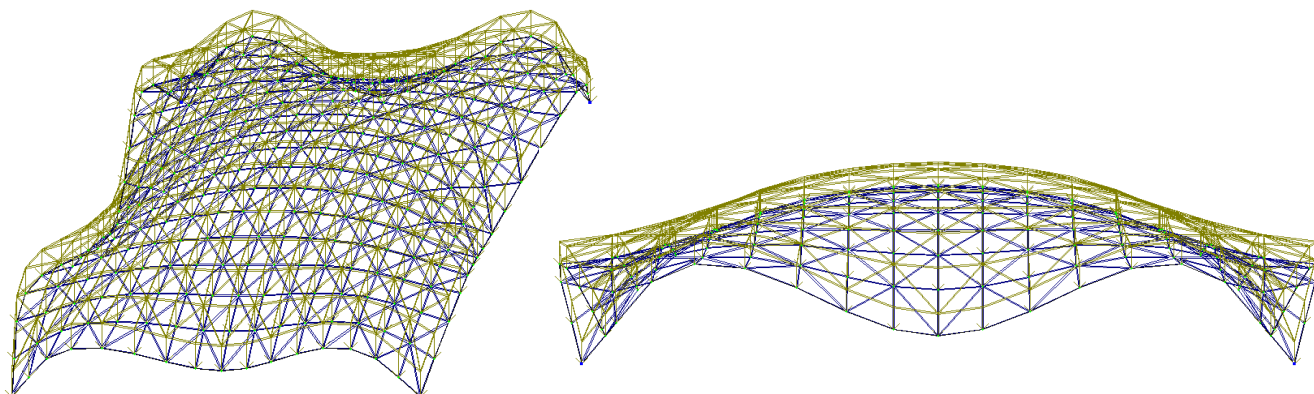


Рисунок 4.9. Деформована схема оболонки за 1-ю умовою завантаження поля

За 2-м типом навантаження оболонка отримала таку деформовану схему, рисунок 4.10.

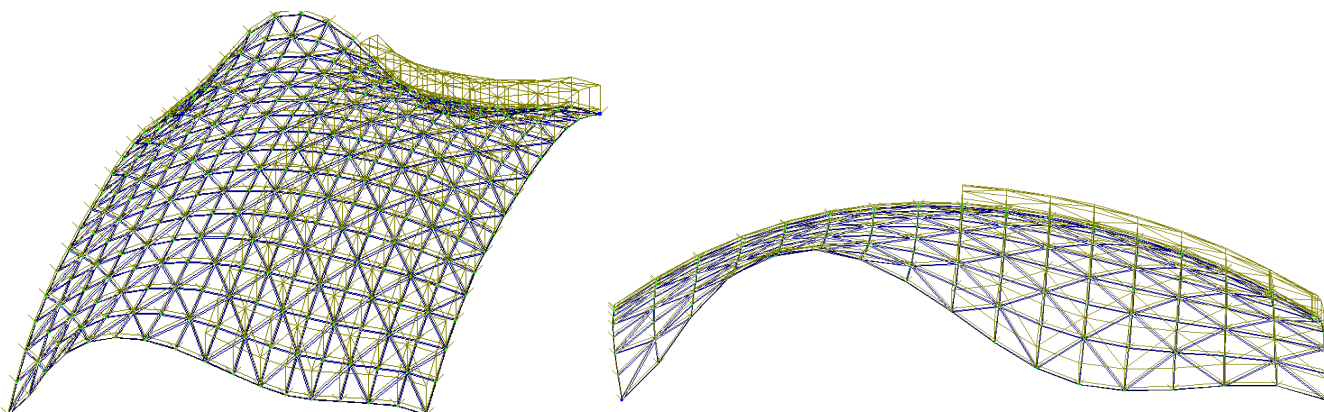
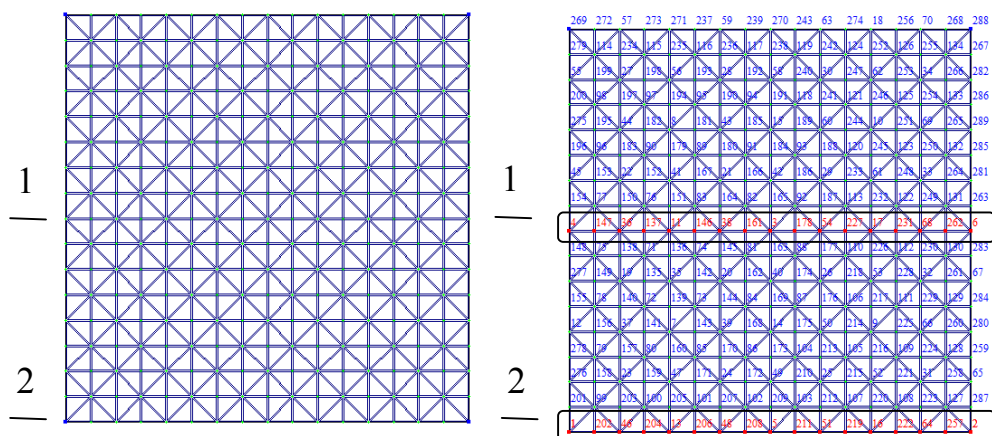


Рисунок 4.10. Деформована схема оболонки за 2-ю умовою завантаження поля

Для чисельного аналізу деформованої схеми поля оболонки потрібно в табличній формі, сформувані таблицю вертикальних переміщень вузлів поля оболонки за характерними перерізами 1-1 та 2-2, рисунок 4.11



**Рисунок 4.11
Схема оболонки з нумерацією вузлів її поля, які підлягають аналізу отриманих переміщень.**

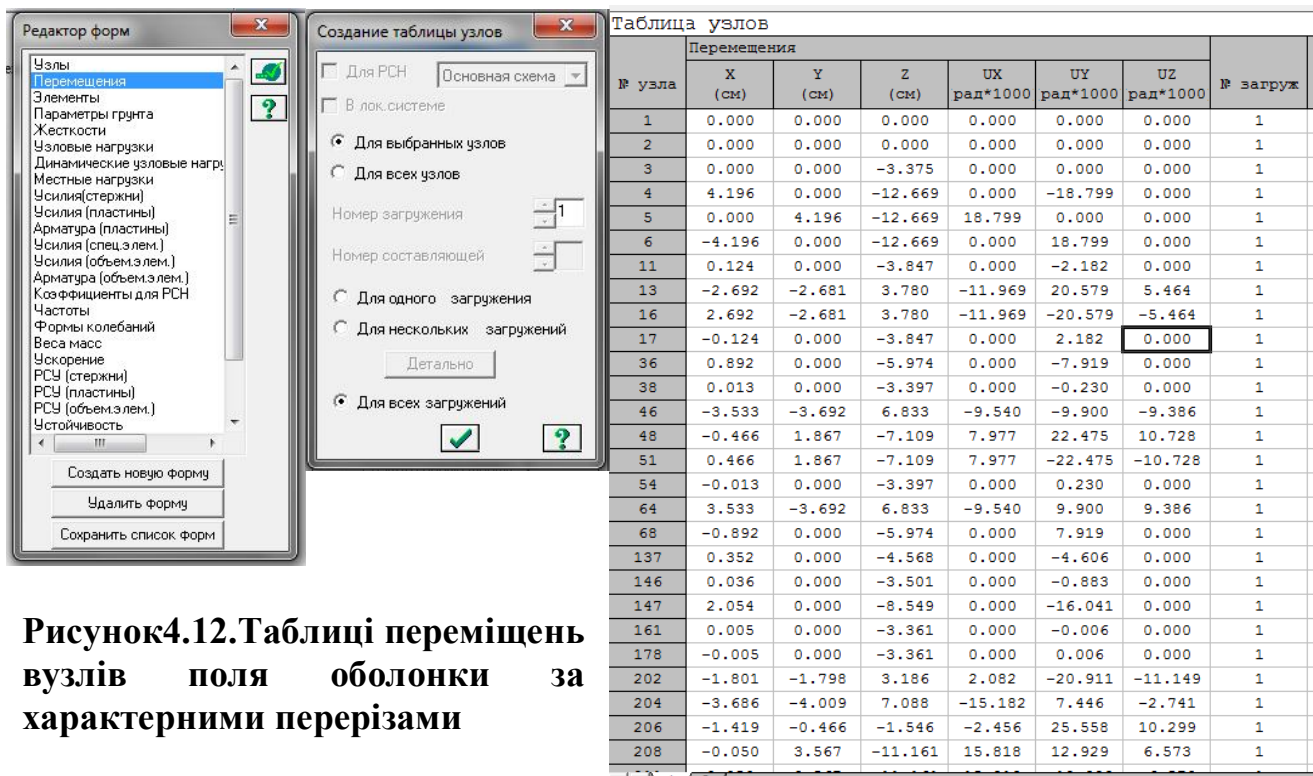


Рисунок 4.12. Таблиці переміщень вузлів поля оболонки за характерними перерізами

Отримані дані з таблиць, що наведені на рисунку 4.12, показують величини переміщень точок поля оболонки за перерізами 1-1 та 2-2. Будуємо епюри переміщень за перерізами 1-1 та 2-2 в програмі EXCELL, як це наведено в практичній роботі №2 даної методичної рекомендації. Згідно таблиці переміщень, максимальне переміщення отримала точка №5, що належить приконтурній зоні поля оболонки, величина поля склала 12.6см.

Обчислюємо максимальний допустимий прогин конструкції за формулою:

$$[f_u] = \frac{l}{300}$$

де $[f_u]$ - допустимий прогин оболонки;

l – проліт конструкції в см-3600см

В нашому випадку

$$[f_u] = \frac{l}{300} = \frac{3600}{300} = 12\text{см} \leq f = 12.6\text{см}$$

Як бачимо, прогин поля оболонки практично дорівнює максимально граничному значенню, навіть дещо його перевищує. Але це перевищення не суттєве. В інших точках величини переміщень значно менші за граничне значення, тому вважаємо, що оболонка відповідає вимогам другої групи граничних значень за деформаціями.

Аналіз напруженого стану оболонки

Для аналізу напруженого стану оболонки потрібно обчислити головні напруження за головними напрямками кінцевих елементів типу пластина.

Картина розподілу напружень дозволяє зрозуміти де та в яких саме місцях в поле оболонки виникають максимально стиснуті чи розтягнуті напруження, що викликають процес тріщино утворення та на які подальше потрібно провести розрахунок поля оболонки за 1 групою граничних станів.

Вибираємо пластини в напрямку деформованої схеми поля оболонки, рисунок 4.13, на рисунку вони виділені у червоний колір та обведено рамкою.

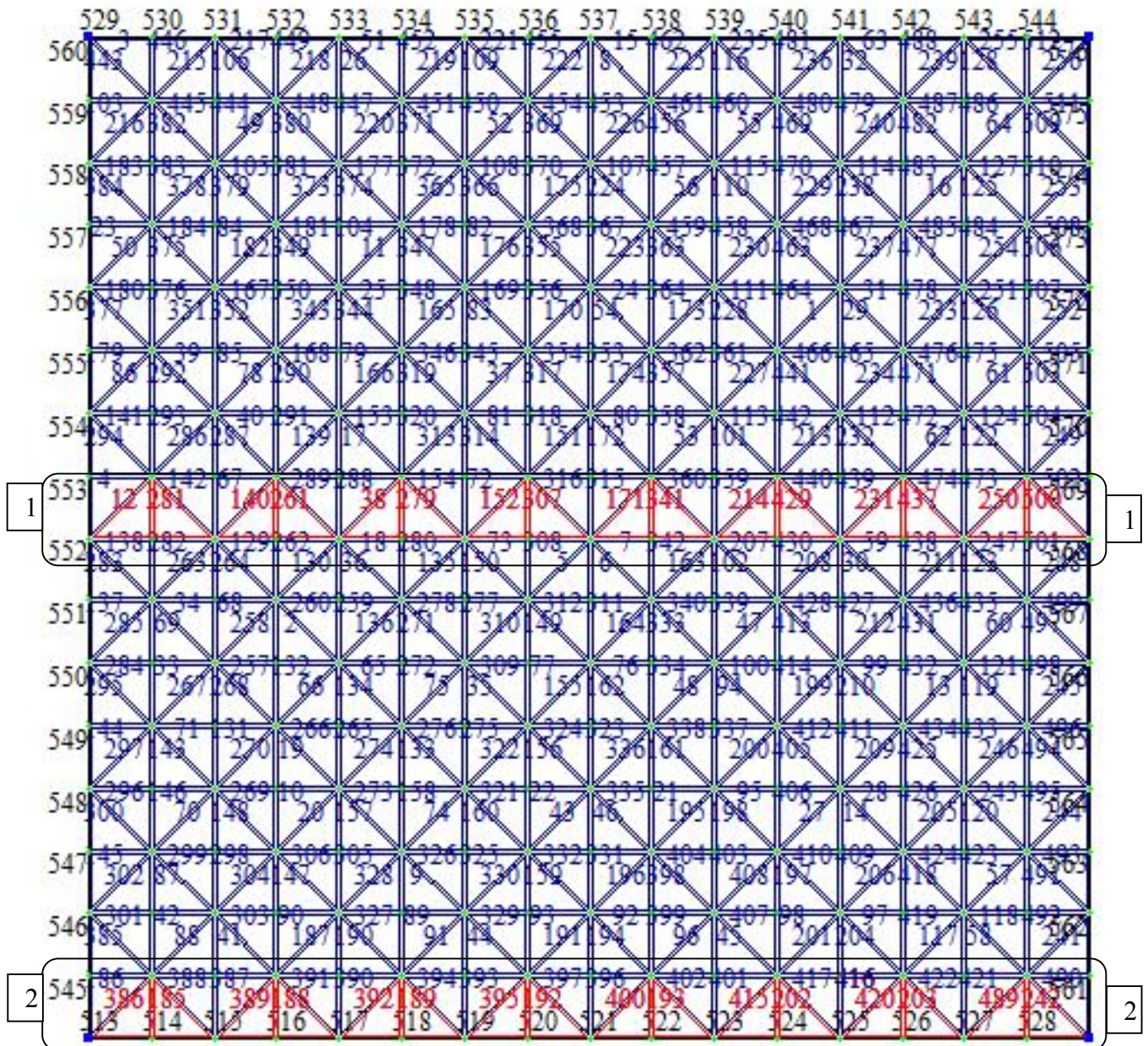


Рисунок 4.13. Схема поля оболонки з нумерацією елементів.

Елементи трикутники виділяємо таким чином по напрямкам 1-1 та 2-2, щоб отримати їх так, як показано на рисунку 4.14.

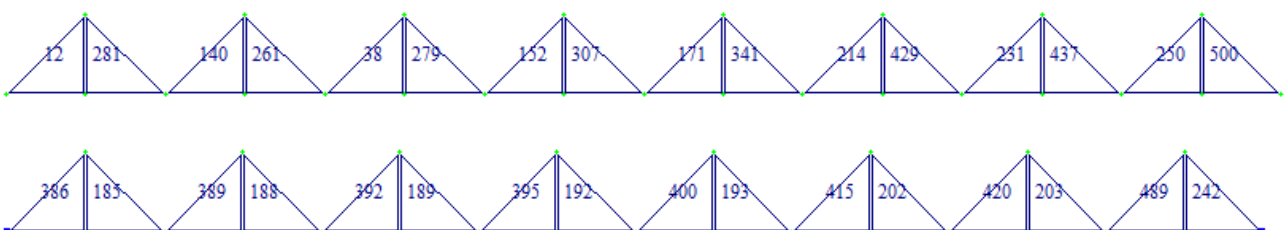


Рисунок 4.14. Трикутні пластини, що підлягають аналізу

Виводимо таблицю головних напружень на екран, та зберігаємо її в табличному вигляді програми EXCELL, щоб заповнити бланк практичної роботи, рисунок 4.15.

Таблица главных напряжений			
Файл Редактировать Опции			
Таблица главных напряжений			
№ элем	Главные напряжения		№ загруз
	N1 (т/м**2)	N3 (т/м**2)	
12	189.442	-91.430	1
12	7.713	-212.650	1
12	100.202	-608.087	1
38	-63.979	-120.131	1
38	-71.222	-97.817	1
38	-23.965	-130.005	1
140	-4.895	-166.639	1
140	-55.758	-123.534	1
140	54.138	-241.188	1

Рисунок 4.15. Фрагмент таблиці головних напружень у вибраних елементах.

Проводимо це як для першого типу завантаження, так і для другого типу завантаження. Отримані таблиці вносимо до бланку практичної роботи.

Ізополя головних напружень дозволяють візуально побачити як впливає зміна розподілу рівномірно-розподіленого навантаження на розподіл напружень в полі оболонки, рисунок 4.16.

