

**МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

РОЗРАХУНОК ТА КОНСТРУЮВАННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ СПОРУД

**Методичні вказівки
до виконання самостійної роботи
на тему «Розрахунок циліндричних покриттів
з використанням ПК LIRA»**

МІНІСТЕРСТВО АГРАРНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра будівельних конструкцій

РОЗРАХУНОК ТА КОНСТРУЮВАННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ СПОРУД

Методичні вказівки
до виконання самостійної роботи
на тему «Розрахунок циліндричних покриттів
з використанням ПК LIRA»

для студентів 5 курсу денної та заочної форми навчання
освітньо-кваліфікаційного рівня – спеціаліст,
магістр спеціальності 2903
„Промислове та цивільне будівництво”

Укладачі: Срібняк Н.М., асистент кафедри будівельних конструкцій

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

Розрахунок та конструювання спеціальних споруд: методичні вказівки до виконання самостійної роботи на тему „Розрахунок циліндричних покриттів з використанням з використанням ПК LIRA / Суми, 2009 рік , 80 ст., табл. 1, бібл. 15.

У методичних вказівках наведено алгоритм завдання вихідних даних:, вибір та обґрунтування типу скінчених елементів, якими проводиться моделювання поверхонь, завдання крайових умов закріплення оболонок, призначення жорсткісних характеристик відповідним типам скінчених елементів, призначення діючого навантаження та послідовність створення розрахункових схем на ПК LIRA зазначених конструкцій відповідно до алгоритму. Також приведено послідовність проведення аналізу напружено-деформованого стану оболонок з оформленням результатів дослідження. Наведено конструктивні вимоги, щодо проектування оболонок.

Рецензенти: Мукоєєв В.М.,к.т.н., доцент кафедри

будівельних конструкцій Сумського національного аграрного університету

Височин І.А., к.т.н., зав. кафедри архітектури та інженерних вишукувань Сумського національного аграрного університету

Відповідальний за випуск: Фомиця Л.М., д.т.н., професор кафедри будівельних конструкцій СНАУ

Рекомендовано до видання методичною радою Сумського національного аграрного університету. Протокол № _____ від «___» _____ 2009 року.

© Сумський національний аграрний університет, 2009

Зміст

1. Напружений стан та конструювання циліндричних оболонок	5
1.1 Конструювання довгих оболонок	5
1.1.1 Конструювання стиків	9
1.1.2 Бортові елементи	11
1.1.3 Армування бортових елементів	13
1.2 Конструювання коротких оболонок	13
1.3 Оболонки з деревини та пластмас	17
Розділ 2. Алгоритм розрахунку циліндричної оболонки на ПК „Ліра”	19
2.1. Створення розрахункової схеми конструкції	19
2.2 Завдання крайових умов конструкції	31
2.3 Призначення навантаження	33
2.4 Статичний розрахунок конструкції	36
2.5 Аналіз напружено-деформованого стану оболонки	36
2.5.1 Аналіз деформативності конструкції	36
2.5.2 Характеристика напруженого стану оболонки	41
Література	51
Додатки	53
Додаток 1	53
Додаток 2	58
Додаток 3	74

1. Напружений стан та конструювання циліндричних оболонок

1.1 Конструювання довгих оболонок.

В покриттях з довгими циліндричними оболонками, на які діє рівномірно-розподілене навантаження характерні елементи мають такий напружений стан, як це показано на рис. 1.1

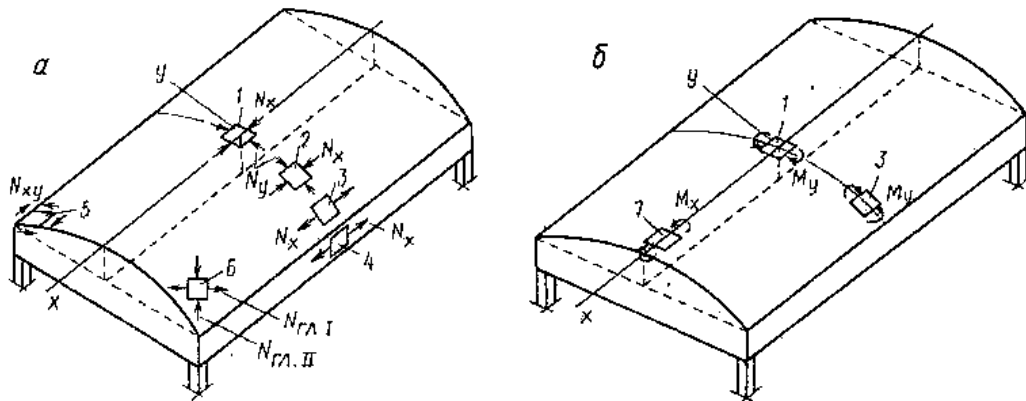


Рис. 1.1. Напружений стан циліндричних оболонок

У вершині оболонки елемент 1 працює на двухосний стиск- зусилля N_x та N_y . В елементі 2, якій розташовано нижче, ніж елемент 1 зусилля N_x за своїм значенням збільшується, а зусилля N_y зменшується. В цих місцях на зусилля стиску N_x та N_y оболонка розраховується на міцність. В елементах 3 та 4 діють зусилля розтягу, тому на їх сприйняття проводять підбір армування- визначають арматуру типу I (рис.1.2).

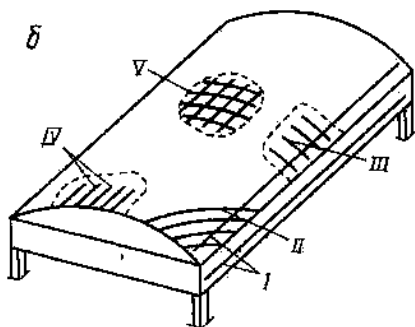


Рис. 1.2. Схема армування оболонки

В кутовій зоні оболонки елементи 5 та 6 знаходяться відповідно під впливом дотичних зусиль N_{xy} та еквівалентних їм головних нормальних зусиль різного знаку $N_{ГЛ I}$ та $N_{ГЛ II}$.

По зусиллям розтягу $N_{ГЛ I}$ розраховують арматуру типу II

Арматуру типу III розраховують по елементу 3, на зусилля стиску- N_y , яке має невелике значення та може взагалі не враховуватися.

Підбір арматури типу IV проводять по моменту M_x у зоні елемента 7.

Найбільш напружена зона, це зона елемента 3, яка витримує зусилля стиску та розтягу у взаємно перпендикулярних напрямках. Тому товщину оболонки в цьому місці потрібно збільшувати. Покриття з довгими оболонками мають чіткий процес тріщиноутворення:

- наскрізні 1 та 2 - в бортових елементах та частин, які примикають до них, а також у кутових зонах оболонки;

- односторонні 3 та 4, що виникають на нижній частині поля оболонки –вздовж бортових елементів від діючих моментів згину;

- односторонні 5, що виникають на верхній частині поля оболонки –вздовж бортових елементів від діючих моментів згину;

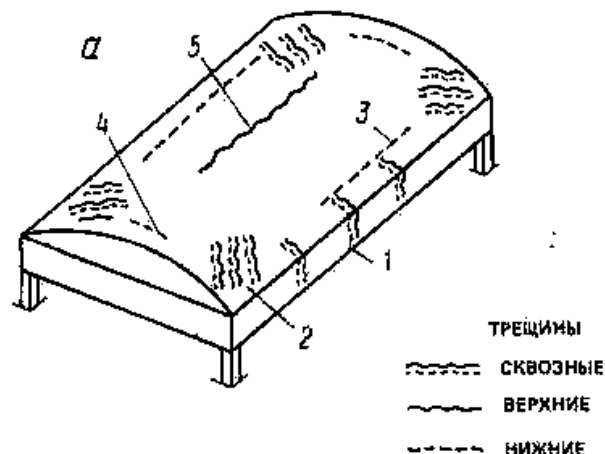


Рис.1.3. Процес тріщиноутворення в оболонці

Цей процес тріщиноутворення повністю відповідає описаному вище напруженому стану оболонки покриття та необхідний для проведення армування.

Загальний вигляд напружено-деформованого стану довгої оболонки приведено на рисунку 1.4

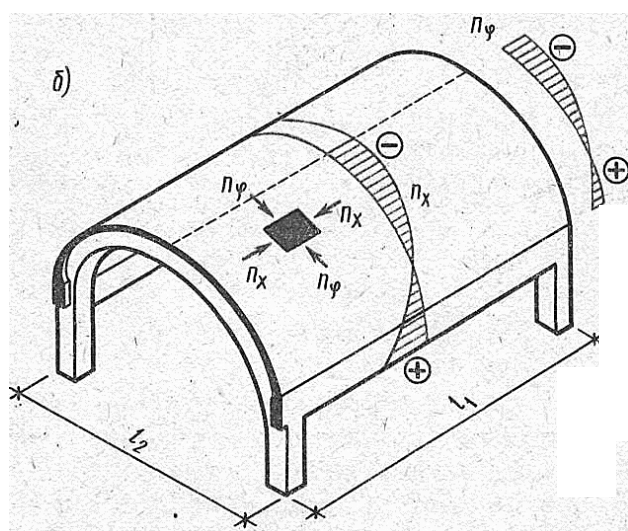
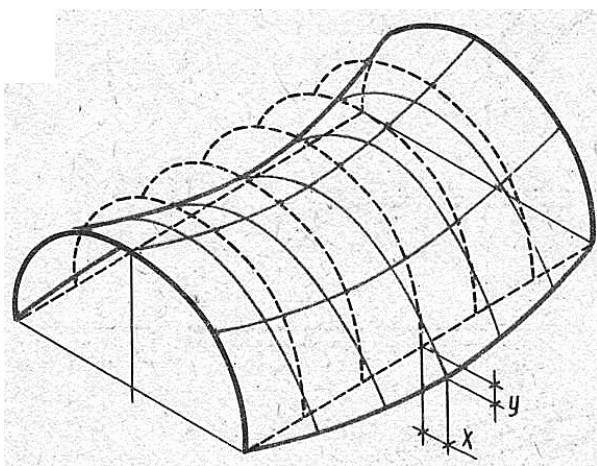


Рис. 1.4 Напружено-

деформований стан циліндричної оболонки

Рекомендації по підборі армування поля оболонки:

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

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

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 $\varnothing 5 \dots 6$ 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 $\sigma_{+zt} > R_{bt}$ - її встановлюють у вигляді сіток під кутом 45° чи ортогональні, анкетування проводиться в бортових елементах;

➤ арматура типу III та IV на сприйняття моменту згину $M \leq \cos \varphi R_s A_s \gamma_s h_0$

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

У гладких оболонках (без ребер) в арматурних сітках може передбачатися арматури, необхідна з розрахунку для сприйняття місцевих згинальних моментів. У ребристих оболонках згинальні моменти сприймаються тавровими перетинами; полиця повинна бути розміщена в стиснутій зоні та армована одиночною сіткою.