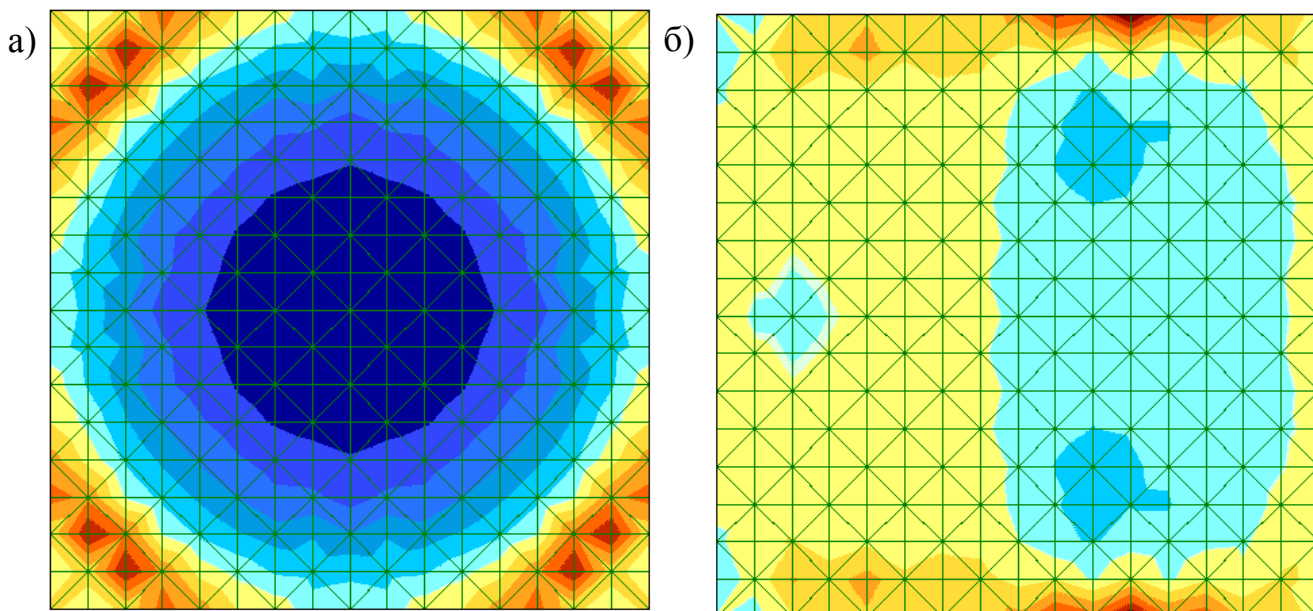


Рисунок 4.16 Ізополя головних напружень N_1
а) при 1-й умові навантаження; б) при 2-й умові навантаження;

Так же як і у практичній роботі №2 заносимо дані до програми EXCELL та отримуємо графіки розподілу головних напружень в характерних перерізах і для двох варіантів завантаження схем,

Розрахунок поля оболонки за 1 групою граничних станів.

Отримані величини напружень повинні бути сприйняті як самим полем оболонки так і з урахуванням його армування.

Процес тріщиноутворення в оболонці еліптичного параболоїду виглядає таким чином, рисунок 4.17 (а), відповідно чому проводиться і армування оболонки, рисунок 4.17 (б)

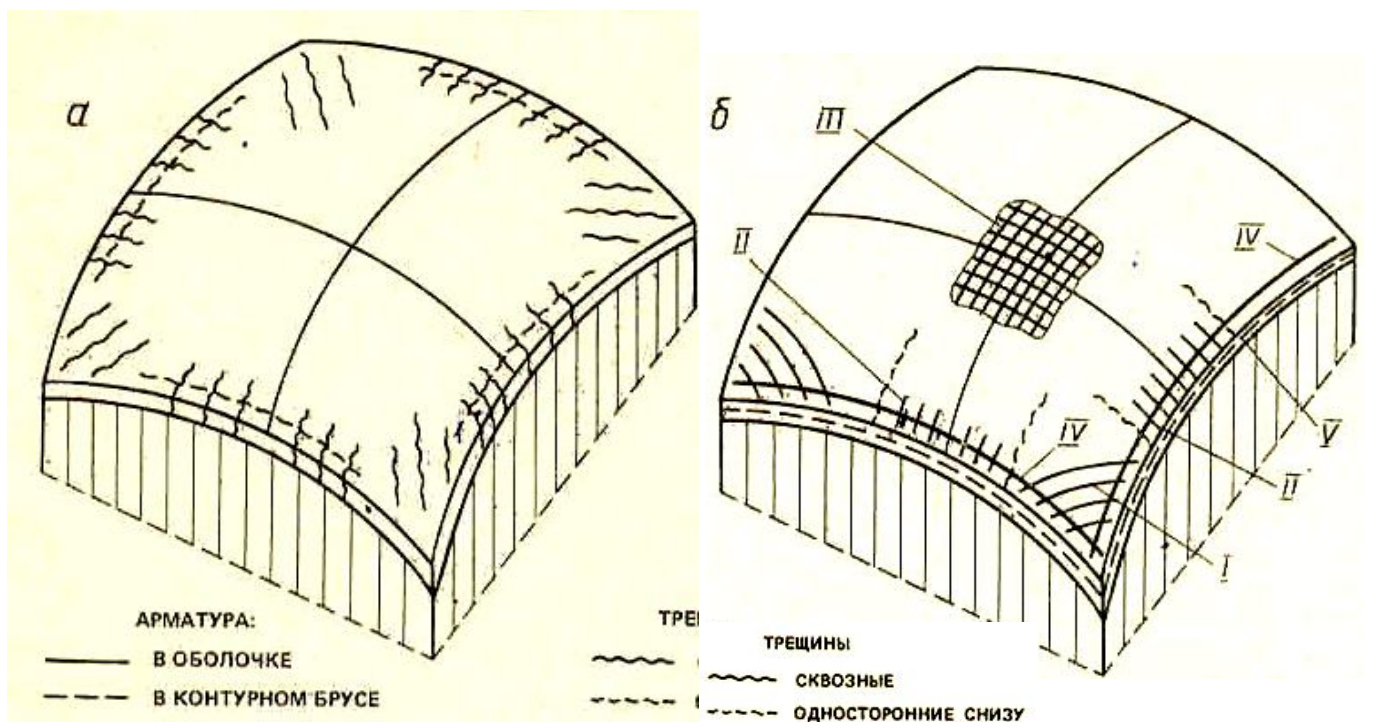


Рисунок 4.17 Схема тріщиноутворення та армування поля оболонки

Повинні виконуватися умови міцності для поля оболонки:

1. Умови міцності перерізу на стиск: $\sigma_{z12}^- \leq R_b$

Згідно рисунку 4.15, і елементі 12 в його середній зоні виникає максимальне значення стискаючого напруження $N_3 = -608.087 \text{ т/м}^2$, проводимо перевірку $N_3^- = -608.087 \text{ т/м}^2 \leq R_b = 1700 \text{ т/м}^2$ умова виконується

2. Умова міцності перерізу на розтяг: $\sigma_{z11}^+ \leq 3R_{bt}$ $\sigma_{z11}^+ \leq R_{bt}$

Згідно рисунку 4.15, і елементі 12 на його поверхні виникає максимальне значення напруження розтягу $N_1 = +189.4 \text{ т/м}^2$, проводимо перевірку

$N_1^+ = +189.4 \text{ т/м}^2 \leq R_{bt} = 3 \cdot 120 = 360 \text{ т/м}^2$ умова виконується, таким чином попередньо прийнятої товщини поля оболонки достатньо. У випадку. Коли умова ця не виконується, потрібно збільшити товщину поля оболонки та провести повторний перерахунок конструкції.

$N_1^+ = +189.4 \text{ т/м}^2 \leq R_{bt} = 120 \text{ т/м}^2$ умова НЕ виконується. Таким чином, необхідно провести ретельне розрахункове армування поля оболонки.

Проводимо підбір товщини поля оболонки, як це показано в практичній роботі №2 даної методичної розробки.

Висновки.

Після проведеного розрахунку робимо висновок та записуємо отримані дані до зведеної таблиці 4.1.

Таблиця 4.1

Максимальні переміщення вузлів, мм	Максимальні головні напруження в кутовій зоні оболонки, т/м ²		Максимальні головні напруження в середній зоні оболонки, т/м ²		Прийнята товщина оболонки, мм	
	стиску	розтягу	стиску	розтягу	В кутовій зоні	В середній зоні

4.2. Завдання до виконання практичної роботи

№ вар	f _a , м	f _b , м	a, м	b, м	Клас бетону
1	6	8	12	24	B15
2	5	7	12	24	B20
3	5	8	12	24	B25
4	5	8	10	24	B30
5	5	7	10	24	B35
6	5	6	12	24	B15
7	5	6	10	24	B20
8	5	5	12	24	B25
9	5	5	12	23	B30
10	5	5	12	22	B35
11	5	5	12	21	B15
12	5	5	12	20	B20
13	6	6	12	24	B25
14	6	6	12	24	B30
15	6	6	12	24	B35
16	6	6	10	10	B15
17	6	8	10	10	B20
18	5	7	10	10	B25
19	5	8	10	10	B30
20	5	3	10	10	B35
21	5	3	8	12	B15
22	5	3	9	13	B20
23	5	3	10	12	B25
24	5	3	10	12	B30
25	5	3	10	14	B35
26	5	4	18	18	B15
27	5	5	18	18	B20

28	5	6	18	18	B25
29	5	7	18	18	B30
30	5	8	18	18	B35
31	5	9	18	18	B15
32	5	10	18	18	B20
33	7	7	18	18	B25
34	7	8	18	18	B30
35	7	9	18	18	B35
36	7	10	18	18	B15
37	4	4	9	18	B20
38	4	5	9	18	B25
39	4	6	9	18	B30
40	4	6.5	9	18	B35
41	4	5.5	9	18	B15
42	4	7	9	18	B20
43	4	7.5	9	18	B25
44	4	8	9	18	B30
45	4	8.5	9	18	B35
46	4	9	9	18	B15
47	4	9.5	9	18	B20
48	4	10	9	18	B25
49	2	2	5	5	B30
50	2.5	2.5	5	5	B35
51	2.5	3	5	5	B15
52	2.5	2	5	5	B20
53	2	2	6	6	B25
54	2.5	2.5	6	6	B30
55	3	3	6	6	B35
56	3.5	3.5	6	6	B15
57	4	4	6	6	B20
58	2	3	6	6	B25
59	2.5	3	6	6	B30
60	2	3.5	6	6	B35
61	2	2	8	8	B15
62	2.5	2.5	8	8	B20
63	2.5	3	8	8	B25
64	2.5	2	8	8	B30
65	2	2	8	8	B35
66	2.5	2.5	8	8	B15
67	3	3	8	8	B20
68	3.5	3.5	8	8	B25
69	4	4	8	8	B30
70	2	3	8	8	B35
71	2.5	3	8	8	B15
72	2	3.5	8	8	B20
73	3	3	9	15	B25
74	3.5	3.5	9	15	B30
75	3	4	9	15	B35
76	4.5	4.5	9	15	B15
77	4	5.5	9	15	B20

4.3 Бланк завдання до виконання практичної роботи

Розробка розрахункової схеми та розрахунок оболонки еліптичного параболоїду в монолітному варіанті

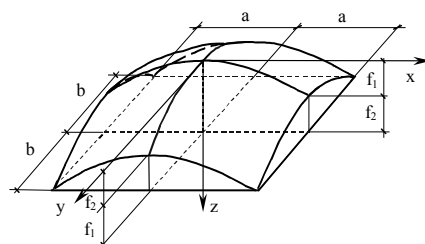
Мета роботи: Створити розрахункову схему оболонки еліптичного параболоїду в монолітному варіанті згідно завдання та проаналізувати її напружено-деформований стан.

Приклад розрахунку подібної конструкції наведено в папці «ПРИКЛАД» НМК комплексу.

Порядок проведення роботи

Створення розрахункової схеми

Оболонка, що досліджується, утворена переносом твірної вздовж вісі Y по іншій твірній, рисунок



Згідно завдання на виконання прийнято конструкцію з розмірами:

a _____ м, b _____ м, f _____ м.

Попередньо товщину поля монолітної оболонки приймаємо однаковою по всій поверхні й рівною _____ см.

Клас бетону згідно завдання _____.

Математичну модель оболонки розбиту на скінчені елементи називають розрахунковою схемою.

Оболонка є поверхнею, що нерозгортається та є поверхнею додатньої гаусової кривини. Апроксимацію поверхні проводимо трикутними скінченими елементами типу _____

Жорсткісні характеристики кінцевого елемента наступні:

Таблиця 1

Тип жорсткості	Назва	H , см	E , т/м ²	ν	R_0 , т/м ³
1	Пластина H				

H -переріз оболонки, см, E - модуль пружності, т/м², ν - коефіцієнт Пуасона, R_0 – питома вага важкого бетону, т/м³

Умови спирання

оболонки _____

Опорний контур прийнято зі стержневих кінцевих елементів з наступними характеристиками:

Таблиця 2

Тип жорсткості	Назва	H, см	B, см	E, т/м ²	ν	R ₀ , т/м ³
1	Брус x					

Призначення навантаження.

Приймаємо два види навантажень:

- 1) навантаження від власної ваги елементів конструкції, (яке задається автоматично в ПК ЛІРА чи Міраж)
- 2) згідно _____ кліматичного району нормативне снігове навантаження становить $S_0 = \text{_____}$. $\gamma_f = 1,4$; $\mu = \text{_____}$.

Розрахункове снігове навантаження: $S = S * \mu$
 $* \gamma_f = \text{_____}$ т/м.

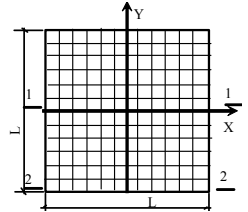
Варіант прикладення рівномірно розподіленого навантаження згідно завдання

Виконуємо розрахунок конструкції за допомогою ПК ЛІРА.

Після закінчення формування розрахункової схеми, проводимо її розрахунок на ПК ЛІРА чи Міраж.

Аналіз напружено-деформованого стану оболонки

Результатом статичного розрахунку конструкції є переміщення її вузлів та напруження в кінцевих елементах пластинчатого типу .

**Переміщення в вузлах**

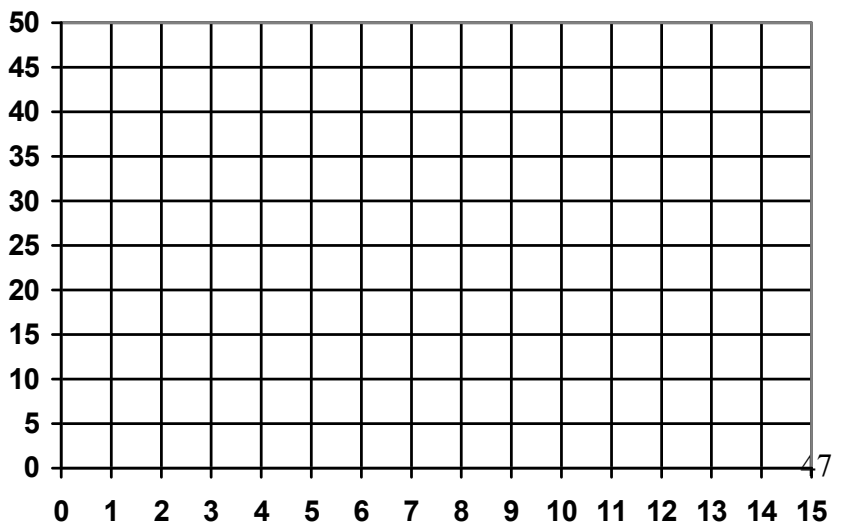
Згідно отриманих даних величин переміщень вузлів побудуємо графік прогинів по перерізам 1-1 та 2-2 оболонки, рисунок _____ та запишемо дані до таблиці 3.

Графік можливо побудувати у програмі Excell чи Word шляхом введення послідовних координат

Табл. 3.

Графік переміщень вузлів оболонки по діагоналі поля

№ вузл	f, см	№ вузл	f, см
1-1		2-2	



Максимальне переміщення точки № _____ (вузол № _____) становить $f_{\max} =$ _____ мм.

Допустиме значення прогину:

$$[f] = \left(\frac{1}{300} \right) \cdot l = \text{_____ мм}$$

Проводимо перевірку умови жорсткості оболонки покриття $f_{\max} \leq [f]$. Як що умова не виконується потрібно провести повторний розрахунок з збільшеним значенням товщини поля оболонки та класу бетону.

Висновок:

Аналіз розподілу напружень в оболонці.

Розрахунок показав, що в середній поверхні поля оболонки виникають головні напруження розтягу та стиску.

Максимальні значення головних напружень стиску простежуються в _____ зоні оболонки, де їх величина складає _____ т/м².
Виходячи з умов міцності $\sigma_{\text{гл}} \leq R_b$ проводимо перевірку $\sigma_{2l} =$

Висновок: міцність перерізу на стиск за умови $\sigma_{2l} \leq R_b$ забезпечена.

Як що умова виконується, проводимо підбір достатньої товщини поля для сприйняття даних напружень стиску. Необхідна товщина оболонки:

$$\delta = \frac{N^2_{2l}}{R_b} =$$

Приймаємо: $\delta =$ _____

Максимальні значення головних напружень розтягу простежуються в _____ зоні оболонки, де їх величина складає _____ т/м².
Виходячи з умов міцності на розтяг $\sigma^2_{2l} \leq 0.25R_b$ чи $\sigma^2_{2l} \leq 3R_{bt}$ проводимо перевірку $\sigma_{2l} =$ _____ $\leq 0.25R_b$

$$\sigma_{2l} = \text{_____} \leq 3R_{bt}$$

Висновок: міцність перерізу на розтяг

Як що умова виконується, проводимо підбір достатньої товщини поля для сприйняття даних напружень розтягу. Необхідна товщина оболонки:

$$\delta = \frac{N^1_{2l}}{R_b} =$$

Приймаємо: $\delta =$ _____

Отже проектуємо оболонку перемінною по товщині, товщина поля в середній частині оболонки становить _____ см, товщина поля в кутівій частині оболонки становить _____ см

Таблиця 4

Максимальні переміщення вузлів, мм	Максимальні головні напруження в кутовій зоні оболонки, т/м ²		Максимальні головні напруження в середній зоні оболонки, т/м ²		Прийнята товщина оболонки, мм	
	стиску	розтягу	стиску	розтягу	В кутовій зоні	В середній зоні

Висновки:

5. Практична робота №4 «Розрахунок і конструювання оболонки у формі гіперболічного параболоїду на прямокутному плані».

Мета роботи: дослідити напружено-деформований стан оболонки гіперболічного параболоїду в залежності від умов спирання оболонки чи умов зміни розподілу снігового навантаження по поверхні поля оболонки.

Порядок роботи

Оболонка еліптичного параболоїду є оболонкою додатної Гаусової кривини та має кривину поверхні у взаємно протилежних напрямках, на відміну від циліндричної оболонки. Приведемо приклад розрахунку квадратної в плані оболонки покриття.

Вихідні дані:

- конструкція покриття – монолітна залізобетонна
- стріла підйому $f_1 = f_2 = 5$ м;
- розмір половини сторони $a = 18$ м $b = 18$ м;
- місце будівництва – м. Київ;
- матеріал конструкції – бетон класу В25

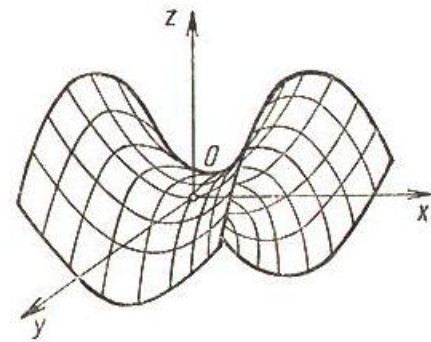


Рисунок 5.1. Схема гіперболічного параболоїду

Статичний розрахунок оболонки виконуємо за наступним алгоритмом:

1. Створення розрахункової схеми.

Тому розрахункову схему моделюємо за допомогою спеціальної опції «Создание поверхностей», рисунок 5.2

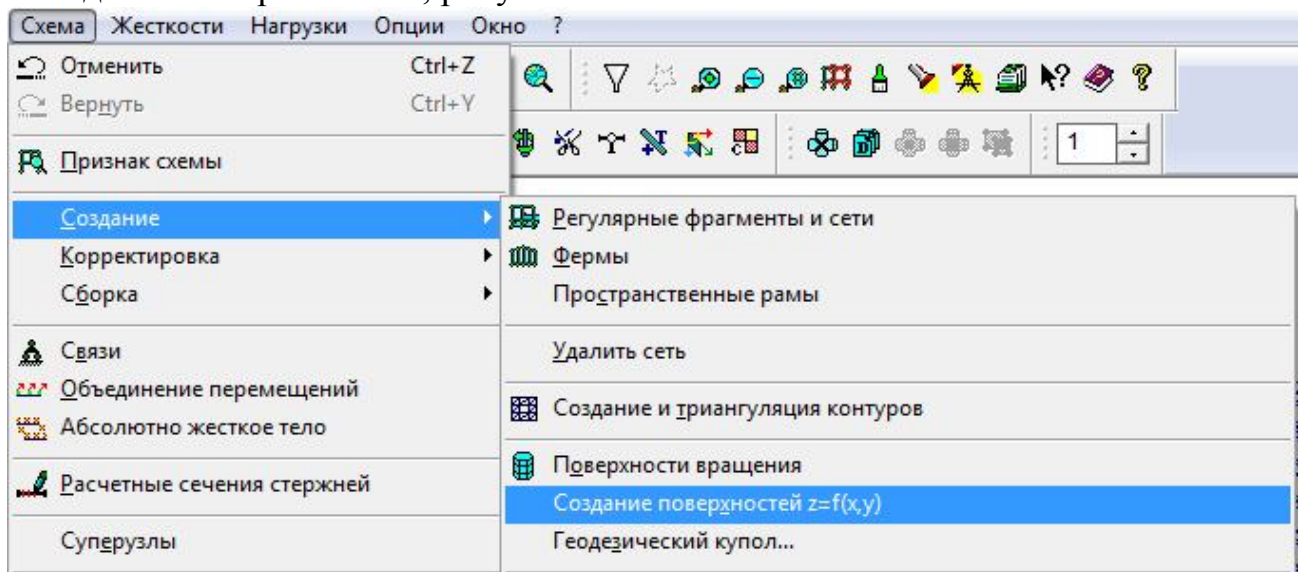


Рисунок 5.2. До створення розрахункової схеми оболонки гіперболічного параболоїду

Для заповнення таблиці, що дозволяє створити схему, потрібно задати рівняння поверхні оболонки. Приймаємо, що еліптичний параболоїд буде описано за рівнянням параболі, тоді рівняння поверхні можна записати:

$$z = \frac{f_1}{a^2} x^2 - \frac{f_2}{b^2} y^2$$

Заповнюємо таблицю, що викликається опцією «Создание поверхностей», як це показано на рисунку 4.3

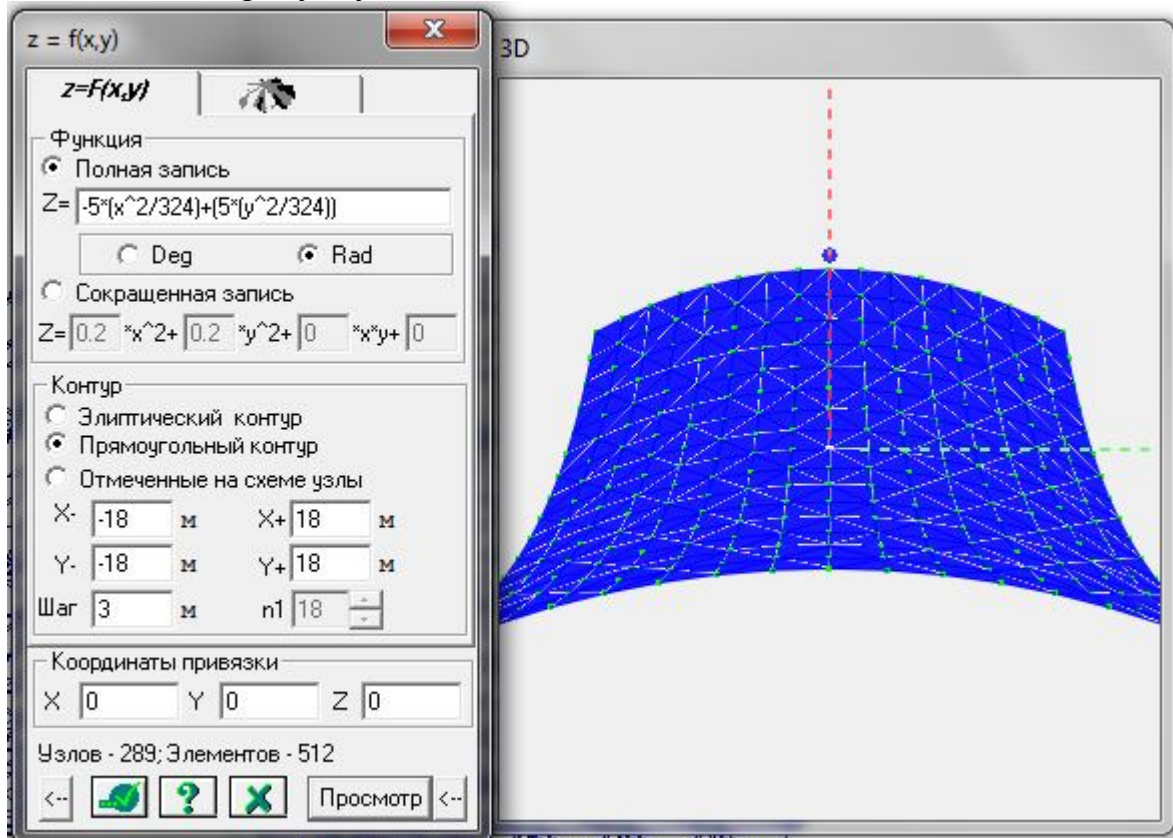


Рисунок 5.3. Формування розрахункової схеми оболонки покриття.
Та отримуємо розрахункову схему з центром координат, рисунок 4.4.

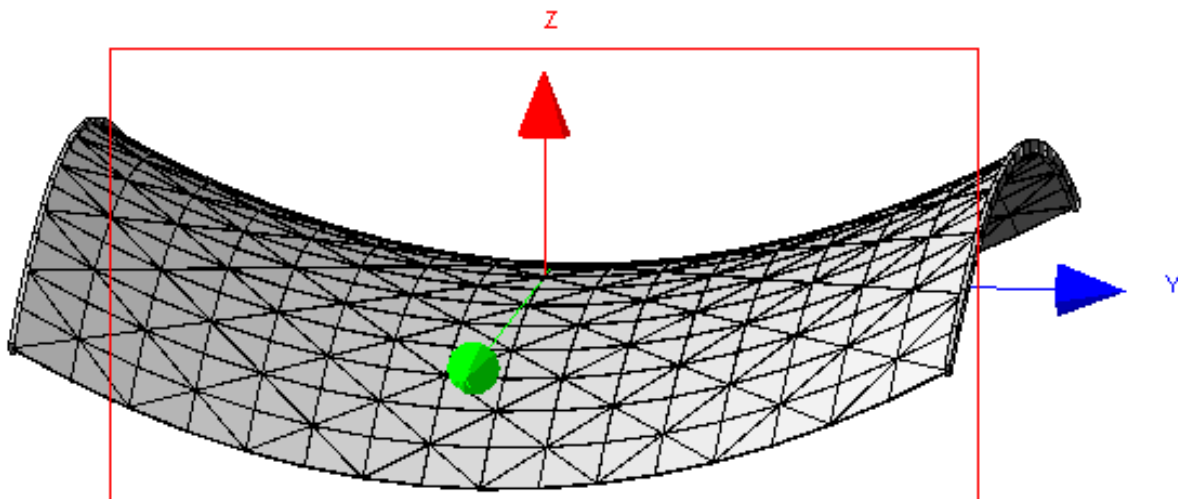


Рисунок 4.4. Розрахункова схема оболонки покриття.

3. Завдання крайових умов конструкції

Однією із можливих небезпечних ситуацій, яка може вплинути на роботу оболонки покриття є різні умови її спирання бортових елементів.

Тому в практичній роботі розглянемо роботу оболонки за двома умовами спирання, рисунок 5.5:

1-ша умова – спирання на чотири кута;

2-га умова – спирання бортових елементів по довжині;

Інвертуємо чотири опорних вузли, як показано на рисунок 5.5 (а) та вузли вздовж двох сторін та закріпимо їх жорстко (рисунок 4.5(б))

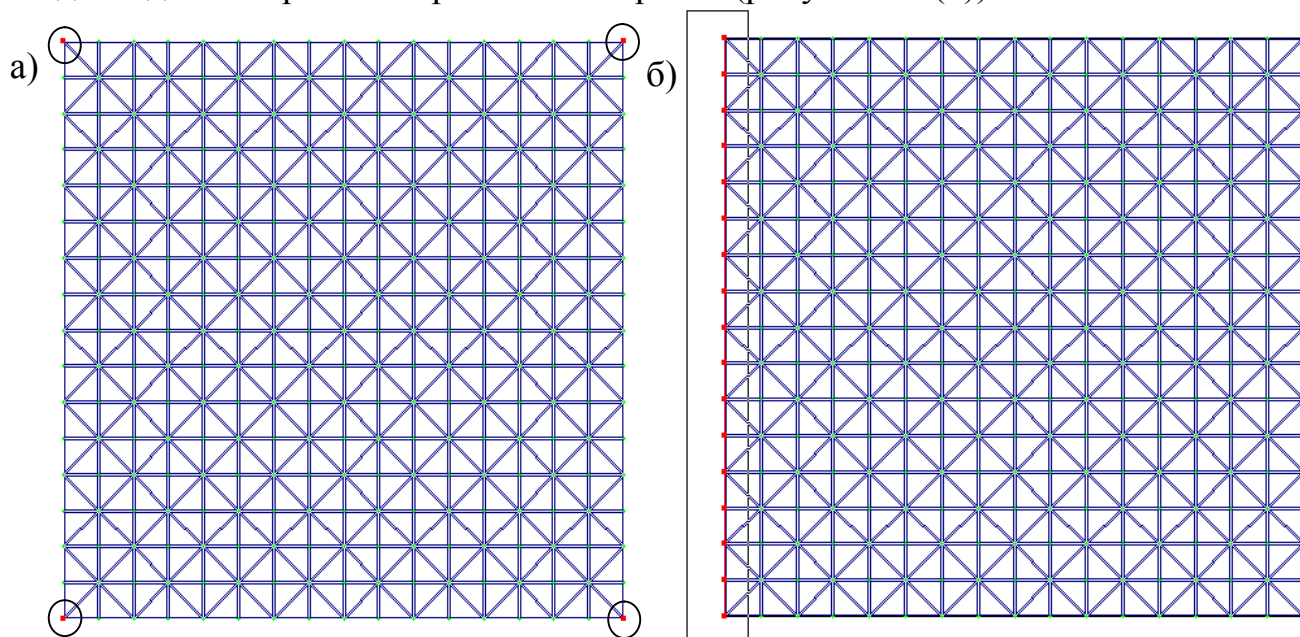


Рисунок 5.5 Розрахункова схема: а) виділені вузли, для моделювання 1-ї умови опирання; б) виділені вузли, для моделювання 2-ї умови опирання;

2. Моделювання бортового елемента.

Бортовим елементом може бути як розкісна ферма, моделювання якої наведено в ПЗ№2, пункт 2 (даної методички) чи у вигляді арки з затяжкою. Бортовий елемент – арка, моделюється стержньовими кінцевими елементами вздовж чотирьох сторін поля оболонки, рисунок 5.6.

3. Задання жорсткісних параметрів кінцевих елементів

Жорсткісні параметри елементів оболонки задаються таким ж чином, як і у інших оболонках, які розглядалися вище, в даній методичній розробці (дивись практичне заняття №2, та №3).