Підбір товщини поля оболонки з умов міцності

У тонкостінних оболонках товщина оболонки (гладкої або ребристої) повинна встановлюватися па підставі результатів розрахунку на стиск в одному або двох напрямках з урахуванням не допущення можливої втрати

стійкості її геометричної форми. Підбір чи перевірку товщини оболонки слід проводити таким чином:

➤ при виконанні умови $\sigma_{zl}^- \leq R_b$ - попередньо прийнята товщина оболонки достатня для сприйняття напружень стиску, якщо умова не виконується - потрібно збільшити товщину оболонки чи клас бетону ;

➤ при виконанні умови $\sigma_{zl}^+ \leq 0.25R_b$ та $\sigma_{zl}^+ \leq 3R_{bt}$ - попередньо прийнята товщина оболонки достатня для сприйняття напружень розтягу, які найбільші по своєму значенню припадають на приконтурну та кутову зони, якщо умова не виконується - потрібно збільшити товщину оболонки чи клас бетону ;

➤ при невиконанні вище перелічених умов, потрібно збільшувати товщину поля оболонки за таким принципом

- на напруження розтягу
$$\delta = \frac{\sigma_{zl}^+ \cdot \delta_{np}}{R_{bt}}$$
, де σ_{zl}^+ - головні напруження розтягу; R_{bt} - розрахунковий опір бетону на розтяг; δ_{np} - попередньо задана товщина поля оболонки, яка була прийнята при визначенні напружень.

- на напруження стиску
$$\delta = \frac{\sigma_{zl}^- \cdot \delta_{np}}{R_b}$$
, де σ_{zl}^- - головні напруження розтягу; R_b - розрахунковий опір бетону на розтяг; δ_{np} - попередньо задана товщина поля оболонки, яка була прийнята при визначенні напружень.

1.1.1 Конструювання стиків

В будівництві збірні циліндричні оболонки при прольотах 24,30,36 м та довжині хвилі 12м використовується два варіанта конструювання, рис. 1.4

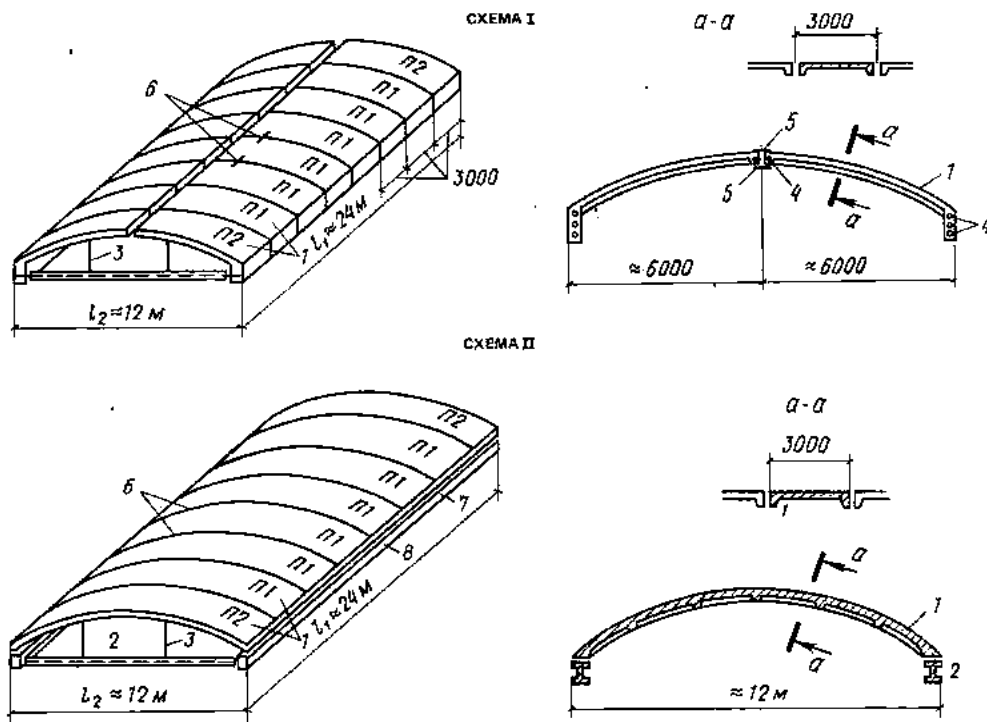


Рис.1.4. Конструкції збірного покриття з довгими оболонками :
 1-збірні елементи оболонки; 2- затяг діафрагми; 3-подвески діафрагми
 ; 4-елементи попередньо напруженої арматури; 5- стикові металеві
 накладки; 6-шви збірних елементів; 7- шпоночний шов; 8-бортовий елемент

В збірному покритті у вигляді довгої оболонки до замонолічення з'єднувальних елементів оболонки та діафрагм власна вага оболонки передається на діафрагми без урахування просторового ефекту. Після замонолічення швів між всіма збірними елементами (плитами, оболонкою й діафрагмами) покриття в цілому працює як єдина просторова система на навантаження (від утеплювача, покрівлі, снігу, підвісних кранів, робочих площадок, що розміщують в просторі між фермами). Якщо збірні конструкції покриття в період монтажу й замонолічення витримувати на тимчасових опорах, ефект просторової роботи покриття можна істотно збільшити.

Щоб забезпечити цілісність оболонки в місцях з'єднання її елементів, необхідно прийняти певні заходи. Так, в місцях з'єднання елементів оболонки виникають у просторових системах під дією загальних навантажень. Спільна робота всіх збірних елементів забезпечується устроєм швів шпонкової форми, які передають дотичні сили.

Стикові з'єднання, крізь які передаються дотичні зусилля N_{xy} , конструюють з металевими накладками чи бетонними шпонками, рис. 1.5.

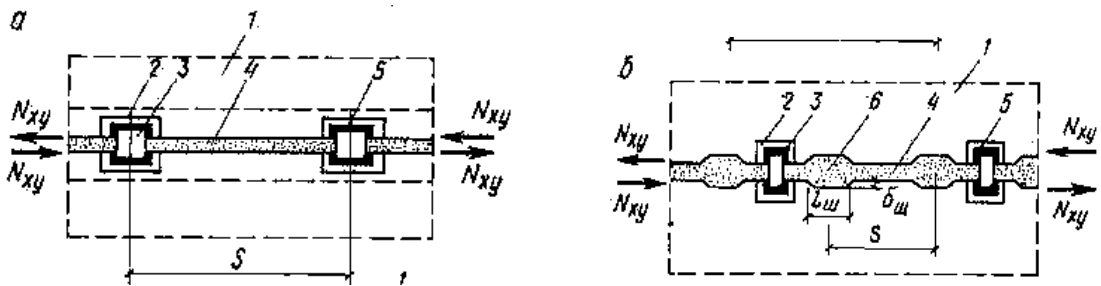


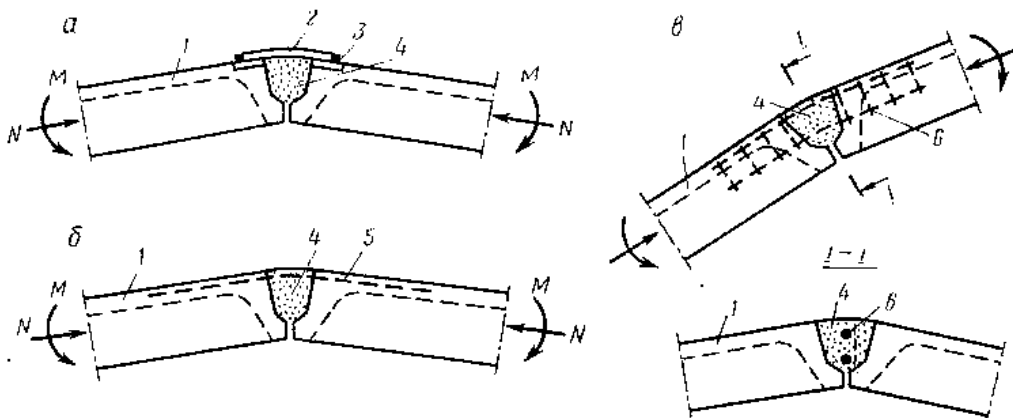
Рис. 1.5 Стикові з'єднання збірних елементів оболонок на прийняття дотичних зусиль: а) на зварних планках; б) на бетонних шпонках; 1-збірний елемент оболонки; 2-закладна деталь; 3-накладка; 4-бетонне заповнення швів; 5-зварної шов; 6-бетона шпонка; s-відстань між шпонками

Шпонки розраховують по міцності бетону :

- на зріз $S_{ш} \leq 2R_p l_{ш} b_{ш}$, де $l_{ш}$ - довжина шпонки; $b_{ш}$ - глибина шпонки;

- на зминання бетону шпонки $S_{ш} \leq R_{пр} \delta_{ш} b_{ш}$, де $S_{ш} = N_{xy} s$, s- відстань між шпонками

Шви збірних елементів оболонки в місцях їхнього перерізу армують стержнями або каркасами. Схеми стикових з'єднань елементів оболонки, крізь які передають моменти згину в поєднанні з нормальними зусиллями стиску, наведено на рис.1.6.



*Рис.1.6. Схеми стикових з'єднань елементів оболонки
1-збірний елемент;2-накладка;3-зварний шов;4-бетонне заповнення швів;5-робочий арматурний стержень;6-зварний каркас*

1.1.2 Бортові елементи

Особливу увагу варто приділяти конструкції сполучення оболонки з бортовими елементами (рис.1.7(а)). У сполученні повинна бути забезпечена передача дотичних сил, для чого тут передбачають поздовжні шви шпонкової форми. Оскільки шпонкові шви супроводжуються розпором, вони повинні бути перекриті зварними планками або арматурними сітками. Збірні бортові елементи мають специфічну форму. Їхнє місце розташування в просторі повинне бути надійно фіксовано, тому вони з'єднуються з діафрагмами за допомогою зварювання закладних деталей. Конструктивною простотою відрізняються контурні бруси. Однак вони інтенсивно розтягуються, у зв'язку із чим їх потрібно робити попередньо напруженими, що у виробничих умовах важко здійснювати.

Як альтернативне рішення — застосування металевих контурних брусів (рис.1.7(б)), які обетонують та доповнюють залізобетонною частиною, що виконується в процесі монтажу. Збірні елементи оболонок приварюють до металевих профілів контурних брусів за допомогою закладних деталей і з'єднують із контурною конструкцією шпонковим швом.

Контурні бруси повинні бути надійно з'єднані з оболонкою за допомогою армованої набетонки й арматурних каркасів, встановлюваних у швах між збірними елементами оболонки. Крім цього до верху сталевих профілів необхідно приварити сталеві упори (з розрахунку) для забезпечення передачі дотичних сил з оболонки сталевим профілям.