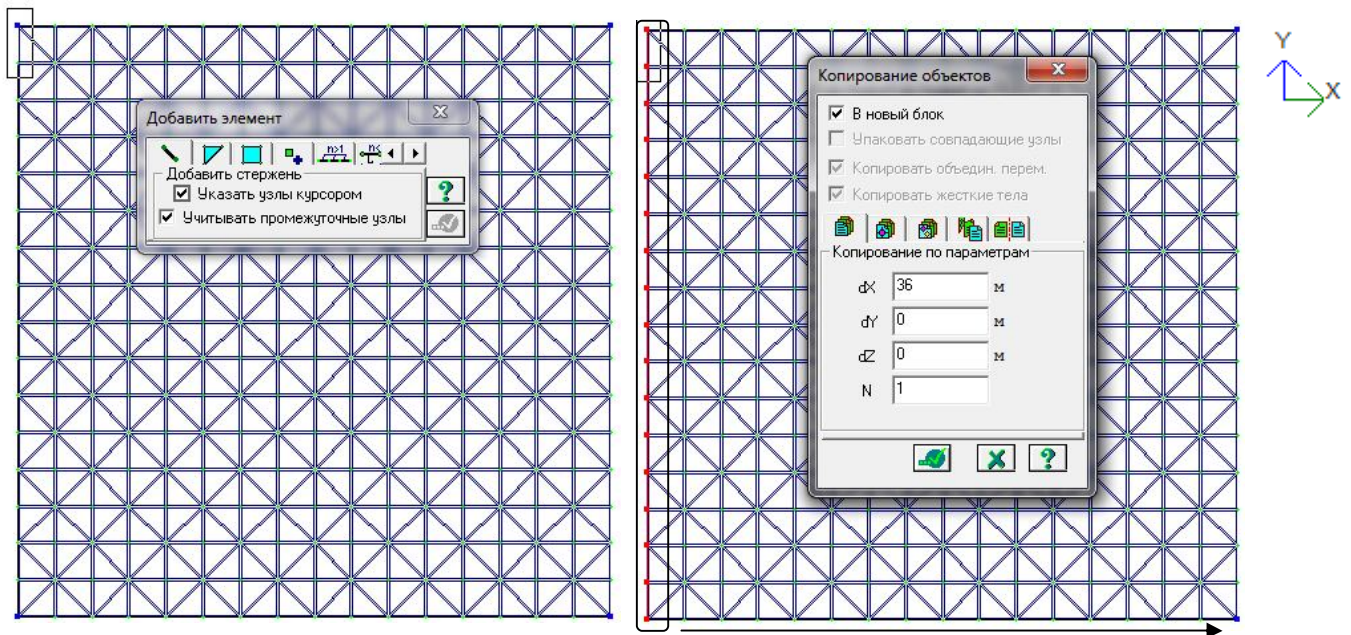



Рисунок 5.6. Моделювання бортового елемента: а) додавання стержньового елемента(моделювання бортового елемента); б) копіювання бортового елемента на іншу сторону поля оболонки;

4. Призначення навантаження

Діючи навантаження на оболонку гіперболічного параболоїду - це власна вага самої конструкції та снігове навантаження. Ці навантаження також задаються таким ж чином, як і у інших оболонках, які розглядалися вище, в даній методичній розробці (дивись практичне заняття №2, та №3).

6. Статичний розрахунок конструкції.

Після задання розрахункової схеми, моделювання умов спирання та завдання навантаження, необхідно провести розрахунок конструкції та проаналізувати отриманий напружено-деформований стан конструкції оболонки. Для цього необхідно вибрати в меню „Режим” опцію „выполнить расчет» або натиснути кнопку  та виконати розрахунок.

7. Аналіз напружено-деформованого стану оболонки

Результати розрахунку можна отримати лише вибравши в меню „Режим” опцію «Результаты расчета».

Аналіз напружено-деформованого стану оболонки проводиться: за двома умовами опирання поля оболонки;

Аналіз деформативності конструкції

За 1-ю умовою закріплення оболонка отримала таку деформовану схему, рисунок 5.7.

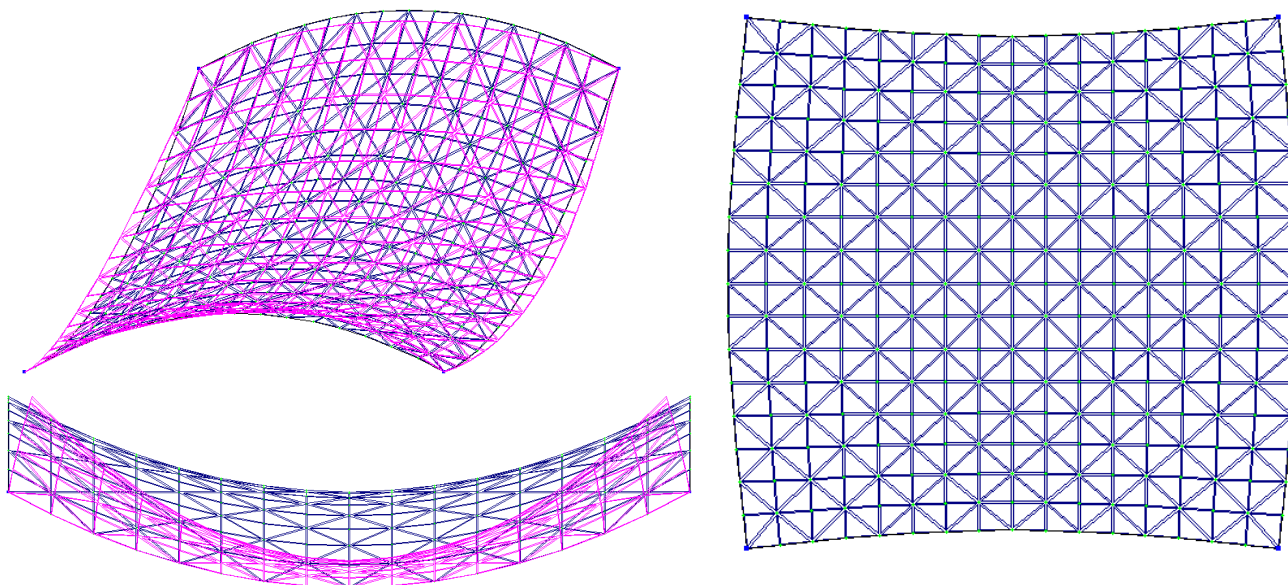


Рисунок 5.7.. Деформована схема оболонки за 1-ю умовою закріплення

За 2-ю умовою закріплення оболонка отримала таку деформовану схему, рисунок 4.10.

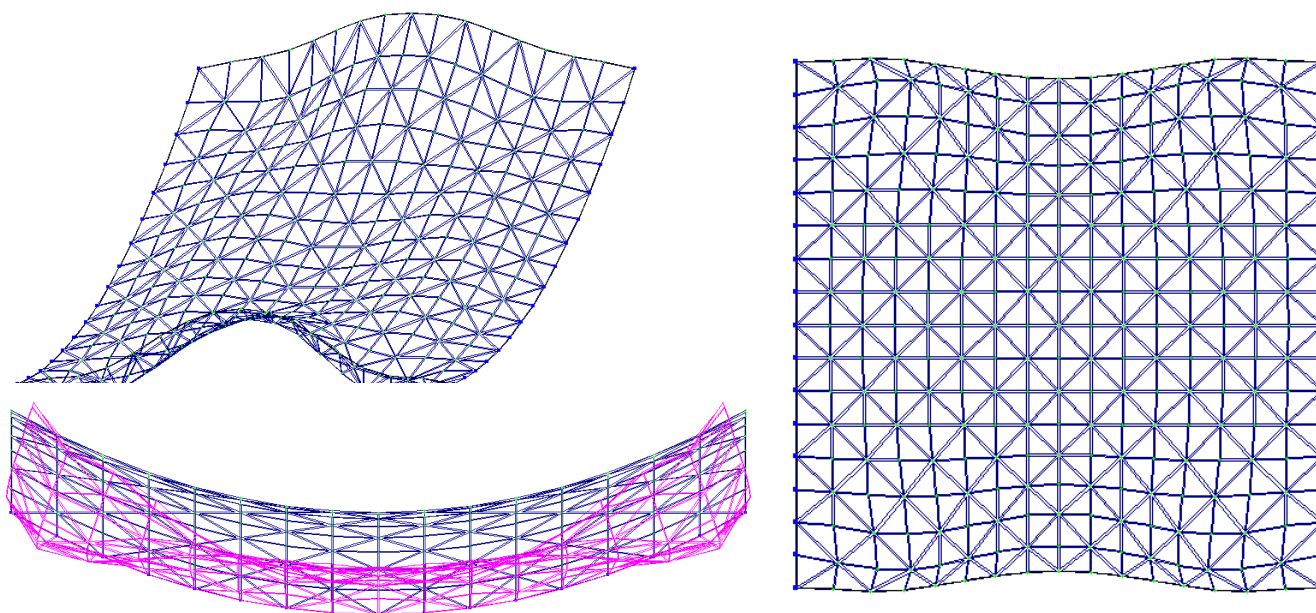


Рисунок 5.8. Деформована схема оболонки за 2-ю умовою закріплення

Як бачимо, зміна умови закріплення суттєво змінила и роботу самої оболонки! Для чисельного аналізу деформованої схеми поля оболонки потрібно в табличній формі, сформуванати таблицю вертикальних переміщень вузлів поля оболонки за характерними перерізами 1-1 та 2-2, рисунок 5.9.

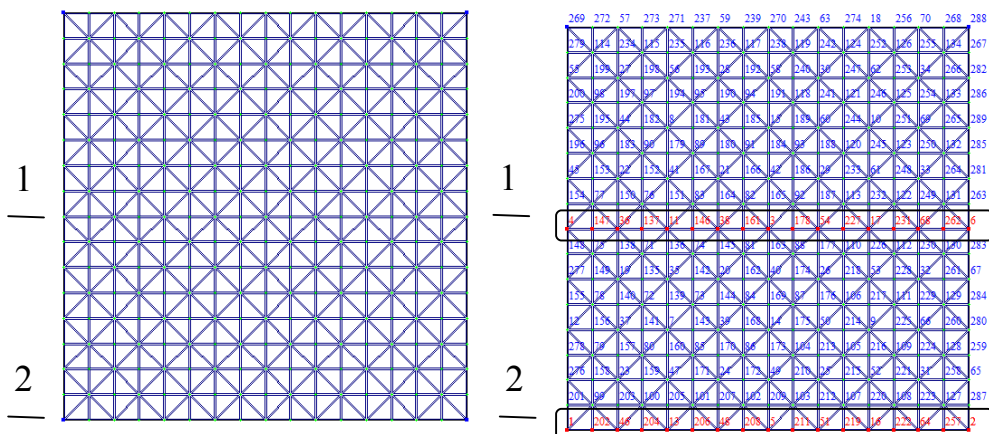


Рисунок 5.9
Схема оболонки
з нумерацією
вузлів її поля, які
підлягають
аналізу
отриманих
переміщень.

Відповідно до практичних робіт №2 та №3 побудувати графіки прогинів за перерізами 1-1 та 2-2 в EXCELL та вставити в бланк практичної роботи. Визначити вузли, що отримали максимальні прогин чи вигин, визначити

максимальний допустимий прогин конструкції за формулою: $[f_u] = \frac{l}{300}$

де $[f_u]$ - допустимий прогин оболонки;

L – проліт конструкції;

та провести аналіз отриманих результатів з висновками, щодо забезпечення роботи конструкції при двох умовах спирання за 2ю групою граничних станів. В табличній формі дати в процентному співвідношенні різницю величини переміщень одних тех самих характерних точок при зміні умови закріплення.

Аналіз напруженого стану оболонки

Для аналізу напруженого стану оболонки потрібно обчислити головні напруження за головними напрямками кінцевих елементів типу пластина.

Картина розподілу напружень дозволяє зрозуміти де та в яких саме місцях в поле оболонки виникають максимально стиснуті чи розтягнуті напруження, що викликають процес тріщино утворення та на які подалі потрібно провести розрахунок поля оболонки за 1ю групою граничних станів.

Вибираємо пластини в напрямку деформованої схеми поля оболонки, рисунок 5.10, на рисунку вони виділені у червоний колір та обведено рамкою.

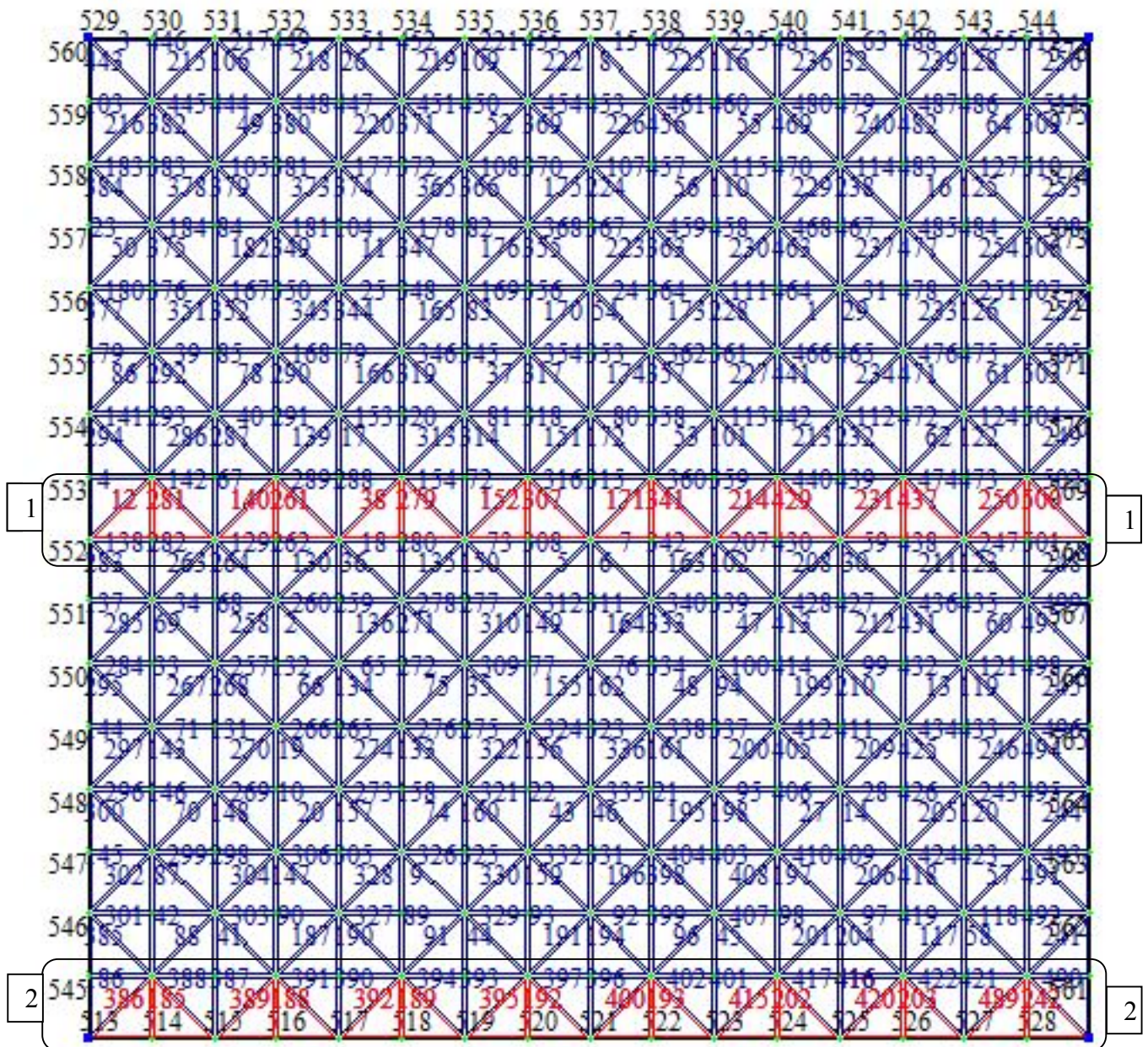


Рисунок 5.10. Схема поля оболонки з нумерацією елементів.

Елементи трикутники виділяємо таким чином по напрямкам 1-1 та 2-2, щоб отримати їх так, як показано на рисунку 5.11.

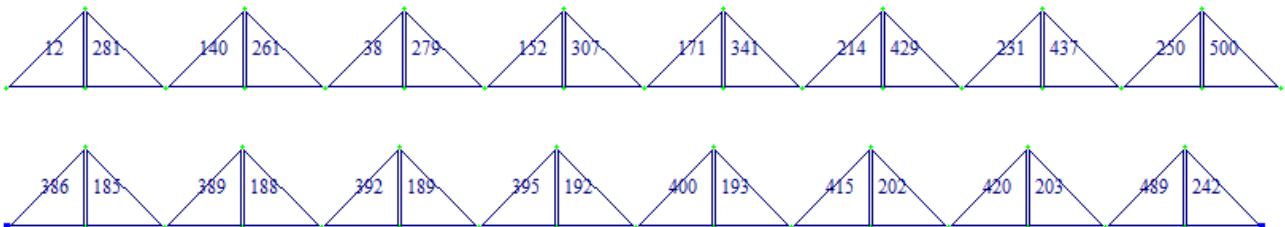


Рисунок 5.11. Трикутні пластини, що підлягають аналізу

Виводимо таблицю головних напружень на екран, та зберігаємо її в табличному вигляді програми EXCELL, щоб заповнити бланк практичної роботи, рисунок 5.12.

ПК ЛИРА ВЕРСИЯ 9.6.ГИПАР.1ГИПАР 5 октябрь 2012			
Таблица главных напряжений			
№ элем	Главные напряжения		№ загруз
	N1 (т/м*2)	N3 (т/м*2)	
12	-1949.274	-8540.0	1
12	712.237	-3570.7	1
12	8805.884	-4033.6	1
38	28976.240	26989.3	1
38	229.513	-173.1	1
38	-27234.990	-28617.7	1
140	18568.342	15641.9	1
140	199.960	-29.1	1
140	-15700.120	-18168.4	1
152	34914.883	34183.6	1
152	149.349	-134.7	1
152	-34303.723	-34765.4	1

ПК ЛИРА ВЕРСИЯ 9.6.ГИПАР.ГИПАР 5			
Таблица главных напряжений			
№ элем	Главные напряжения		№ загруз
	N1 (т/м*2)	N3 (т/м*2)	
12	-21.306	-728.477	1
12	13.754	-703.692	1
12	48.815	-678.910	1
38	62.018	-623.126	1
38	69.460	-603.878	1
38	76.994	-584.722	1
140	5.893	-708.077	1
140	24.772	-674.794	1
140	43.711	-641.571	1
152	160.685	-471.545	1
152	162.845	-482.412	1
152	165.142	-493.417	1

Рисунок 5.12. Фрагмент таблиці головних напружень у вибраних елементах оболонки: а) за 1ю умовою опирання; б) за 2ю умовою опирання.

Як бачимо велику різницю у величинах напружень в тих ж самих елементах поля оболонки в характерних перерізах.

Тому потрібно провести перевірочні розрахунки за двома умовами умов міцності прийнятих перерізів, як це показано в практичних роботах №2 та №3.

Більш наочно різницю в характері розподілу напружень можна показати на епюрах, рисунок 5.13.

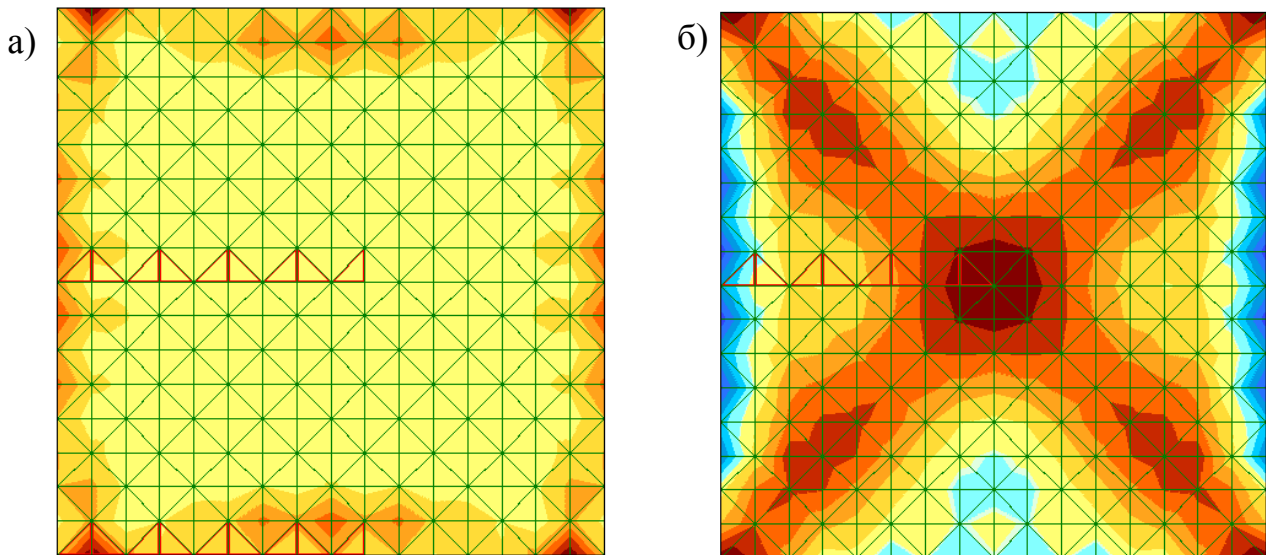


Рисунок 5.13 Ізополя головних напружень N₁ а) при 1-й умові опирання; б) при 2-й умові опирання;

Так же як і у практичній роботі №2 заносимо дані до програми EXCELL та отримуємо графіки розподілу головних напружень в характерних перерізах і для двох варіантів закріплення схем. Отримані таблиці та епюри вносимо до бланку практичної роботи.

6. Практична робота №5, №6 «Розрахунок і конструювання купольних покриттів».

6.2. Приклад виконання практичної роботи

Мета роботи: Розробити розрахункову схеми оболонки оберту. Проаналізувати напружено-деформований стан купольної оболонки

Порядок роботи.

Вихідні дані:

- конструкція покриття – тонкостінний монолітний залізобетонний купол. Зусилля розпору, що виникають в тілі куполу сприймає монолітне залізобетонне кільце;
- висота куполу $h=5$ м;
- діаметр $D=40$ м;
- місце будівництва – м. Київ;
- матеріал конструкції – бетон класу В25

Статичний розрахунок оболонки виконуємо за наступним алгоритмом:

1. Створення розрахункової схеми.

В практичній роботі №1 було приведено один з можливих способів моделювання розрахункової схеми оболонки оберту. В даній практичній роботі показано ще один варіант створення розрахункової схеми купольної оболонки. Розрахункову схему моделюємо за допомогою спеціальної опції «Создание поверхностей», рисунок 6.1

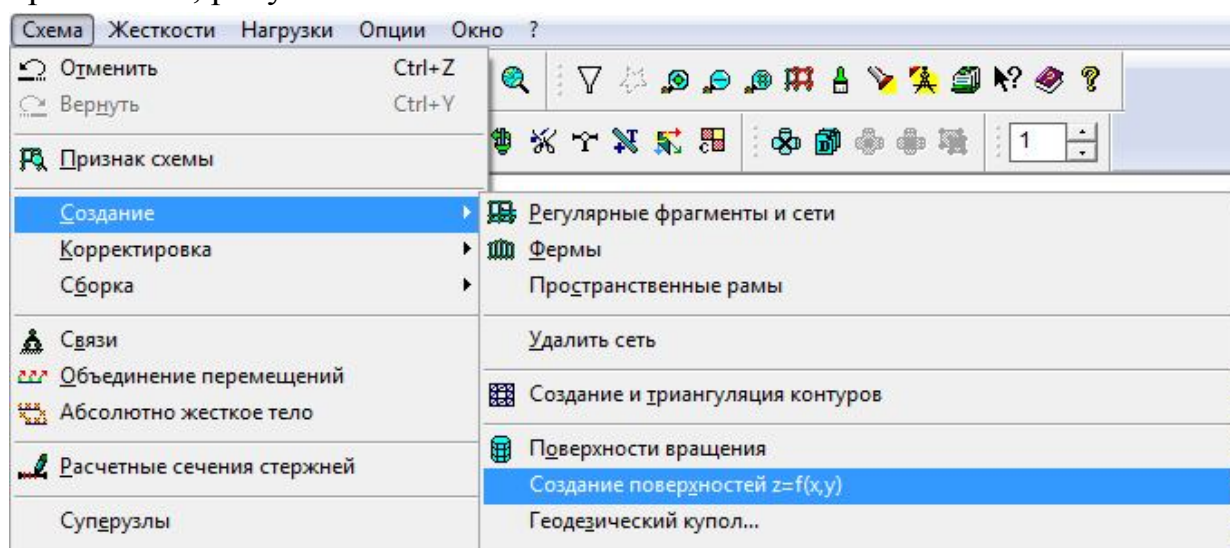


Рисунок 6.1. До створення розрахункової схеми купольної

Заповнюємо таблицю, що викликається опцією «Создание поверхностей», як це показано на рисунку 6.2

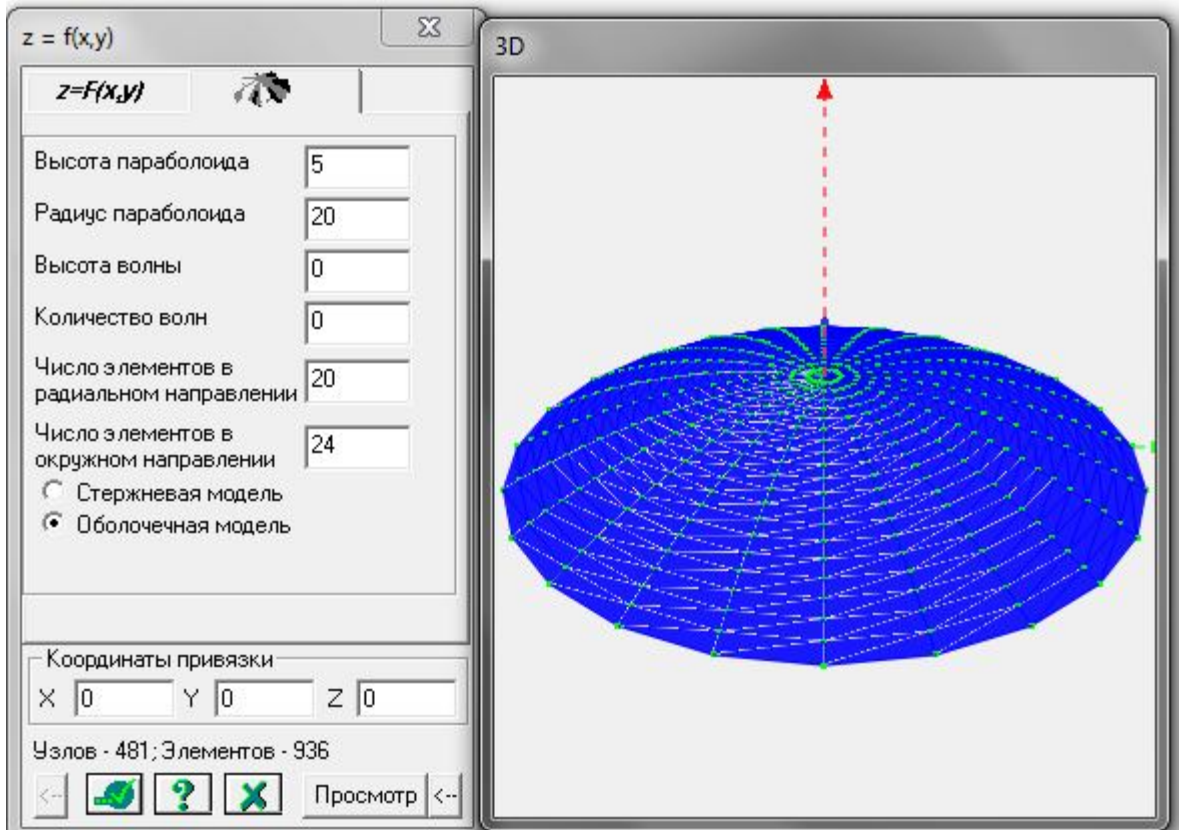


Рисунок 6.2. Формування розрахункової схеми оболонки покриття.

Та отримуємо розрахункову схему з центром координат, рисунок 6.3.

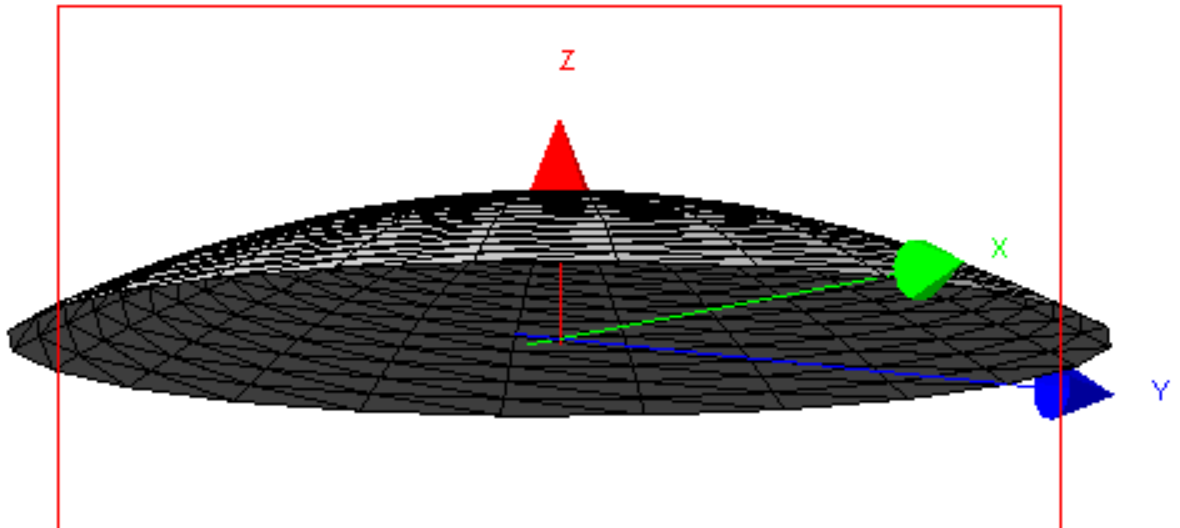



Рисунок 6.3. Розрахункова схема оболонки покриття.

Опорний контур куполу, що сприймає розпір моделюємомо КЕ №10 типу «Універсальний стержень».

Натисканням кнопки «Добавить элемент»  викликаємо відповідне діалогове вікно.

В вікні, що відкрилося, обираємо першу закладку «Добавить стержень». Вказавши відповідні опорні вузли курсором, встановлюємо стержень між двома існуючими вузлами (рис. 6.4, а). Таким чином, потрібно з'єднати стержнями всі опорні вузли.

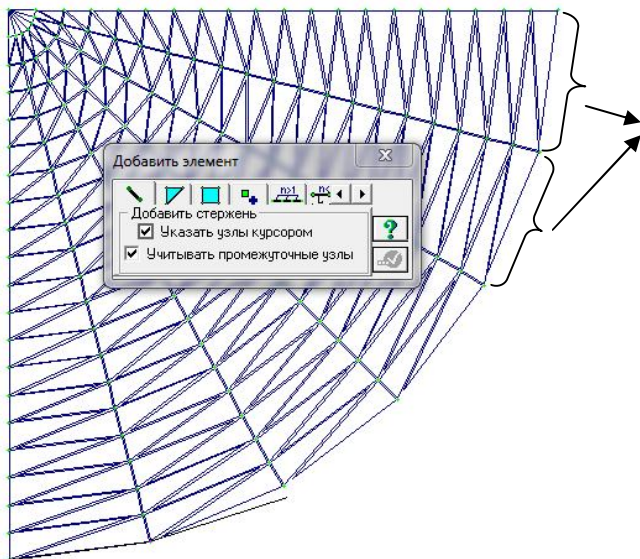


Рис. 6.4 Встановлення стержнів між опорними вузлами

2. Завдання крайових умов конструкції

Для геометричної незмінності схеми та для дотримання умов безмоментного напруженого стану на поверхні куполу прийемо наступні умови закріплення опорних вузлів:

- 1-ша умова – шарнірне спирання бортового елемента куполу;
- 2-га умова – жорстке спирання бортового елемента куполу;




Інвертуємо за допомогою кнопки  опорні вузли, та проводимо закріплення точок поля оболонки за двома умовами спирання, рисунок 6.5.