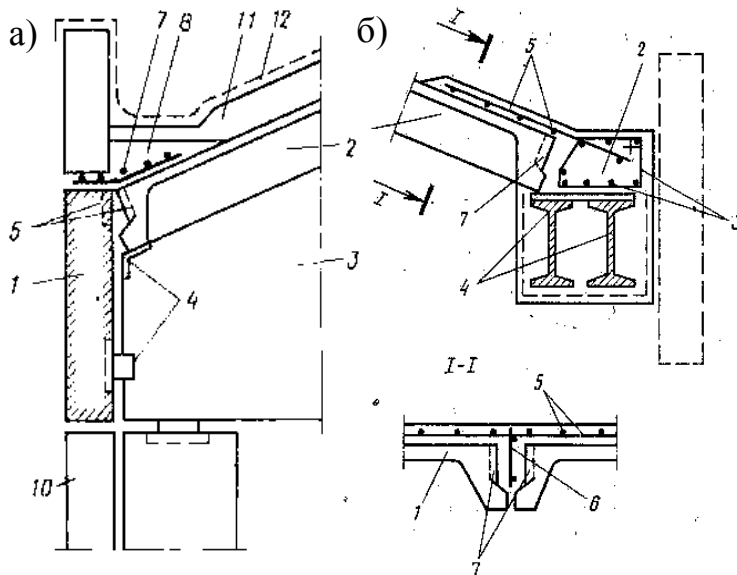


Рис. 1.7 Сполучення з бортовими елементами збірних циліндричних оболонок;
 1- бортовий елемент; 2- збірні елементи оболонок; 3- діафрагми; 4-заставні сталеві деталі (зварюються на монтажі); 5- пази в ребрах при бетонних шпонках у швах; 6- арматурний каркас (у зоні діафрагм); 7-арматурна сітка по всій довжині; 8-бетонне заповнення шва; 9- опорне ребро бортового елемента; 10-стінове огородження; 11- утеплювач; 12- рулонна покрівля

Сполучення збірних елементів оболонок між собою та з проміжними діафрагмами можна виконати за двома варіантами, рис.1.8(а,б):

- при з'єднанні плит з залізобетонною діафрагмою виконують приварку закладних деталей, влаштовують уширення бетонного шву шпоночної форми , а також арматурні випуски, рис.1.8(а):

- при з'єднанні плит з металевою діафрагмою, закладні деталі приварюють до проміжної діафрагми, уширений шов над діафрагмою заповнюють бетоном та об'єднують з армованою на бетонкою на при опорних частинах оболонки, рис.1.8(б):

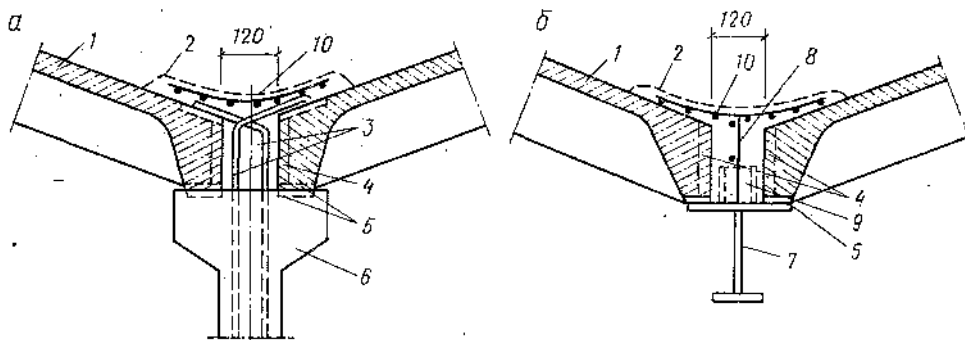


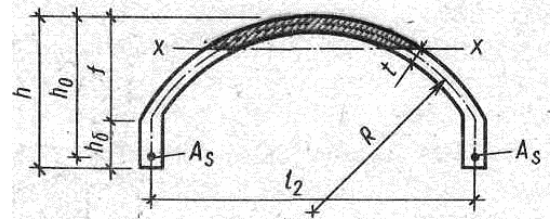
Рис.1.8. Сполучення збірних елементів оболонок між собою та з проміжними діафрагмами

1.1.3 Армування бортових елементів

Довгу оболонку в напрямку L_1 розраховують як балку криволінійного поперечного перерізу. Зусилля розтягу в одному бортовому елементі визначають за

формулою $N_b = \frac{M}{2 \cdot 0.8h_0}$,

де $M = \frac{ql_2^2}{8}$, q - навантаження на 1м2 плану оболонки



$$A_s = \frac{N_b}{R_s}$$

Площа перерізу арматури визначається за формулою $A_s = \frac{N_b}{R_s}$. Тип армування I-наведено на рис.1.2 та дано рекомендації по розташуванню.

1.2 Конструювання коротких оболонок

В покриттях в вигляді коротких циліндричних оболонок, на які діє рівномірно-розподілене навантаження характерні елементи мають такий напружений стан, як це показано на рис. 1.9

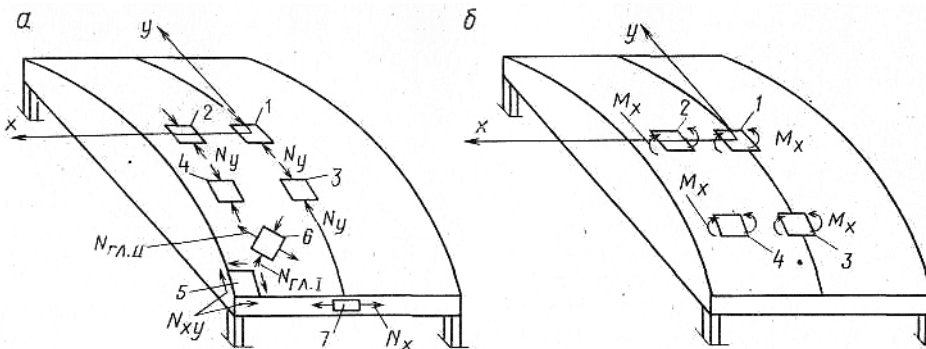


Рис. 1.9. Характерні впливи внутрішніх сил і згинальних моментів на елементи одиничних розмірів (1...7) коротких циліндричних оболонок, при рівномірно-розподіленому навантаженні по всій поверхні оболонки а — компоненти безмоментного стану; б — те ж моментного стану

Товщина плити монолітних оболонок в загалі призначається в межах 5-10 см. При довжині оболонки L_1 в межах 6-12 м та стрілі підйому не менш $1/8 L_2$ товщина плити при навантаженні від власної ваги, снігу та утеплювача може бути прийнята відповідно табл. 1

Таблиця 1

Клас бетону	L2=<30м	
	L1	
	6м	12м
В 15-25	5с м	8-9см
В 30-40	5с м	7-8см

В багатопрогонових монолітних оболонках товщина плити над опорами збільшується. Висота бортового елемента без попереднього напруження арматури приймається не менш $1/15 L1$, а ширина $0,2 \div 0,4$ висоти

Згідно конструктивних умов плита армується прямокутною сіткою із стержнів $\varnothing 4-6$ мм з кроком 10-16см.

Загальні типи бортових елементів та їх армування приведено на рисунку 1.10

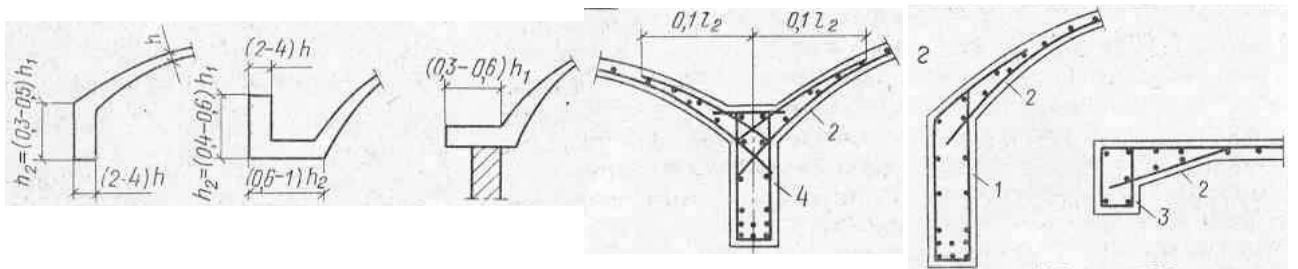


Рис.1.10 Армування бортових елементів

Монолітні циліндричні оболонки армуються згідно рисунку 1.11

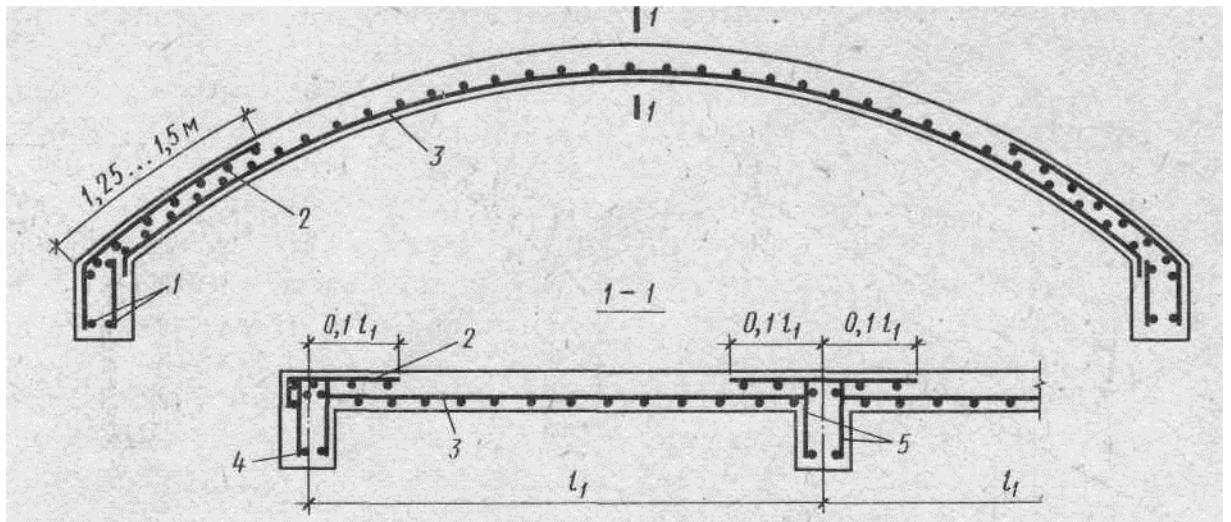


Рис. 1.11. Схема армування короткої монолітної оболонки:

1— робоча арматура бортового елемента; 2— додаткова сітка в зоні примикання плити до бортового елемента; 3— основна сітка плити оболонки; 4— зварні каркаси; 5— арматури діафрагми

В збірному вигляді, циліндрична оболонка приведена на рисунку 1.12

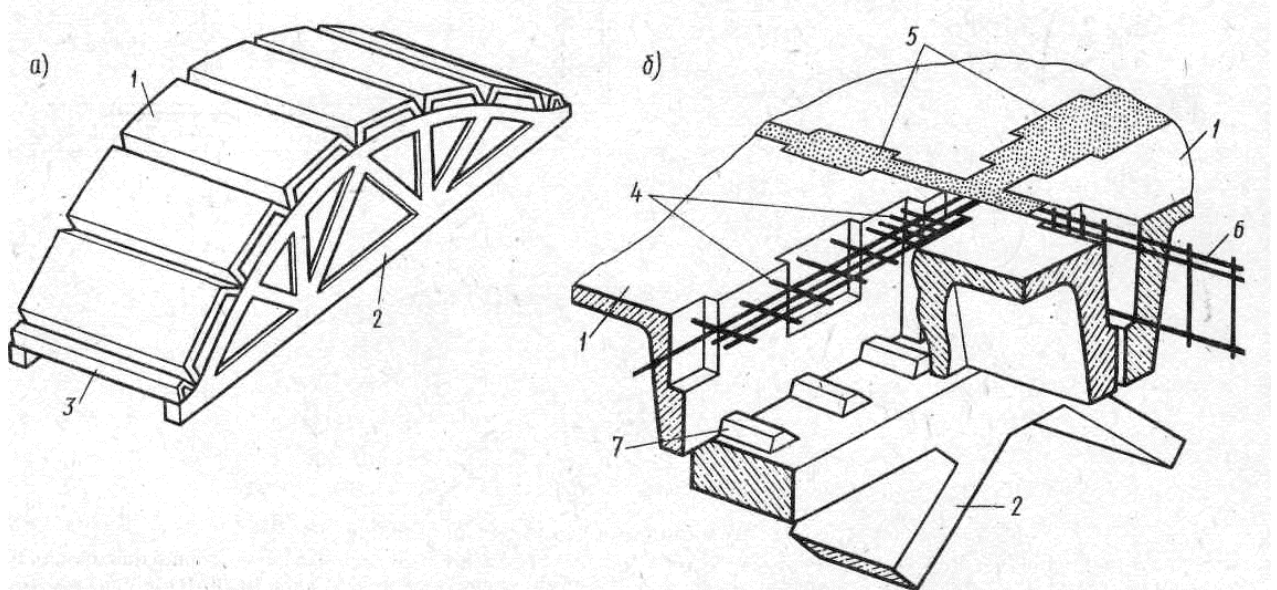


Рис. 1.12. Збірна коротка оболонка:

а — загальний вид; б — вузол стикування панелей над діафрагмою; в — геометрія поверхні циліндричної оболонки; г — напружений стан короткої циліндричної оболонки; 1— ребриста панель оболонки; 2— діафрагма (сегментна ферма); 3— бортовий елемент; 4— випуски арматур; 5— бетон замоноличування; 6— арматурні каркаси у швах, 7— бетонні шпонки

Збірні короткі оболонки складаються з діафрагм, ребристих панелей і бортових елементів (рис. 1.12 а). Торцева діафрагма виконується у вигляді арки із затяжкою, рідше у вигляді балки. Шви між панелями замоноличують і перекривають анкерними зв'язками.

У вітчизняній практиці збірні короткі оболонки застосовують як покриття будівель із сіткою колон 18x12, 24x12, 30x12, 36x12 м. Сумісну роботу панелей, діафрагм і бортових елементів забезпечують шпонкові шви, випуски арматури з панелей та закладні деталі, що зварюють.

Ще одне конструктивне рішення з використанням коротких оболонок реалізується в покритті із просторових блоків типу КЖС шириною 3 м, що перекриває прольоти 12...24 м (рис. 1.13 б). Блоки являють собою пологу циліндричну оболонку із кривизною в поздовжньому напрямку, підкріпленою двома поздовжніми ребрами (діафрагмами) сегментного обрису, у яких розміщують попередньо напружену робочу арматуру. Це покриття широко застосовується в будівництві.

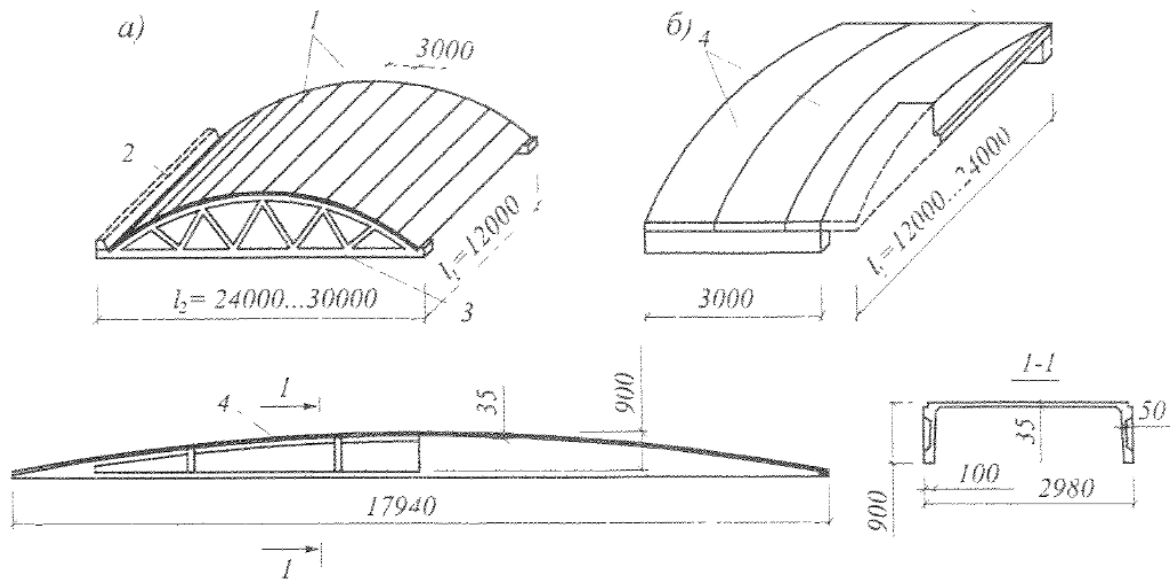


Рис. 1.13 Збірні короткі оболонки:

а - з ферм і ребристих панелей; б - із панелей КЖС; 1 - збірна ребриста панель; 2 - бортовий елемент; 3 - діафрагма-ферма; 4 - панель КЖС

1.3 Оболонки з деревини та пластмас

Для дерев'яної циліндричної оболонки характерна однопролітна схема покриття; для клеєфанерних і пластмасових оболонок частіше застосовують багатохвильові рішення.

Дерев'яні оболонки зводять із використанням клеєної деревини. Вони бувають дощатими (з декількох шарів склеєних дощок) і клеєфанерними. Оболонки з дощатих елементів на цвяхах є конструкціями будівельного виготовлення. Їм властива підвищена деформативність, тому вони майже не застосовуються. Індустріальні оболонки виконують із криволінійних дерев'яних ребер, що з'єднують із клеєфанерними криволінійними панелями.

Прикладом є проект перекриття ковзанки короткими дерев'яними оболонками розмірами 42x12 м. Оболонки складаються зі збірних панелей, діафрагм у вигляді безрозкісних ферм або арок із затяжками, бортових елементів - балок прямокутного перерізу й стержнів косих арматур, установлених в кутах оболонок для сприйняття головних зусиль розтягу.

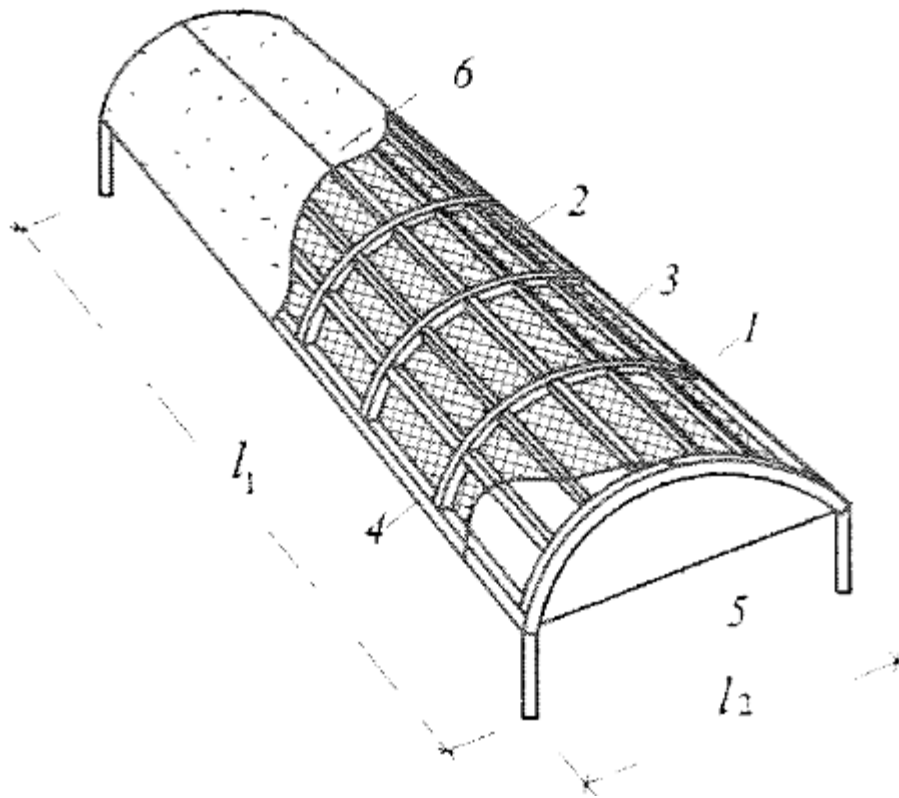


Рис.1.14 Клеєфанерна циліндрична оболонка

1- фанерна обшивка; 2 - поздовжнє ребро; 3 - поперечне ребро; 4 - бортовий елемент; 5 – затяжка; 6 – покрівля

Клеєфанерні та пластмасові оболонки можуть бути замкнутого й незамкнутого профілю. Перші застосовують як закриті переходи, транспортних галерей, тимчасових житлових приміщень. Клеєфанерна конструкція оболонки складається з каркаса у вигляді поздовжніх, поперечних (аркових) і бортових ребер (рис. 1.15).

Пластмасові оболонки з поліефірного склопластику товщиною 4...6 мм зазвичай застосовують у багато хвильовому варіанті, перекриваючи прольоти до 12 м (рис.1.15). Оболонки структурного типу із склопластикових пірамідальних елементів на клею з товщиною стінки 3...4 мм здатні перекривати прольоти 26 м і більше.

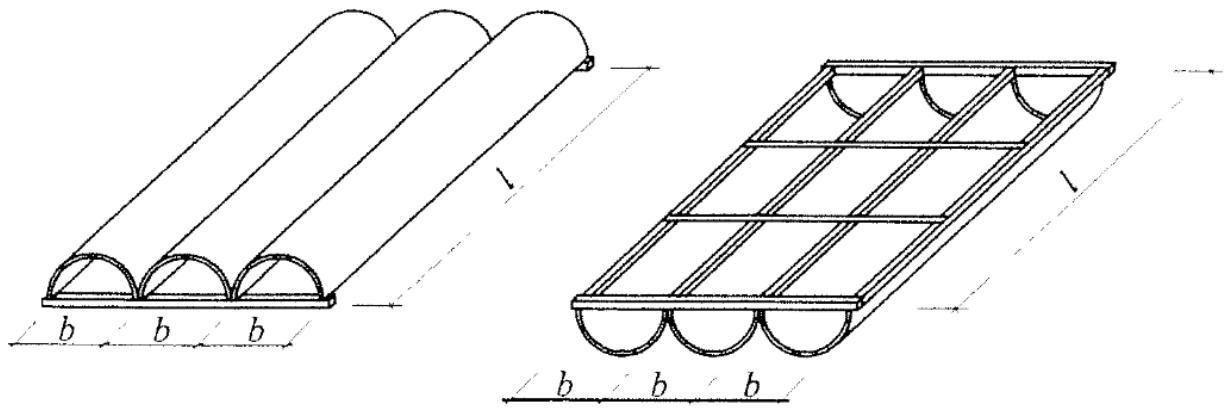


Рис.1.5 Пластмасові багатохвильові циліндричні оболонки

Розділ 2. Алгоритм розрахунку циліндричної оболонки на ПК

„Ліра”

Вихідні дані:

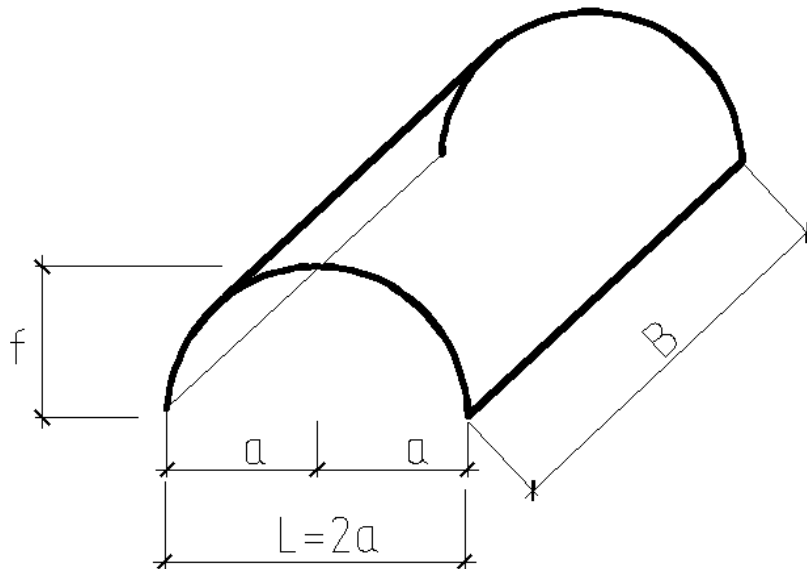
Рівняння плоскої твірної $y = -0,15 \cdot x^2$

Проліт конструкції $L = 12$ м (а=6 м- половина прольоту)

Довжина конструкції $B = 24$ м

Клас бетону- В 30


Місце будівництва – м. Київ



Геометрична схема циліндричної оболонки переносу

Статичний розрахунок циліндричної оболонки виконуємо за наступним алгоритмом:

2.1. Створення розрахункової схеми конструкції

1. В діалоговому вікні „добавить узел” (або натисканням відповідної кнопки ) 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 аргумента функції, кількість вузлів (n) на інтервалі $[X1, X2]$. Прийmemo 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).

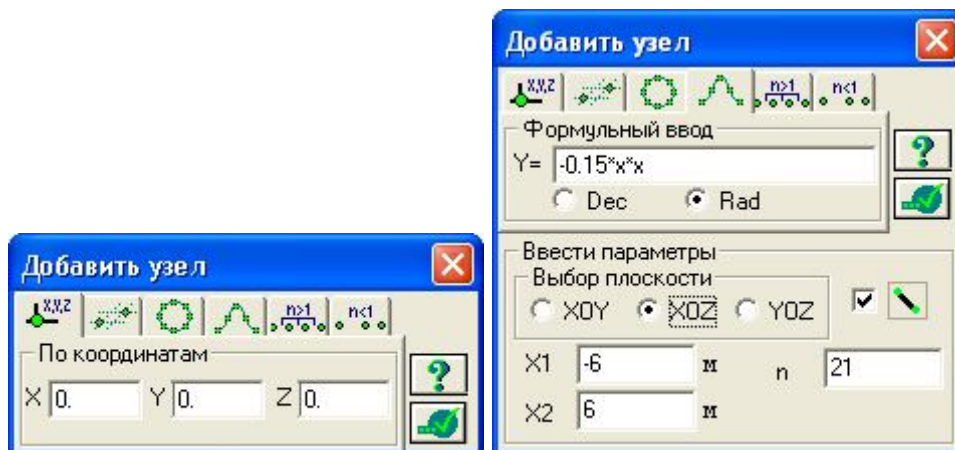




Рис.2.1 Діалогове вікно формульного завдання плоскої твірної (приклад)

2. При одночасно натиснутих кнопках „выбор элементов”  та „выбору узла”  інвертуємо розрахункову схему - виділяємо рамкою всі вузли й стержні плоскої кривої (рис.2.2).

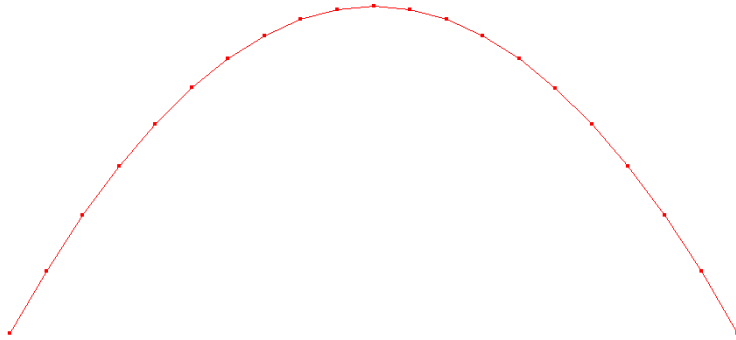



Рис.2.2 Побудова плоскої кривої-твірної (інвертування кривої)

3. 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 стержні, стержні - у пластини .

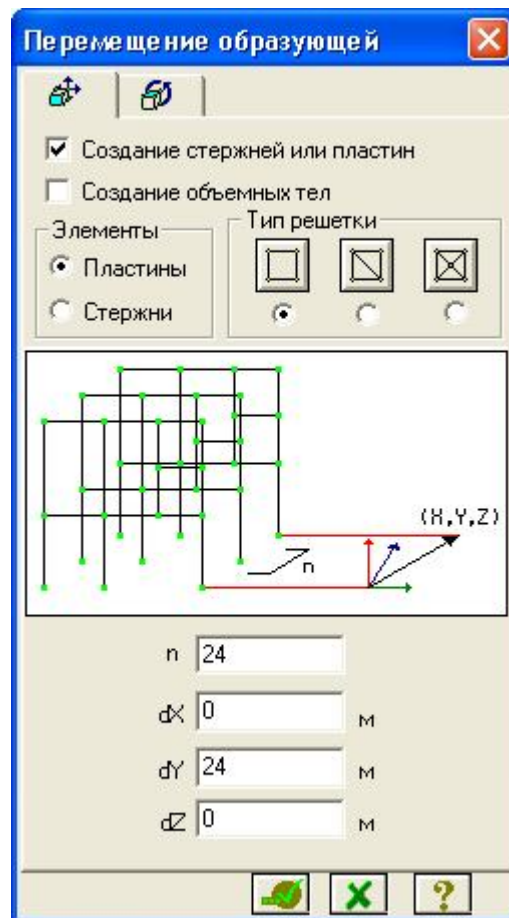


Рис.2.3 Генерація тривимірної конструкції на підставі плоскої твірної шляхом лінійного копіювання.

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!!!**

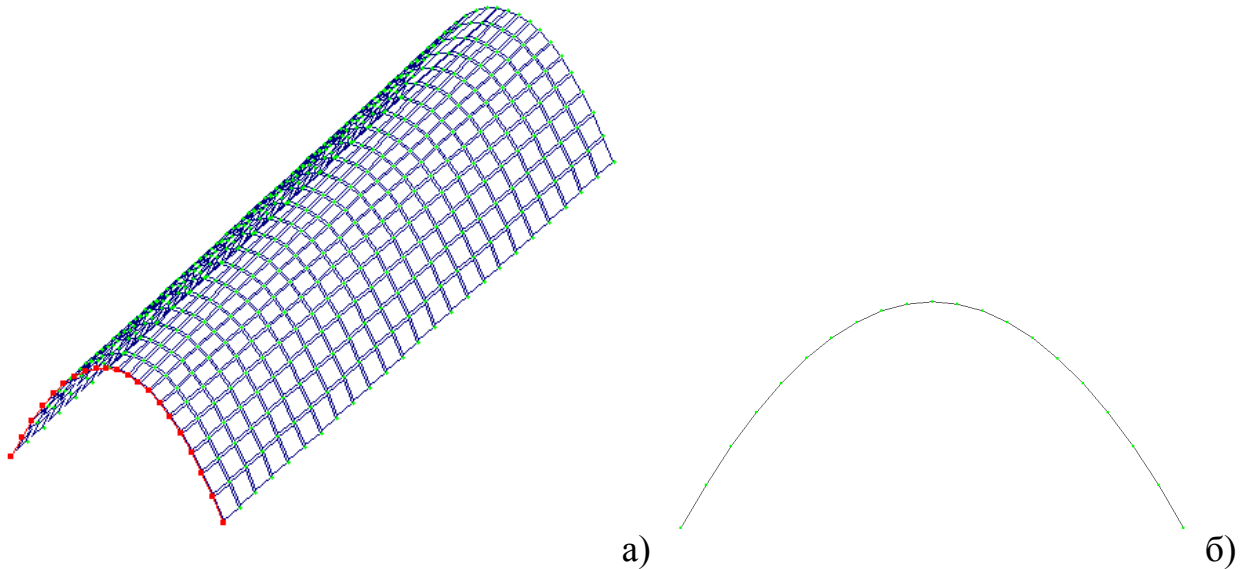





Рис.2.4 Геометрична схема циліндричної оболонки після копіювання кривої

Для більш зручного завдання стержнів діафрагми жорсткості, за допомогою кнопки  викличемо проекцію конструкції в площині XOZ (рис.2.4.б).

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 (рис 2.5).

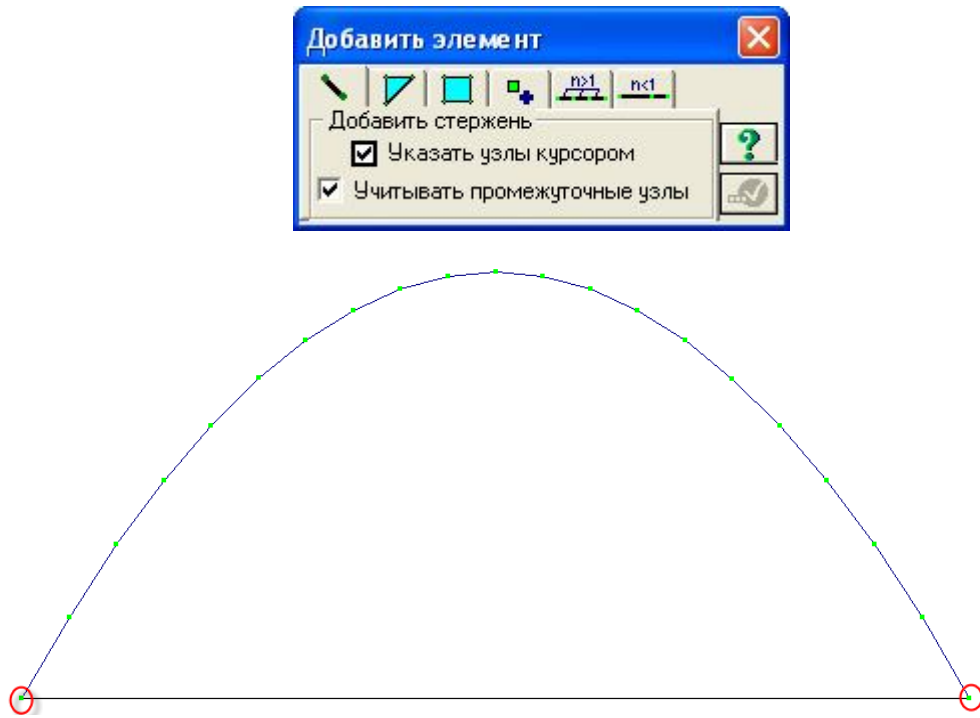




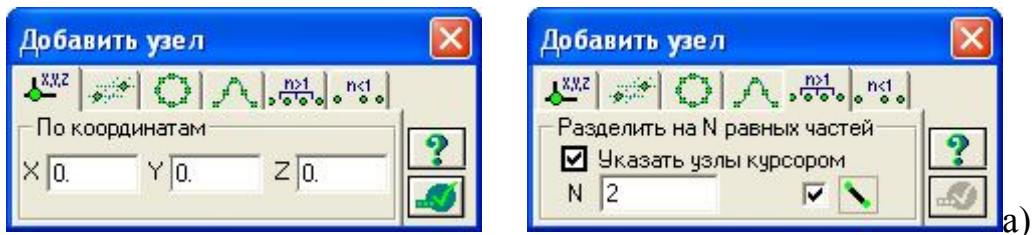


Рис.2.5

За допомогою кнопки  виділяємо стержень, який потрібно поділити навпіл (рис.2.6,б).