Рис. 6.5 Завдання зв'язків в опорних вузлах куполу

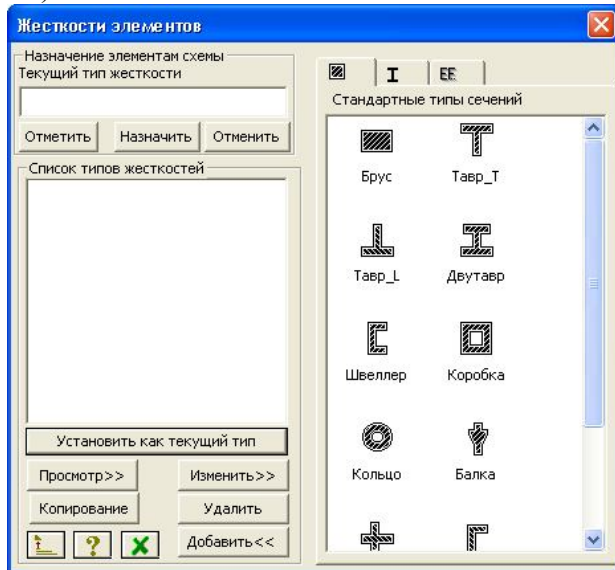
3. Призначення жорсткостей кінцевим елементам

Натиснувши на кнопку  «Жесткости элементов» кінцевим елементам викликаємо відповідне діалогове вікно (рис. 6.6(а)) та обираємо закладку  у вікні, що відкрилося (рис. 6.6(б)). Двічі клацнувши мишкою по піктограмі

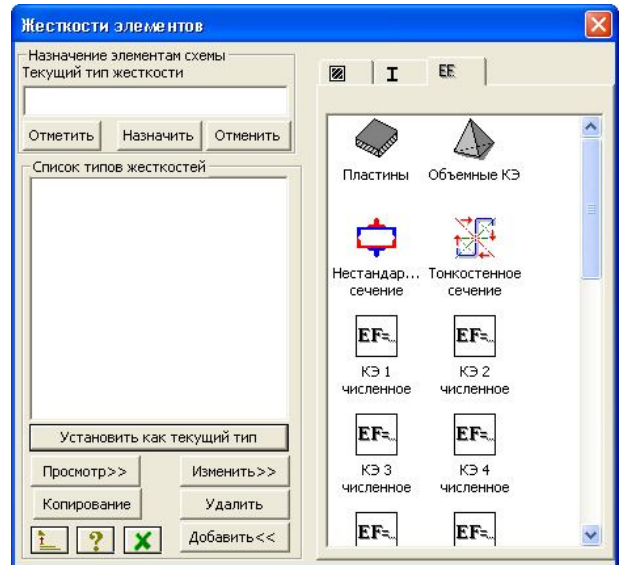


Пластины, отримуємо діалогове вікно (рисунок 6.6(в)) та заповнюємо його, отримуючи (рисунок 6.6(г))

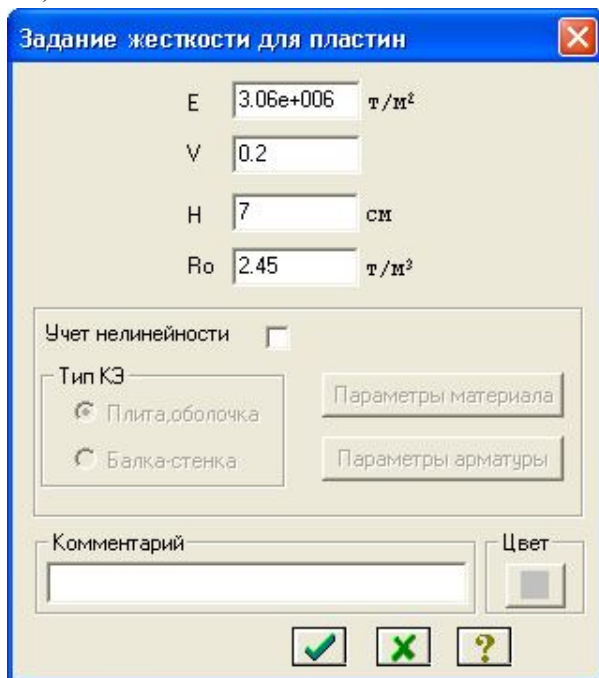
а)



б)



в)



г)

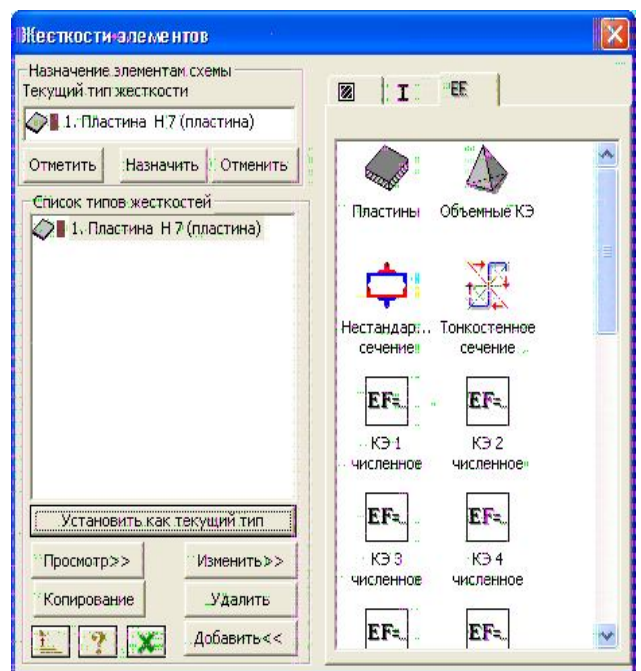


Рис. 6.6 Діалогові вікна для призначення жорсткісних характеристик кінцевим елементам типу пластина

Аналогічно практичним заняттям №2 та №3 призначаємо жорсткість стержньовим елементам, що моделюють опорний контур куполу.

4. Призначення навантаження

Основними навантаженнями, що будуть діяти на конструкцію будуть власна вага конструкції та снігове навантаження (оскільки купол є пологим, то вітровим навантаженням нехтуємо)

Снігове навантаження є змінним. Для нього згідно [1] встановлені три розрахункових значення:

- граничне розрахункове значення;
- експлуатаційне розрахункове значення;
- квазіпостійне розрахункове значення.

Згідно п.8.2 [1] граничне розрахункове значення снігового навантаження на горизонтальну проекцію покриття (конструкції) обчислюється за формулою:

$$S_m = \gamma_{fm} S_0 C \quad (1)$$

де γ_{fm} - коефіцієнт надійності за граничним значенням снігового навантаження, обумовлений у відповідності до 8.11 [1];

S_0 - характеристичне значення снігового навантаження (в Па), обумовлене відповідно до 8.5 [1];

$C = \mu C_e C_{alt}$ - коефіцієнт, обумовлений за вказівками 8.6[1]; враховує форму поверхні конструкції покриття, режим експлуатації покрівлі та географічну висоту, на якій розташована споруда.

Приймаємо $\gamma_{fm} = 1,14$. За даними додатку Е [1] для м.Київ маємо характеристичне значення снігового навантаження $S_0 = 1550$ Па (або 155 кг/м^2). Приймаємо $C = 1$.

Таким чином, граничне розрахункове значення снігового навантаження для м. Київ становить:

$$S_m = \gamma_{fm} S_0 C = 1,14 \cdot 155 \cdot 1 = 178,25 \text{ кг/м}^2 = 0,178 \text{ т/м}^2$$

Задамо дане значення навантаження на конструкцію. Додаємо власну вагу елементів куполу та опорного контуру. У випадку.

ВАЖЛИВО! Якщо згідно завдання на практичну чи самостійну роботу потрібно дослідити напружено-деформований стан куполу при зміні розподілення снігового навантаження по полю куполу, потрібно виділити половину куполу, як це показано на рисунку 6.7 та задати снігове навантаження лише на одну половину поля куполу.

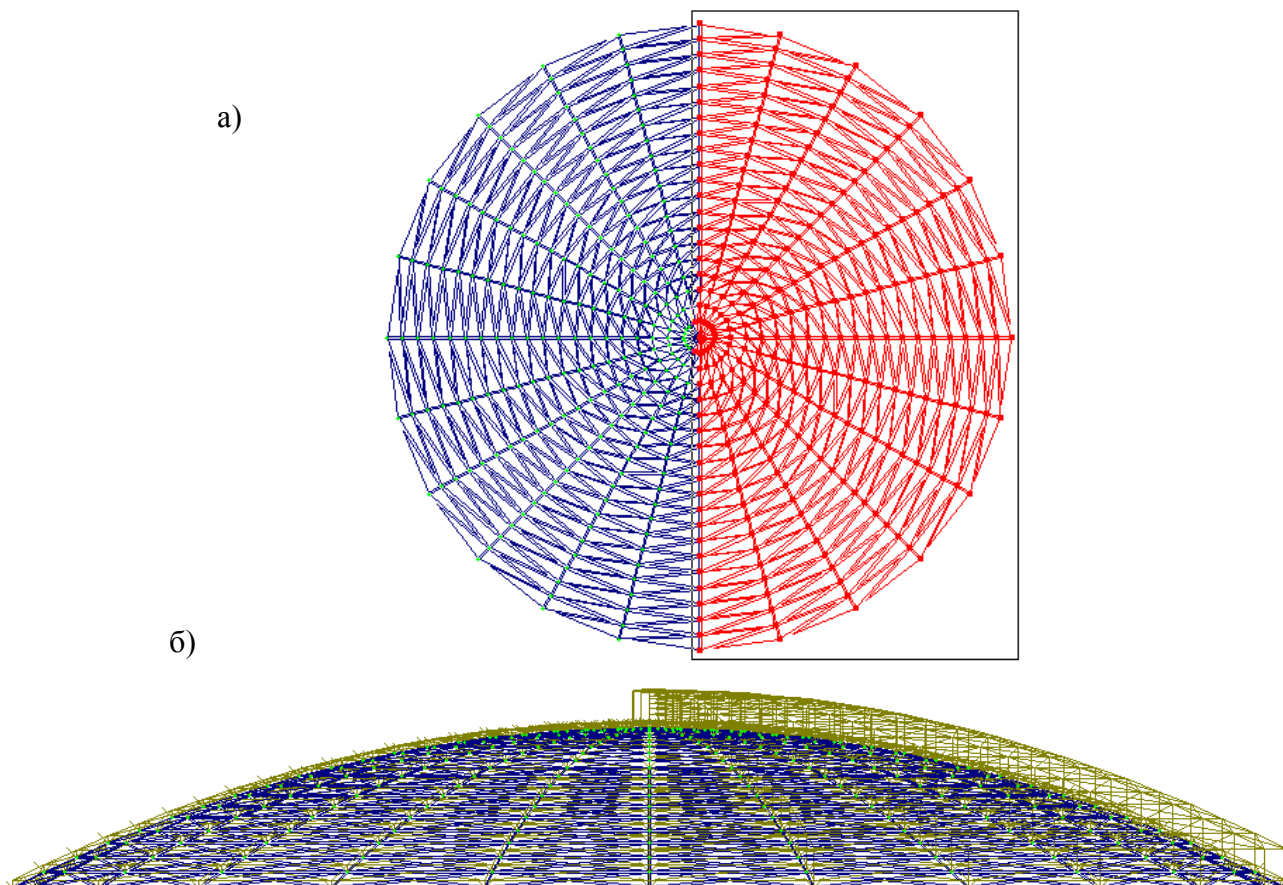


Рисунок 6.7. Завдання навантаження на половину поля куполу

7. Аналіз напружено-деформованого стану оболонки

Результати розрахунку можна отримати лише вибравши в меню „Режим” опцію «Результаты расчета».

Аналіз напружено-деформованого стану оболонки проводиться: за двома умовами опирання поля оболонки або за двома умовами навантаження поля оболонки, рисунок 6.8

Аналіз деформативності конструкції

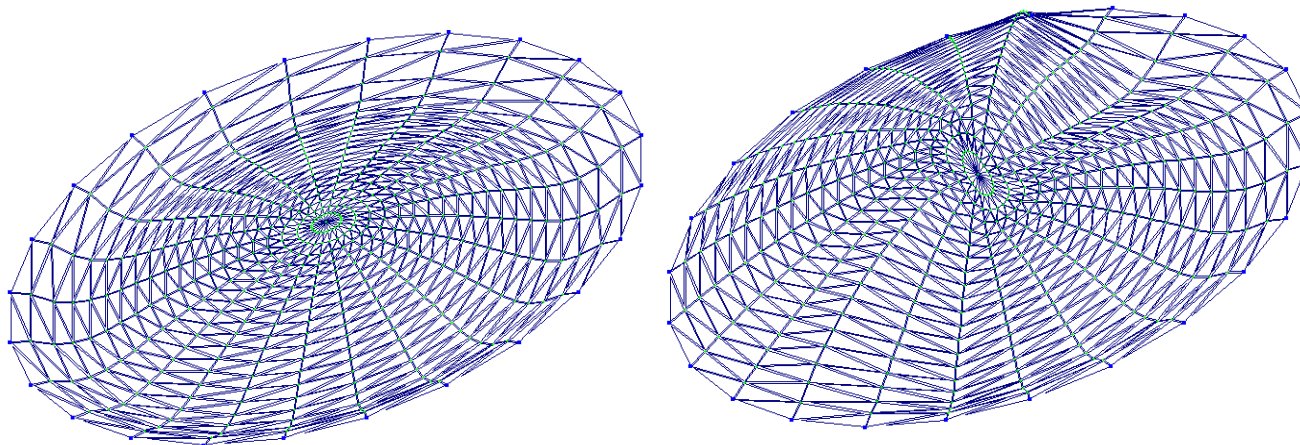


Рисунок 6.8. Деформована схема при різних варіантах навантаження поля оболонки

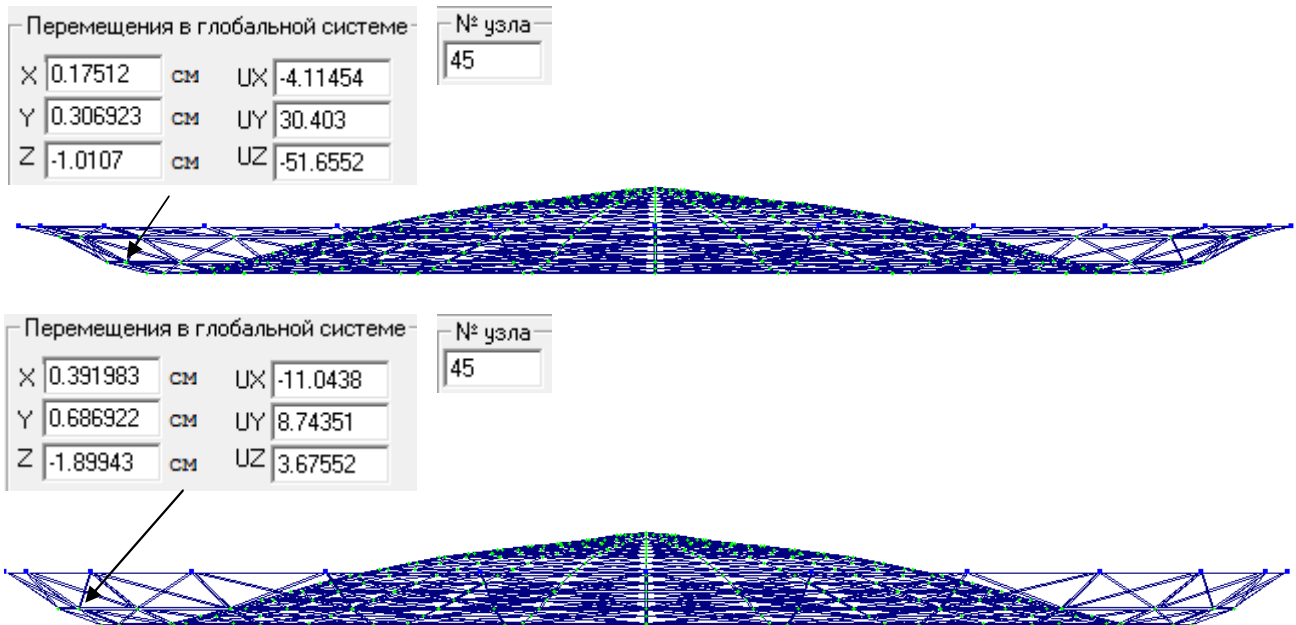


Рисунок 6.8. Деформована схема при різних варіантах умови закріплення
а) шарнірне закріплення опорних вузлів поля оболонки;
б) жорстке закріплення опорних вузлів поля оболонки

Відповідно практичним заняттям №2, 3, 4 провести аналіз отриманих результатів за 1ю та 2ю групах граничних станів. Побудувати епюри переміщень та епюри головних напружень поля оболонки. Заповнити відповідні таблиці та все внести до готового бланку практичної роботи. Зробити висновок щодо зміни напружено-деформованого стану купольної оболонки в залежності від умови закріплення чи умови навантаження поля оболонки .

6.2. Варіанти завдань для практичної роботи

№ вар	R,м	h, м	Клас бетону	№ вар	R,м	h, м	Клас бетону
1	2.5	0.95	B15	45	24.5	9.31	B55
2	3	1.14	B20	46	25	9.5	B15
3	3.5	1.33	B25	47	25.5	9.69	B20
4	4	1.52	B30	48	26	9.88	B25
5	4.5	1.71	B35	49	26.5	10.07	B30
6	5	1.9	B40	50	27	10.26	B35
7	5.5	2.09	B45	51	27.5	10.45	B40
8	6	2.28	B50	52	28	10.64	B45
9	6.5	2.47	B55	53	28.5	10.83	B50
10	7	2.66	B15	54	29	11.02	B55
11	7.5	2.85	B20	55	29.5	11.21	B15
12	8	3.04	B25	56	30	11.4	B20
13	8.5	3.23	B30	57	30.5	11.59	B25
14	9	3.42	B35	58	31	11.78	B30
15	9.5	3.61	B40	59	31.5	11.97	B35
16	10	3.8	B45	60	32	12.16	B40
17	10.5	3.99	B50	61	32.5	12.35	B45
18	11	4.18	B55	62	33	12.54	B50
19	11.5	4.37	B15	63	33.5	12.73	B55
20	12	4.56	B20	64	34	12.92	B15
21	12.5	4.75	B25	65	34.5	13.11	B20
22	13	4.94	B30	66	35	13.3	B25
23	13.5	5.13	B35	67	35.5	13.49	B30
24	14	5.32	B40	68	36	13.68	B35
25	14.5	5.51	B45	69	36.5	13.87	B40
26	15	5.7	B50	70	37	14.06	B45
27	15.5	5.89	B55	71	37.5	14.25	B50
28	16	6.08	B15	72	38	14.44	B55
29	16.5	6.27	B20	73	38.5	14.63	B15
30	17	6.46	B25	74	39	14.82	B20
31	17.5	6.65	B30	75	39.5	23.7	B25
32	18	6.84	B35	76	15	6.9	B30
33	18.5	7.03	B40	77	17	7.82	B35
34	19	7.22	B45	78	18	8.28	B40
35	19.5	7.41	B50	79	19	8.74	B45
36	20	7.6	B55	80	20	9.2	B50
37	20.5	7.79	B15	81	21	9.66	B55
38	21	7.98	B20	82	22	10.12	B25
39	21.5	8.17	B25	83	23	10.58	B30
40	22	8.36	B30	84	24	11.04	B35
41	22.5	8.55	B35	85	25	11.5	B40

6.3. Бланк виконання практичної роботи.