За допомогою кнопки  викликаємо відповідне діалогове вікно, обираємо закладку  (розбиття виділеного стержня на n рівних частин). Натискаємо  й отримуємо нижній стержень, розбитий навпіл вузлом (рис.2.6,в)



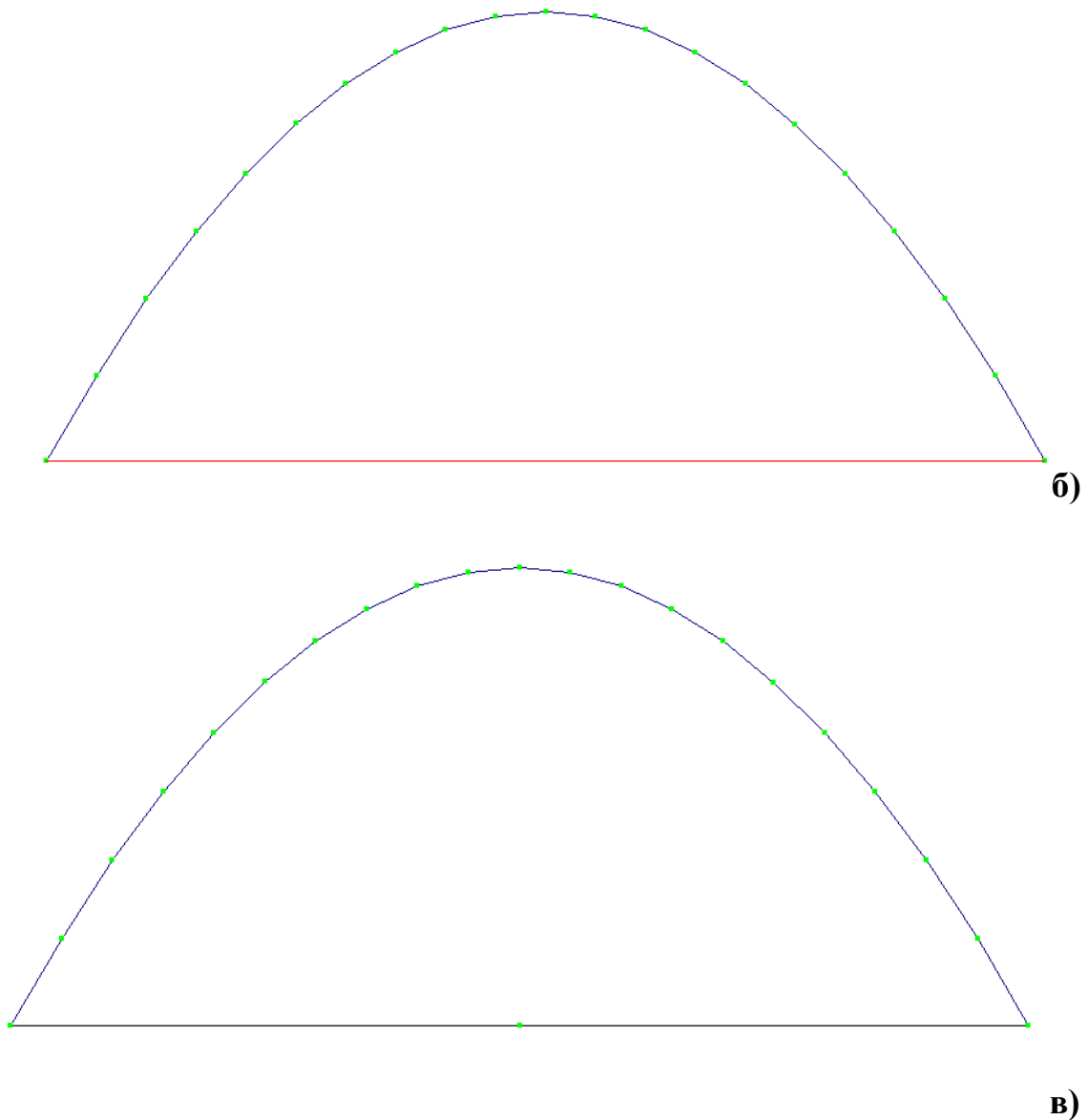




Рис.2.6

Додаємо за допомогою функції  вертикальний стержень стійку. (рис.7,а). Виділяємо нижні стержні ферми за допомогою кнопки . Викликаємо вікно „Добавить элемент» та у вкладці „Разделить элемент на равное число частей» (рис.7.б) вказуємо кількість частин розбиття - 2.

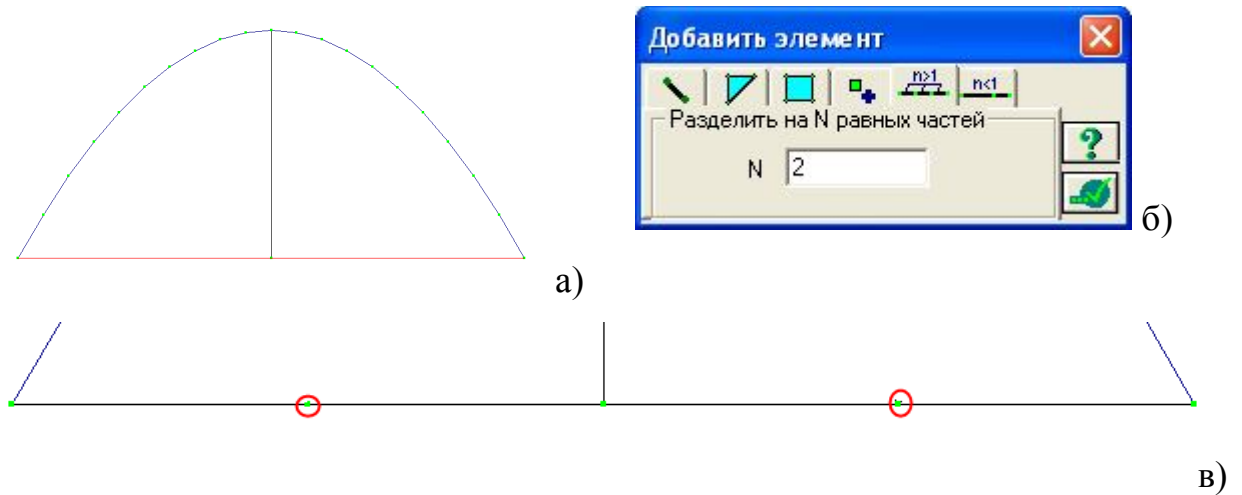
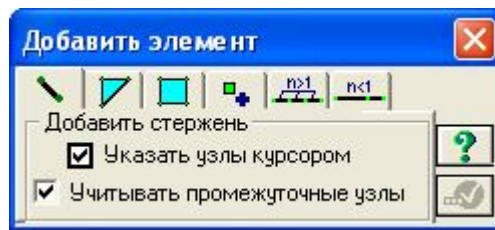


Рис.2.7

За допомогою опції „Добавить элемент» додаємо стержні – стійки та розкоси діафрагми жорсткості.



В результаті отримаємо діафрагму жорсткості як показано на рис. 2.8.

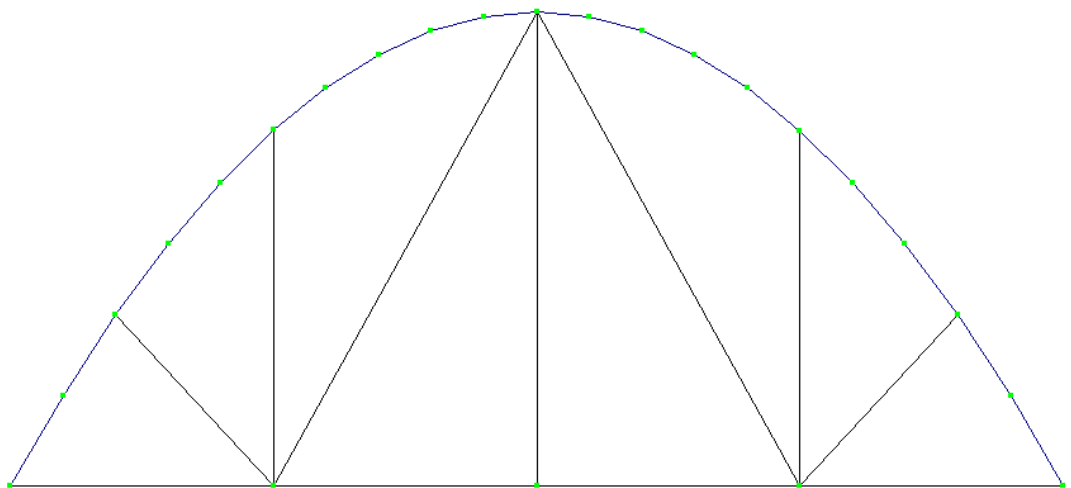



Рис.2.8

Виконуємо поворот схеми за допомогою кнопки . Аналогічним чином створюємо другу торцеву діафрагму жорсткості та отримуємо скориговану розрахункову схему (рис. 2.9):

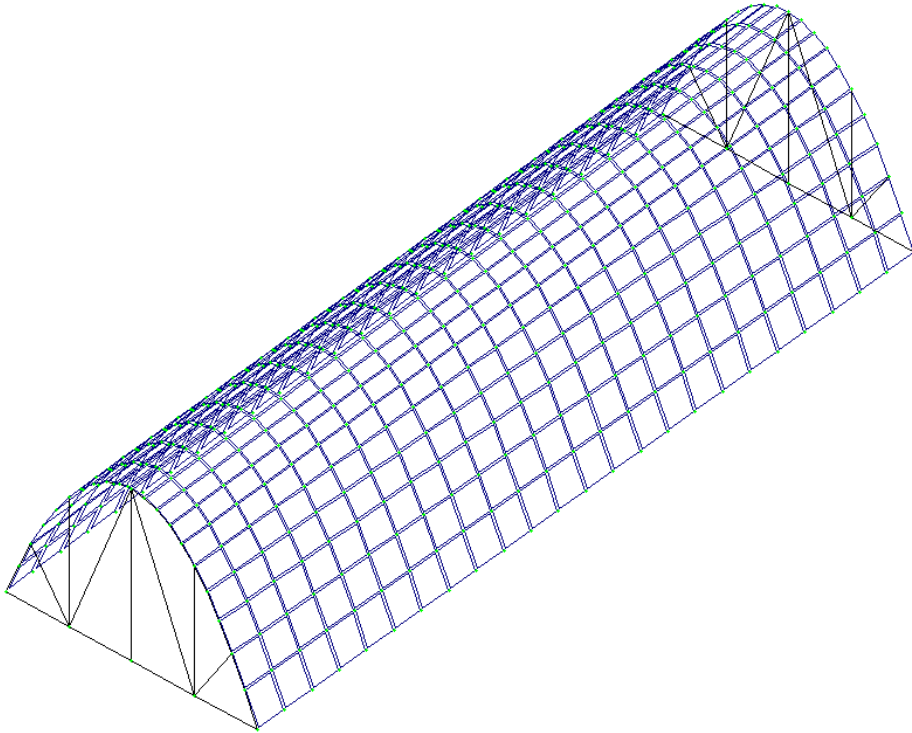



Рис 2.9

Для зручності переводимо зображення розрахункової схеми в площину ХОУ кнопкою  й задаємо за допомогою функції „добавить элемент” стержні між опорними вузлами, створивши, таким чином, бортові (поздовжні) ребра жорсткості циліндричної оболонки (рис.2.10)

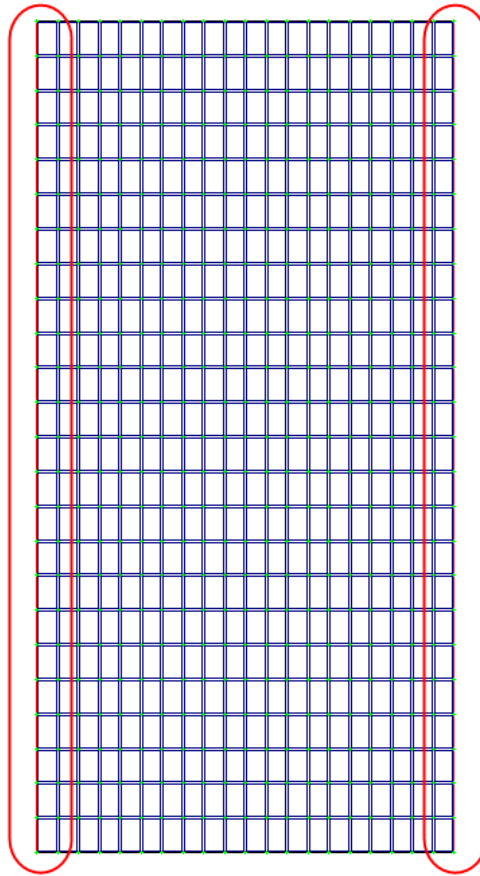



Рис. 2.10

Інвертуємо задані стержневі елементи бортових ребер, викликавши за допомогою кнопки  вікно завдання жорсткісних характеристик (рис.2.11):

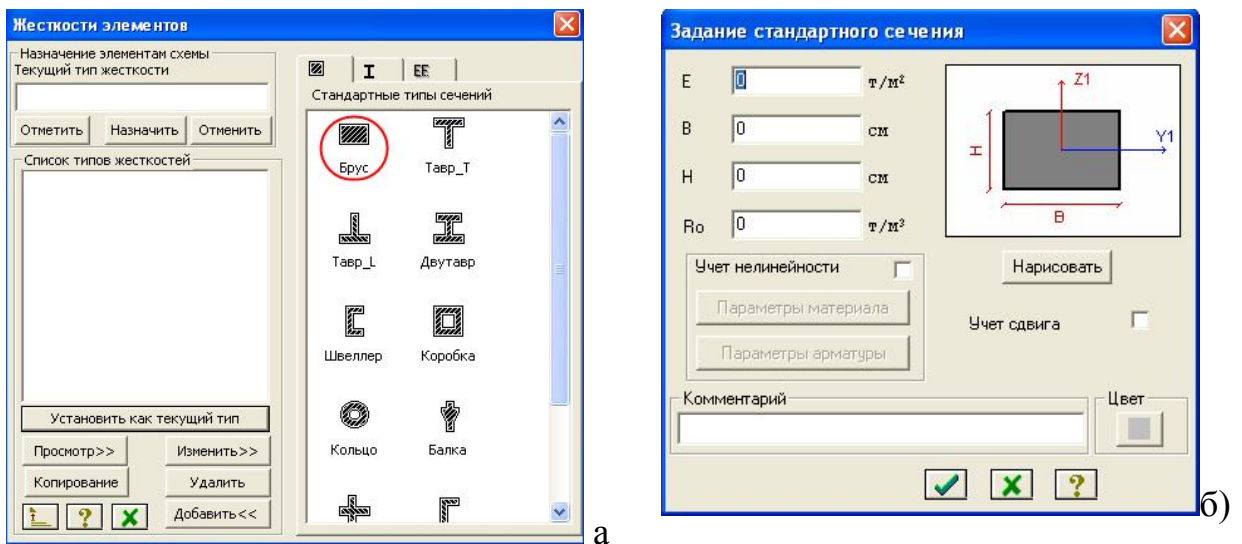


Рис.2.11

Обираємо тип перерізу –брус прямокутного виду 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 $2,45 \text{ т/м}^3$).

Аналогічним чином, інвертувавши стержні, що апроксимують бортові елементи, призначаємо їм відповідні жорсткісні характеристики (див рис. 2.11). Переріз елементів стійок, розкосів, елементів верхнього криволінійного поясу ферми задаємо варіативно.

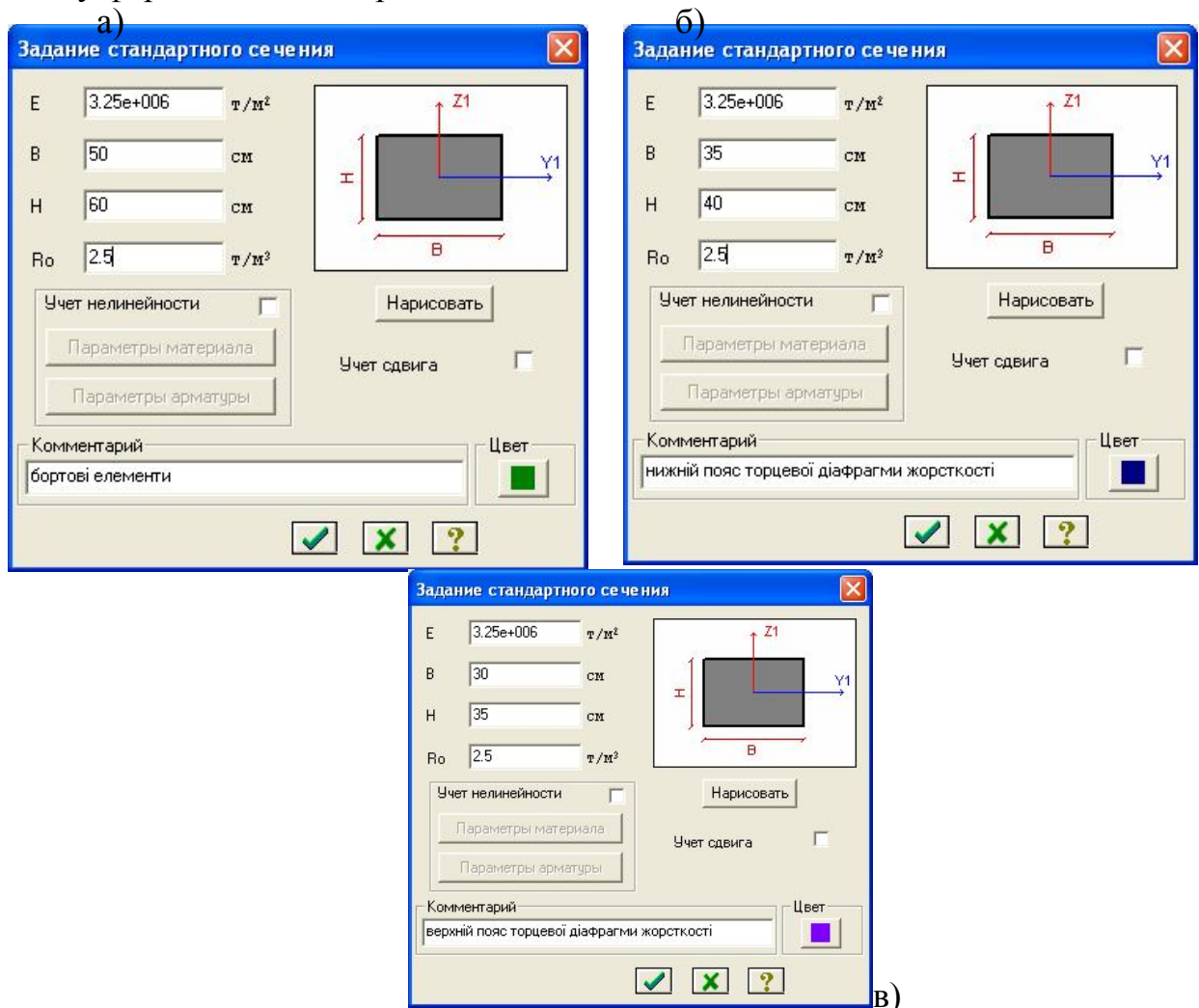




Рис.2.12 Жорсткості для стержневих елементів (варіант)

У діалоговому вікні задаються параметри жорсткості :

- модуль пружності (E);
- геометричні розміри перерізу бруса (B) і (H);
- питома вага матеріалу (Ro);

Указавши на кнопку **Нарисовать**, можна побачити ескіз перерізу, що створюється, з усіма розмірами.

Відтворивши за допомогою кнопки  проекцію конструкції на горизонтальну площину, інвертуємо кінцеві елементи ПЛАСТИНИ (рис.13,а) 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.2.13,б) та задаємо наступні параметри жорсткості пластин (рис.2.13,б):

- 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 (Ro) - 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 (рис.2.13,а). Обираємо заданий тип жорсткості як поточний та призначаємо його виділеним елементам.