Розробка розрахункової схеми та розрахунок купольної оболонки в монолітному варіанті

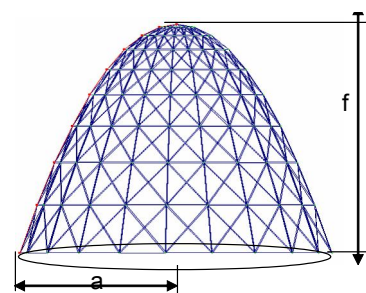
Мета роботи: Створити розрахункову схему купольної оболонки оберту в монолітному варіанті згідно завдання, яке наведено в папці «ЗАВДАННЯ» НМК комплексу та проаналізувати її напружено-деформований стан.

Приклад розрахунку подібної конструкції наведено в папці «ПРИКЛАД» НМК комплексу.

Порядок проведення роботи

Створення розрахункової схеми

Оболонка, що досліджується, утворена обертанням твірної навколо вертикальної вісі в площині XOZ .



Згідно завдання на прийнято конструкцію з розмірами:

діаметр основи _____ м, висота стріли підйому _____ м. Товщину поля монолітної оболонки приймаємо однаковою по всій поверхні й рівною _____ см. Клас бетону згідно завдання _____.

Математичну модель оболонки розбиту на кінцеві елементи називають розрахунковою схемою.

Оболонка є поверхнею, що розгортається та є поверхнею позитивної гаусової кривини. Апроксимацію поверхні проводимо кінцевими елементами типу пластина (42), **тип решітки _____**.

Жорсткісні характеристики кінцевого елемента наступні:

Таблиця 1

Тип жорсткості	Назва	Н, см	Е, т/м ²	ν	R ₀ , т/м ³
1	Пластина Н				

Н-переріз оболонки, см, Е- модуль пружності, т/м², ν - коефіцієнт Пуасона, R₀ – питома вага важкого бетону, т/м³

Умови спирання оболонки _____

Опорний контур прийнято зі стержневих кінцевих елементів з наступними характеристиками:

Таблиця 2

Тип жорсткості	Назва	Н, см	В, см	Е, т/м ²	ν	R ₀ , т/м ³

1	Брус <u>х</u>					
---	------------------	--	--	--	--	--

Призначення навантаження.

Приймаємо два види навантажень:

- 1) навантаження від власної ваги елементів конструкції, (яке задається автоматично в ПК ЛІРА)
- 2) згідно _____ кліматичного району нормативне снігове навантаження становить $S_0 = \underline{\hspace{2cm}}$. $\gamma_f = 1,4$; $\mu = \underline{\hspace{2cm}}$.

Розрахункове снігове навантаження: $S = S * \mu * \gamma_f = \underline{\hspace{2cm}}$ т/м.

Варіант прикладення рівномірно розподіленого навантаження згідно завдання

Виконуємо розрахунок конструкції за допомогою ПК ЛІРА.

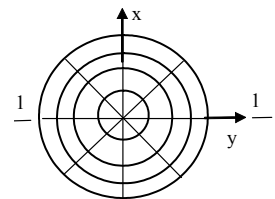
Після закінчення формування розрахункової схеми, проводимо її розрахунок на ПК ЛІРА чи Міраж.

Аналіз напружено-деформованого стану оболонки

Результатом статичного розрахунку конструкції є переміщення її вузлів та напруження в кінцевих елементах пластинчатого типу .

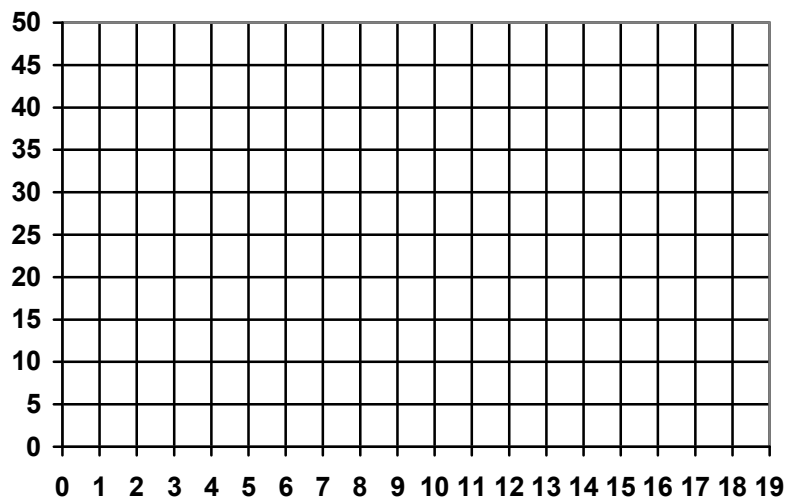
Переміщення в вузлах

Згідно отриманих даних величин переміщень вузлів побудуємо графік прогинів по діагональному перерізу 1-1 оболонки, рисунок _____ та запишемо дані до таблиці 3. Графік можливо побудувати у програмі Excell чи Word шляхом введення послідовних координат Табл..3



Графік переміщень вузлів оболонки по діагоналі поля

№ вузла	№ точки	Переміщення, мм
	1	
	2	
	3	
	4	
	5	
	6	
	7	
	8	
	9	
	10	
	11	
	12	
	13	
	14	
	15	
	16	
	17	
	18	
	19	



Максимальне переміщення точки № _____ (вузол № _____) становить $f_{\max} = \text{_____}$ мм.

Допустиме значення прогину:

$$[f] = \left(\frac{1}{300} \right) \cdot l = \text{_____} \text{ мм}$$

Проводимо перевірку умови жорсткості оболонки покриття $f_{\max} \leq [f]$. Як що умова не виконується потрібно провести повторний розрахунок з збільшенням значенням товщини поля оболонки та класу бетону.

Висновок:

Аналіз розподілу напружень в оболонці.

Розрахунок показав, що в середній поверхні поля оболонки виникають головні напруження розтягу та стиску.

Максимальні значення головних напружень стиску простежуються в _____ зоні оболонки, де їх величина складає _____ т/м².
Виходячи з умов міцності $\sigma_{\text{гл}} \leq R_b$ проводимо перевірку $\sigma_{2l} =$

Висновок: міцність перерізу на стиск за умови $\sigma_{2l} \leq R_b$ забезпечена.

Як що умова виконується, проводимо підбір достатньої товщини поля для сприйняття даних напружень стиску. Необхідна товщина оболонки:

$$\delta = \frac{N_{2l}^2}{R_b} =$$

Приймаємо: $\delta = \text{_____}$

Максимальні значення головних напружень розтягу простежуються в _____ зоні оболонки, де їх величина складає _____ т/м².
Виходячи з умов міцності на розтяг $\sigma_{2l}^2 \leq 0.25R_b$ чи $\sigma_{2l}^2 \leq 3R_{bt}$ проводимо перевірку $\sigma_{2l} =$ _____ $\leq 0.25R_b$

$$\sigma_{2l} = \text{_____} \leq 3R_{bt}$$

Висновок: міцність перерізу на розтяг

Як що умова виконується, проводимо підбір достатньої товщини поля для сприйняття даних напружень розтягу. Необхідна товщина оболонки:

$$\delta = \frac{N_{2l}^1}{R_b} =$$

Приймаємо: $\delta = \text{_____}$

Отже проектуємо оболонку перемінною по товщині, товщина поля в середній частині оболонки становить _____ см, товщина поля в кутовій частині оболонки становить _____ см

Таблиця 4

Максимальні переміщення вузлів, мм	Максимальні головні напруження в опорній зоні оболонки, т/м ²		Максимальні головні напруження в середній зоні оболонки, т/м ²		Прийнята товщина оболонки, мм	
	стиску	розтягу	стиску	розтягу	В кутовій зоні	В середній зоні

Висновки:**4. Літературні джерела**

1. ДБН В.1.2-2:2006 „Навантаження та впливи”. Норми проектування. К.: Мінбуд України, 2006.
 2. СНиП 2.03.01-84 Бетонные и железобетонные конструкции
 3. НМК «Будівельні конструкції». Практичне заняття №2 та №3
 4. Пособие по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого и легких бетонов без предварительного напряжения. Госстрой СССР, 1984 г.
 5. НМК «Будівельні конструкції». Практичне заняття №4
 6. НМК «Будівельні конструкції». Лекція №2
 7. Руководство по проектированию бетонных и железобетонных конструкций из тяжелого и легких бетонов без предварительного напряжения. Москва стройиздат СССР, 1978 г.
 8. Байков В.Н., Сигалов И.Е. Железобетонные конструкции. Общий курс. - М, 1985.
1. <http://www.vashdom.ru/gost/27772-88/>
 2. <http://best-stroy.ru/gost/r96/1711>
 3. http://www.plati.ru/asp/pay.asp?id_d=615500
 4. <http://www.remontnik.ru/docs/2927>
 5. http://www.ural-metal.info/gost/gost19903_74.shtml

Додаток 1

Табл 1.1

ξ	ζ	αm	ξ	ζ	αm	ξ	ζ	αm
0,01	0,995	0,010	0,26	0,870	0,226	0,51	0,745	0,380
0,02	0,990	0,020	0,27	0,865	0,234	0,52	0,740	0,385
0,03	0,985	0,030	0,28	0,860	0,241	0,53	0,735	0,390
0,04	0,980	0,039	0,29	0,855	0,243	0,54	0,730	0,394
0,05	0,975	0,049	0,30	0,850	0,255	0,55	0,725	0,399
0,06	0,970	0,058	0,31	0,845	0,262	0,56	0,720	0,403
0,07	0,965	0,068	0,32	0,840	0,269	0,57	0,715	0,407
0,08	0,960	0,077	0,33	0,835	0,276	0,58	0,710	0,412
0,09	0,955	0,086	0,34	0,830	0,282	0,59	0,705	0,416
0,10	0,950	0,095	0,35	0,825	0,289	0,60	0,700	0,420
0,11	0,945	0,104	0,36	0,820	0,295	0,62	0,690	0,428
0,12	0,940	0,113	0,37	0,815	0,302	0,64	0,680	0,435
0,13	0,935	0,122	0,38	0,810	0,308	0,66	0,670	0,442
0,14	0,930	0,130	0,39	0,805	0,314	0,68	0,660	0,449
0,15	0,925	0,139	0,40	0,800	0,320	0,70	0,650	0,455
0,16	0,920	0,147	0,41	0,795	0,326	0,72	0,640	0,461
0,17	0,915	0,156	0,42	0,790	0,332	0,74	0,630	0,466
0,18	0,910	0,164	0,43	0,785	0,338	0,76	0,620	0,471
0,19	0,905	0,172	0,44	0,780	0,343	0,78	0,610	0,476
0,20	0,900	0,180	0,45	0,775	0,349	0,80	0,600	0,480
0,21	0,895	0,188	0,46	0,770	0,354	0,85	0,575	0,489
0,22	0,890	0,196	0,47	0,765	0,360	0,90	0,550	0,495
0,23	0,885	0,204	0,48	0,760	0,365	0,95	0,525	0,499
0,24	0,880	0,211	0,49	0,755	0,370	1,00	0,500	0,500
0,25	0,875	0,219	0,50	0,750	0,375	—	—	—

Величины розрахункового опору бетону

табл.1.2

Вид сопротивления	Бетон	Расчетные сопротивления бетона для предельных состояний первой группы R_b и R_{bt} при классе бетона по прочности на сжатие																		
		B1	B1,5	B2	B2,5	B3,5	B5	B7,5	B10	B12,5	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
Сжатие осевое (призмочная прочность) R_b	Тяжелый и мелкозернистый	—	—	—	—	$\frac{2,1}{21,4}$	$\frac{2,8}{28,6}$	$\frac{4,5}{45,9}$	$\frac{6,0}{61,2}$	$\frac{7,5}{76,5}$	$\frac{8,5}{86,7}$	$\frac{11,5}{117}$	$\frac{14,5}{148}$	$\frac{17,0}{173}$	$\frac{19,5}{199}$	$\frac{22,0}{224}$	$\frac{25,0}{255}$	$\frac{27,5}{280}$	$\frac{30,0}{306}$	$\frac{33,0}{336}$
	Легкий	—	—	—	$\frac{1,5}{15,3}$	$\frac{2,1}{21,4}$	$\frac{2,8}{28,6}$	$\frac{4,5}{45,9}$	$\frac{6,0}{61,2}$	$\frac{7,5}{76,5}$	$\frac{8,5}{86,7}$	$\frac{11,5}{117}$	$\frac{14,5}{148}$	$\frac{17,0}{173}$	$\frac{19,5}{199}$	$\frac{22,0}{224}$	—	—	—	—
	Ячеистый	$\frac{0,6}{3,642}$	$\frac{0,95}{9,69}$	$\frac{1,3}{13,3}$	$\frac{1,6}{16,3}$	$\frac{2,2}{22,4}$	$\frac{3,1}{31,6}$	$\frac{4,6}{46,9}$	$\frac{6,0}{61,2}$	$\frac{7,0}{71,4}$	$\frac{7,7}{78,5}$	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Растяжение осевое	Тяжелый	—	—	—	—	$\frac{0,26}{2,65}$	$\frac{0,3}{7}$	$\frac{0,48}{4,89}$	$\frac{0,5}{7}$	$\frac{0,66}{6,73}$	$\frac{0,7}{5}$	$\frac{0,9}{0}$	$\frac{1,0}{5}$	$\frac{1,2}{0}$	$\frac{1,3}{0}$	$\frac{1,4}{0}$	$\frac{1,4}{5}$	$\frac{1,5}{5}$	$\frac{1,6}{0}$	$\frac{1,6}{5}$

R_{bt}						3,7		5,8		7,6	9,1	10,	12,	13,	14,	14,	15,	16,	16,
						7		1		5	8	7	2	3	3	8	8	3	8
	Мелкозернисты й групп:																		
	А	—	—	—	—	$\frac{0,26}{2,65}$	$\frac{0,3}{7}$	$\frac{0,48}{4,89}$	$\frac{0,5}{7}$	$\frac{0,66}{6,73}$	$\frac{0,7}{5}$	$\frac{0,9}{9,1}$	$\frac{1,0}{5}$	$\frac{1,2}{0}$	$\frac{1,3}{0}$	$\frac{1,4}{0}$	—	—	—
						3,7		5,8		7,6	9,1	10,	12,	13,	14,				
						7		1		5	8	7	2	3	3				
	Б	—	—	—	—	$\frac{0,17}{1,73}$	$\frac{0,2}{7}$	$\frac{0,40}{4,08}$	$\frac{0,4}{5}$	$\frac{0,51}{5,81}$	$\frac{0,6}{4}$	$\frac{0,7}{7}$	$\frac{0,9}{0}$	$\frac{1,0}{0}$	—	—	—	—	—
						2,7		4,5		6,5	7,8	9,1	10,						
						5		9		3	5	8	2						
	В	—	—	—	—	—	—	—	—	—	$\frac{0,7}{5}$	$\frac{0,9}{0}$	$\frac{1,0}{5}$	$\frac{1,2}{0}$	$\frac{1,3}{0}$	$\frac{1,4}{0}$	$\frac{1,4}{5}$	$\frac{1,5}{5}$	$\frac{1,6}{0}$
										7,6	9,1	10,	12,	13,	14,	14,	15,	16,	
										5	8	7	2	3	3	8	8	3	
Легкий при мелком заполнителе: плотном	—	—	—	$\frac{0,20}{2,04}$	$\frac{0,26}{2,65}$	$\frac{0,37}{3,77}$	$\frac{0,48}{4,89}$	$\frac{0,57}{5,81}$	$\frac{0,66}{6,73}$	$\frac{0,75}{7,65}$	$\frac{0,90}{9,18}$	$\frac{1,05}{10,7}$	$\frac{1,20}{12,2}$	$\frac{1,30}{13,3}$	$\frac{1,40}{14,3}$	—	—	—	
пористом	—	—	—	$\frac{0,20}{2,04}$	$\frac{0,26}{2,65}$	$\frac{0,37}{3,77}$	$\frac{0,48}{4,89}$	$\frac{0,57}{5,81}$	$\frac{0,66}{6,73}$	$\frac{0,74}{7,55}$	$\frac{0,80}{8,16}$	$\frac{0,90}{9,18}$	$\frac{1,00}{10,2}$	$\frac{1,10}{11,2}$	$\frac{1,20}{12,2}$	—	—	—	
Ячеистый	$\frac{0,06}{0,613}$	$\frac{0,09}{0,918}$	$\frac{0,12}{1,22}$	$\frac{0,14}{1,43}$	$\frac{0,18}{1,84}$	$\frac{0,24}{2,45}$	$\frac{0,28}{2,86}$	$\frac{0,39}{4,00}$	$\frac{0,44}{4,49}$	$\frac{0,46}{4,69}$	—	—	—	—	—	—	—		

Таблица 1.3

Коэффициент условий работы бетона γ_{b2}	Класс растянутой арматуры	Обозначение	Значения ω , ξ_R , α_R и ψ_c для элементов из тяжелого бетона классов											
			B12,5	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60	
0,9	Любой	ω	0,796	0,788	0,766	0,746	0,726	0,710	0,690	0,670	0,650	0,634	0,614	
		А-III (\varnothing 10–40) и Вр-I (\varnothing 4; 5)	ξ_R	0,662	0,652	0,627	0,604	0,582	0,564	0,542	0,521	0,500	0,484	0,464
			α_R	0,443	0,440	0,430	0,422	0,413	0,405	0,395	0,381	0,376	0,367	0,355
	ψ_c		4,96	4,82	4,51	4,26	4,03	3,86	3,68	3,50	3,36	3,23	3,09	
	А-II	ξ_R	0,689	0,680	0,650	0,632	0,610	0,592	0,571	0,550	0,531	0,512	0,490	
		α_R	0,452	0,449	0,439	0,432	0,424	0,417	0,408	0,399	0,390	0,381	0,370	
		ψ_c	6,46	6,29	5,88	5,55	5,25	5,04	4,79	4,57	4,38	4,22	4,03	
	А-I	ξ_R	0,708	0,698	0,674	0,652	0,630	0,612	0,591	0,570	0,551	0,533	0,510	
		α_R	0,457	0,455	0,447	0,439	0,432	0,425	0,416	0,407	0,399	0,391	0,380	
		ψ_c	8,04	7,82	7,32	6,91	6,54	6,27	5,96	5,68	5,46	5,25	5,01	
	1,0	Любой	ω	0,790	0,782	0,758	0,734	0,714	0,694	0,674	0,650	0,630	0,610	0,586
			А-III (\varnothing 10–40) и Вр-I (\varnothing 4,5)	ξ_R	0,628	0,619	0,591	0,563	0,541	0,519	0,498	0,473	0,453	0,434
α_R				0,431	0,427	0,416	0,405	0,395	0,384	0,374	0,361	0,350	0,340	0,327
ψ_c		3,89		3,79	3,52	3,29	3,12	2,97	2,83	2,68	2,56	2,46	2,35	
А-II		ξ_R	0,660	0,650	0,623	0,593	0,573	0,551	0,530	0,505	0,485	0,465	0,442	
		α_R	0,442	0,439	0,429	0,417	0,409	0,399	0,390	0,378	0,367	0,357	0,344	
		ψ_c	5,07	4,94	4,60	4,29	4,07	3,87	3,69	3,49	3,34	3,21	3,06	
А-I		ξ_R	0,682	0,673	0,645	0,618	0,596	0,575	0,553	0,528	0,508	0,488	0,464	
		α_R	0,449	0,447	0,437	0,427	0,419	0,410	0,400	0,389	0,379	0,369	0,356	
		ψ_c	6,31	6,15	5,72	5,34	5,07	4,82	4,59	4,35	4,16	3,99	3,80	
1,1		Любой	ω	0,784	0,775	0,750	0,722	0,698	0,678	0,653	0,630	0,606	0,586	0,558
			А-III (\varnothing 10–40) и Вр-I (\varnothing 4; 5)	ξ_R	0,621	0,610	0,581	0,550	0,523	0,502	0,481	0,453	0,429	0,411
	α_R			0,428	0,424	0,412	0,399	0,386	0,376	0,365	0,351	0,346	0,327	0,312
	ψ_c	3,81		3,71	3,44	3,19	3,00	2,86	2,73	2,56	2,52	2,35	2,23	
	А-II	ξ_R	0,650	0,642	0,613	0,582	0,556	0,534	0,514	0,485	0,477	0,442	0,417	
		α_R	0,439	0,436	0,425	0,413	0,401	0,391	0,382	0,361	0,363	0,344	0,330	
		ψ_c	4,97	4,84	4,49	4,16	3,91	3,72	3,53	3,34	3,29	3,06	2,91	
	А-I	ξ_R	0,675	0,665	0,636	0,605	0,579	0,558	0,537	0,509	0,500	0,464	0,439	
		α_R	0,447	0,444	0,434	0,422	0,411	0,402	0,393	0,379	0,375	0,356	0,343	
		ψ_c	6,19	6,02	5,59	5,17	4,86	4,63	4,42	4,16	4,09	3,80	3,62	
	Коэффициент условий работы бетона γ_{b2}	Класс растянутой арматуры	Обозначение	Значения ω , ξ_R , α_R и ψ_c для элементов из тяжелого бетона классов										
				B12,5	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
0,9	Любой	ω	0,796	0,788	0,766	0,746	0,726	0,710	0,690	0,670	0,650	0,634	0,614	
		А-III (\varnothing 10–40) и Вр-I (\varnothing 4; 5)	ξ_R	0,662	0,652	0,627	0,604	0,582	0,564	0,542	0,521	0,500	0,484	0,464
			α_R	0,443	0,440	0,430	0,422	0,413	0,405	0,395	0,381	0,376	0,367	0,355

		ψ_c	4,96	4,82	4,51	4,26	4,03	3,86	3,68	3,50	3,36	3,23	3,09
	A-II	ξ_R	0,689	0,680	0,650	0,632	0,610	0,592	0,571	0,550	0,531	0,512	0,490
		α_R	0,452	0,449	0,439	0,432	0,424	0,417	0,408	0,399	0,390	0,381	0,370
		ψ_c	6,46	6,29	5,88	5,55	5,25	5,04	4,79	4,57	4,38	4,22	4,03
	A-I	ξ_R	0,708	0,698	0,674	0,652	0,630	0,612	0,591	0,570	0,551	0,533	0,510
		α_R	0,457	0,455	0,447	0,439	0,432	0,425	0,416	0,407	0,399	0,391	0,380
		ψ_c	8,04	7,82	7,32	6,91	6,54	6,27	5,96	5,68	5,46	5,25	5,01
1,0	Любой	ω	0,790	0,782	0,758	0,734	0,714	0,694	0,674	0,650	0,630	0,610	0,586
	A-III (Ø 10–40) и Bp-I (Ø 4,5)	ξ_R	0,628	0,619	0,591	0,563	0,541	0,519	0,498	0,473	0,453	0,434	0,411
		α_R	0,431	0,427	0,416	0,405	0,395	0,384	0,374	0,361	0,350	0,340	0,327
		ψ_c	3,89	3,79	3,52	3,29	3,12	2,97	2,83	2,68	2,56	2,46	2,35
	A-II	ξ_R	0,660	0,650	0,623	0,593	0,573	0,551	0,530	0,505	0,485	0,465	0,442
		α_R	0,442	0,439	0,429	0,417	0,409	0,399	0,390	0,378	0,367	0,357	0,344
		ψ_c	5,07	4,94	4,60	4,29	4,07	3,87	3,69	3,49	3,34	3,21	3,06
	A-I	ξ_R	0,682	0,673	0,645	0,618	0,596	0,575	0,553	0,528	0,508	0,488	0,464
		α_R	0,449	0,447	0,437	0,427	0,419	0,410	0,400	0,389	0,379	0,369	0,356
		ψ_c	6,31	6,15	5,72	5,34	5,07	4,82	4,59	4,35	4,16	3,99	3,80
1,1	Любой	ω	0,784	0,775	0,750	0,722	0,698	0,678	0,653	0,630	0,606	0,586	0,558
	A-III (Ø 10–40) и Bp-I (Ø 4; 5)	ξ_R	0,621	0,610	0,581	0,550	0,523	0,502	0,481	0,453	0,429	0,411	0,385
		α_R	0,428	0,424	0,412	0,399	0,386	0,376	0,365	0,351	0,346	0,327	0,312
		ψ_c	3,81	3,71	3,44	3,19	3,00	2,86	2,73	2,56	2,52	2,35	2,23
	A-II	ξ_R	0,650	0,642	0,613	0,582	0,556	0,534	0,514	0,485	0,477	0,442	0,417
		α_R	0,439	0,436	0,425	0,413	0,401	0,391	0,382	0,361	0,363	0,344	0,330
		ψ_c	4,97	4,84	4,49	4,16	3,91	3,72	3,53	3,34	3,29	3,06	2,91
	A-I	ξ_R	0,675	0,665	0,636	0,605	0,579	0,558	0,537	0,509	0,500	0,464	0,439
		α_R	0,447	0,444	0,434	0,422	0,411	0,402	0,393	0,379	0,375	0,356	0,343
		ψ_c	6,19	6,02	5,59	5,17	4,86	4,63	4,42	4,16	4,09	3,80	3,62
Коэффициент условий работы бетона γ_{b2}	Класс растянутой арматуры	Обозначение	Значения ω , ξ_R , α_R и ψ_c для элементов из тяжелого бетона классов										
			B12,5	B15	B20	B25	B30	B35	B40	B45	B50	B55	B60
0,9	Любой	ω	0,796	0,788	0,766	0,746	0,726	0,710	0,690	0,670	0,650	0,634	0,614
	A-III (Ø 10–40) и Bp-I (Ø 4; 5)	ξ_R	0,662	0,652	0,627	0,604	0,582	0,564	0,542	0,521	0,500	0,484	0,464
		α_R	0,443	0,440	0,430	0,422	0,413	0,405	0,395	0,381	0,376	0,367	0,355
		ψ_c	4,96	4,82	4,51	4,26	4,03	3,86	3,68	3,50	3,36	3,23	3,09
	A-II	ξ_R	0,689	0,680	0,650	0,632	0,610	0,592	0,571	0,550	0,531	0,512	0,490
		α_R	0,452	0,449	0,439	0,432	0,424	0,417	0,408	0,399	0,390	0,381	0,370
		ψ_c	6,46	6,29	5,88	5,55	5,25	5,04	4,79	4,57	4,38	4,22	4,03
	A-I	ξ_R	0,708	0,698	0,674	0,652	0,630	0,612	0,591	0,570	0,551	0,533	0,510
		α_R	0,457	0,455	0,447	0,439	0,432	0,425	0,416	0,407	0,399	0,391	0,380
		ψ_c	8,04	7,82	7,32	6,91	6,54	6,27	5,96	5,68	5,46	5,25	5,01
1,0	Любой	ω	0,790	0,782	0,758	0,734	0,714	0,694	0,674	0,650	0,630	0,610	0,586
	A-III (Ø 10–40) и Bp-I (Ø 4,5)	ξ_R	0,628	0,619	0,591	0,563	0,541	0,519	0,498	0,473	0,453	0,434	0,411
		α_R	0,431	0,427	0,416	0,405	0,395	0,384	0,374	0,361	0,350	0,340	0,327
		ψ_c	3,89	3,79	3,52	3,29	3,12	2,97	2,83	2,68	2,56	2,46	2,35

	А-II	ξ_R	0,660	0,650	0,623	0,593	0,573	0,551	0,530	0,505	0,485	0,465	0,442
		α_R	0,442	0,439	0,429	0,417	0,409	0,399	0,390	0,378	0,367	0,357	0,344
		ψ_c	5,07	4,94	4,60	4,29	4,07	3,87	3,69	3,49	3,34	3,21	3,06
	А-I	ξ_R	0,682	0,673	0,645	0,618	0,596	0,575	0,553	0,528	0,508	0,488	0,464
		α_R	0,449	0,447	0,437	0,427	0,419	0,410	0,400	0,389	0,379	0,369	0,356
		ψ_c	6,31	6,15	5,72	5,34	5,07	4,82	4,59	4,35	4,16	3,99	3,80
1,1	Любой	ω	0,784	0,775	0,750	0,722	0,698	0,678	0,653	0,630	0,606	0,586	0,558
	А-III (Ø 10–40) и Вр-I (Ø 4; 5)	ξ_R	0,621	0,610	0,581	0,550	0,523	0,502	0,481	0,453	0,429	0,411	0,385
		α_R	0,428	0,424	0,412	0,399	0,386	0,376	0,365	0,351	0,346	0,327	0,312
		ψ_c	3,81	3,71	3,44	3,19	3,00	2,86	2,73	2,56	2,52	2,35	2,23
	А-II	ξ_R	0,650	0,642	0,613	0,582	0,556	0,534	0,514	0,485	0,477	0,442	0,417
		α_R	0,439	0,436	0,425	0,413	0,401	0,391	0,382	0,361	0,363	0,344	0,330
		ψ_c	4,97	4,84	4,49	4,16	3,91	3,72	3,53	3,34	3,29	3,06	2,91
	А-I	ξ_R	0,675	0,665	0,636	0,605	0,579	0,558	0,537	0,509	0,500	0,464	0,439
		α_R	0,447	0,444	0,434	0,422	0,411	0,402	0,393	0,379	0,375	0,356	0,343
		ψ_c	6,19	6,02	5,59	5,17	4,86	4,63	4,42	4,16	4,09	3,80	3,62

Таблица 1.4

Бетон	Коефіцієнти		
	φ_{b2}	φ_{b3}	φ_{b4}
Важкий	2,00	0,6	1,5
Дрібнозернистий	1,70	0,5	1,2
Легкий при марці по середній щільності D:			
1900 і вище	1,90	0,5	1,2
1800 і нижче при дрібному заповнювачі:			
щільному	1,75	0,4	1,0
пористому	1,50	0,4	1,0

Таблица 1.5

Таблица зварюваності арматури

СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ДИАМЕТРАМИ СВАРИВАЕМЫХ СТЕРЖНЕЙ И МИНИМАЛЬНЫЕ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ СТЕРЖНЯМИ В СВАРНЫХ СЕТКАХ И КАРКАСАХ, ИЗГОТОВЛЯЕМЫХ С ПОМОЩЬЮ КОНТАКТНОЙ ТОЧЕЧНОЙ СВАРКИ

Диаметр стержня одного направления, мм . . .	3	6	8	10	12	14	16
Наименьший допустимый диаметр стержня другого направления, мм . . .	3	3	3	3	3	4	4
Наименьшее допустимое расстояние между осями стержней одного направления, мм	50	50	75	75	75	75	75
То же продольных стержней при двухрядном их расположении в каркасе, мм	—	30	30	30	40	40	40
<i>Продолжение прил. 9</i>							
Диаметр стержня одного направления, мм . . .	18	20	22	25	28	32	40
Наименьший допустимый диаметр стержня другого направления, мм . . .	5	5	6	8	8	8	10
Наименьшее допустимое расстояние между осями стержней одного направления, мм	100	100	100	150	150	150	200
То же продольных стержней при двухрядном их расположении в каркасе, мм	40	50	50	50	60	70	80

Розрахунок стиснутих залізобетонних елементів.

Розрахункова довжина колон одноповерхових промислових будівель

Табл.2.1.

Действие нагрузки от мосто- вых кра- нов	Подкрановая (нижняя) часть колонны при подкрановых балках				Надкрановая (верх- няя) часть колонны при подкрановых балках	
	разрезных	неразрез- ных	однопро- летных зданий	многопро- летных зданий	разрез- ных	неразрез- ных
Учиты- вается	$1,5N_H$	$1,2N_H$	—	—	$2N_B$	$2N_B$
Не учи- тывается	—	—	$1,5N$	$1,2N$	$2,5N_B$	$2N_B$

Залежність зміни коефіцієнтів φ_b та φ_r в залежності від величини поздовжньої сили та гнучкості колони

Табл.2.2

l_0/h	Коефіцієнт φ_b при значенні N_g/N			Коефіцієнт φ_r при значенні N_g/N		
	0	0,5	1	0	0,5	1
6	0,93	0,92	0,92	0,93/0,92	0,92/0,92	0,92/0,92
8	0,92	0,91	0,91	0,92/0,92	0,92/0,91	0,91/0,91
10	0,91	0,90	0,89	0,91/0,91	0,91/0,90	0,90/0,89
12	0,90	0,89	0,86	0,90/0,89	0,89/0,88	0,89/0,86
14	0,89	0,86	0,82	0,89/0,87	0,88/0,85	0,87/0,82
16	0,88	0,82	0,76	0,88/0,85	0,86/0,81	0,84/0,77
18	0,86	0,78	0,72	0,86/0,81	0,83/0,76	0,79/0,70
20	0,84	0,72	0,62	0,84/0,79	0,79/0,71	0,74/0,63

Циганенко Людмила Анатоліївна
Срібняк Наталія Миколаївна

БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

Частина 1

Залізобетонні конструкції

Методичні вказівки до виконання самостійної роботи
для студентів 3 курсу денної та заочної форм навчання
спеціальності 6.060101 „Промислове та цивільне будівництво”
денної форми навчання

Суми, РВВ, Сумський національний аграрний університет , вул.. Кірова 160

Підписано до друку _____ 2011р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman		
Тираж 100 примірників	Замовлення	Ум.друк.арк 1,0