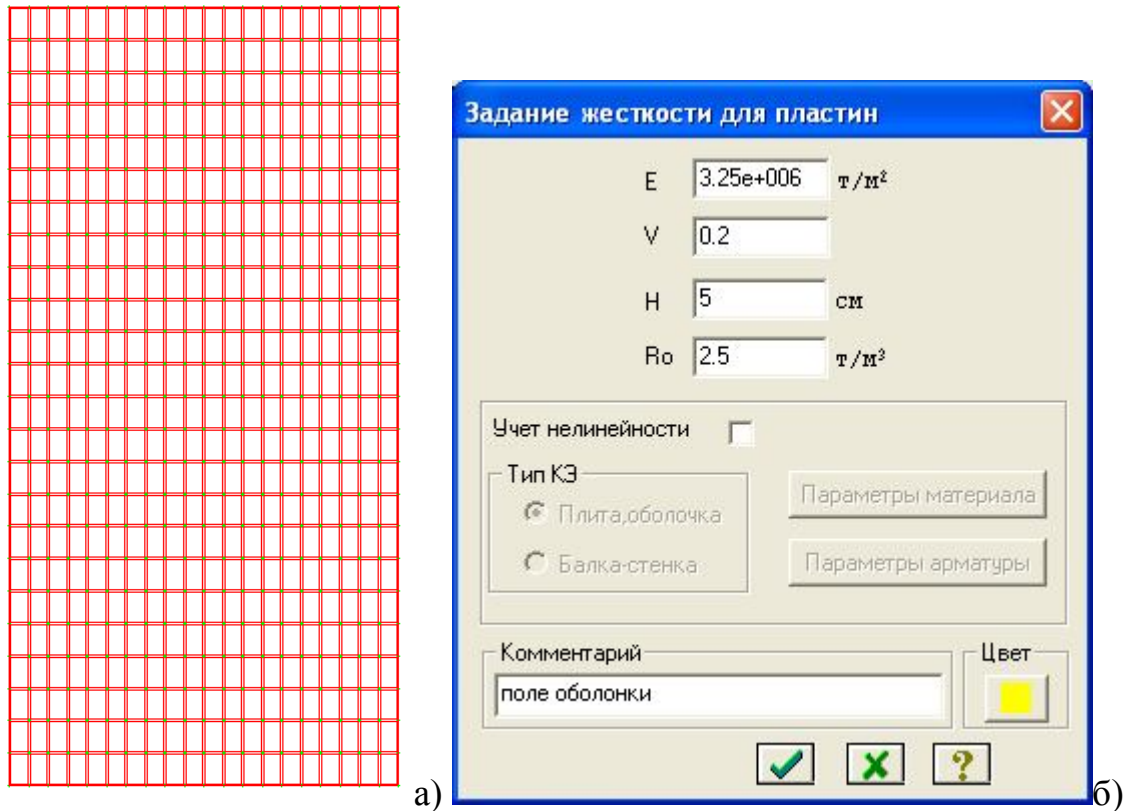


Рис.2.13 Жорсткості для елементів типу пластина (варіант)

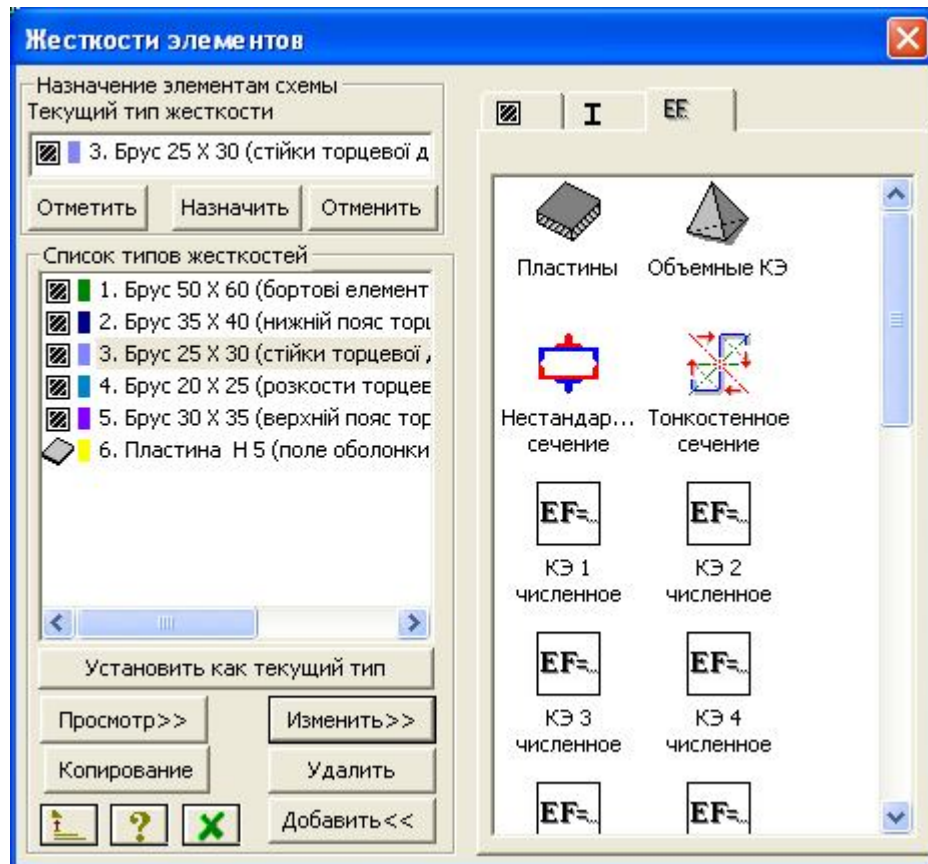



Рис.2.14 Вікно із списком типів жорсткостей для кінцевих елементів розрахункової схеми

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

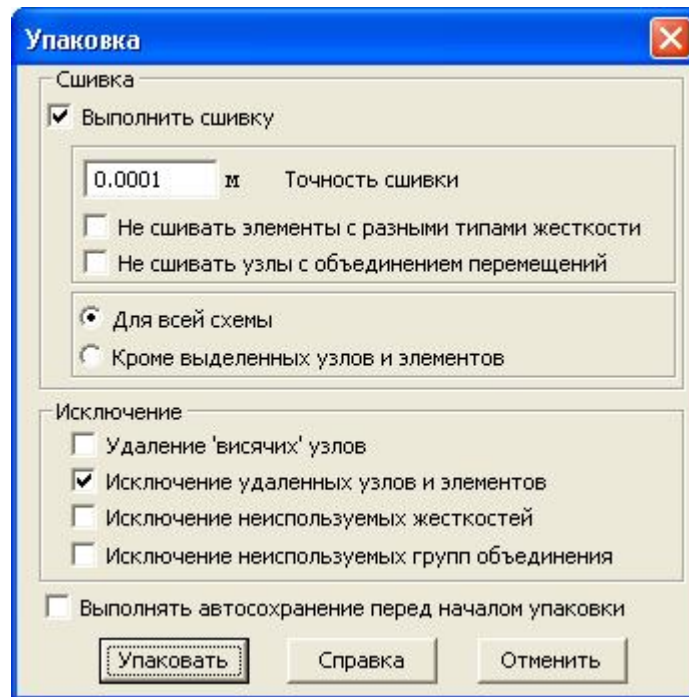


Рис.2.15 Діалогове вікно „Упаковка схеми”

Отримали конструкцію із заданими розмірами в плані **2a** та **b** та із заданою стрілою підйому.

2.2. Завдання крайових умов конструкції

Згідно завдання конструкція за двома варіантами:

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 рис.16,а та закріпимо їх жорстко (рис.2.16,б)

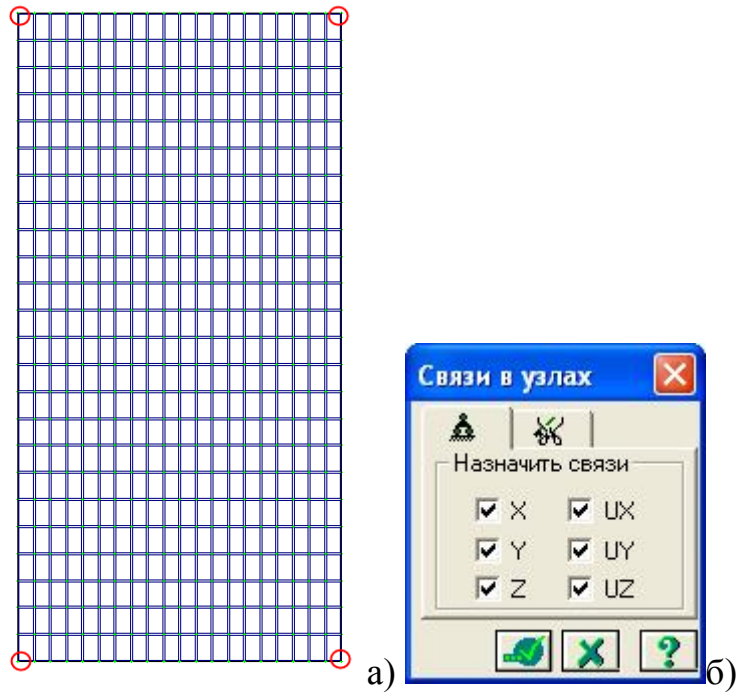


Рис.2.16 Крайові умови конструкції за 1-м варіантом

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

Інвертуємо всі опорні вузли, вздовж довгої сторони, як показано на рис.2.17,а та закріпимо їх жорстко (рис.2.17,б)

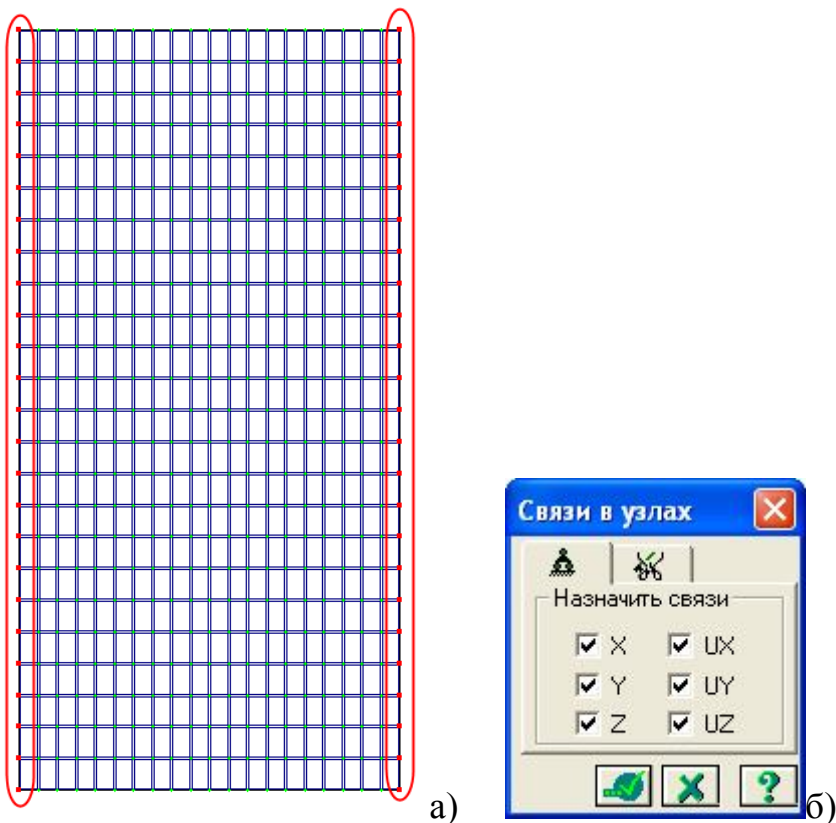





Рис.2.17 Крайові умови конструкції за 2-м варіантом

2.3 Призначення навантаження

1. За допомогою кнопки „выделить элементы”  інвертуємо **всю** розрахункову схему (рис.2.18). Відповідною кнопкою „нагрузка на узлы и элементы”  викликаємо діалогове вікно для завдання навантажень. В даному вікні обираємо закладку «Нагрузка на пластины» .

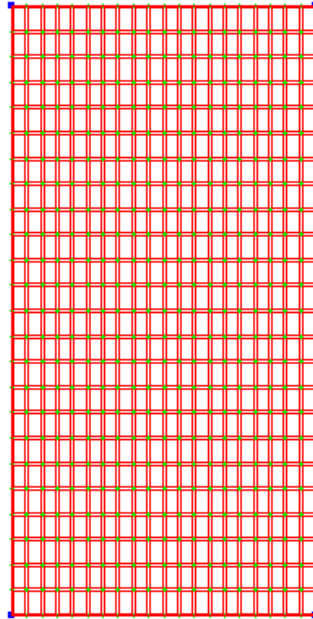


Рис.2.18 Інвертування KE типу пластина

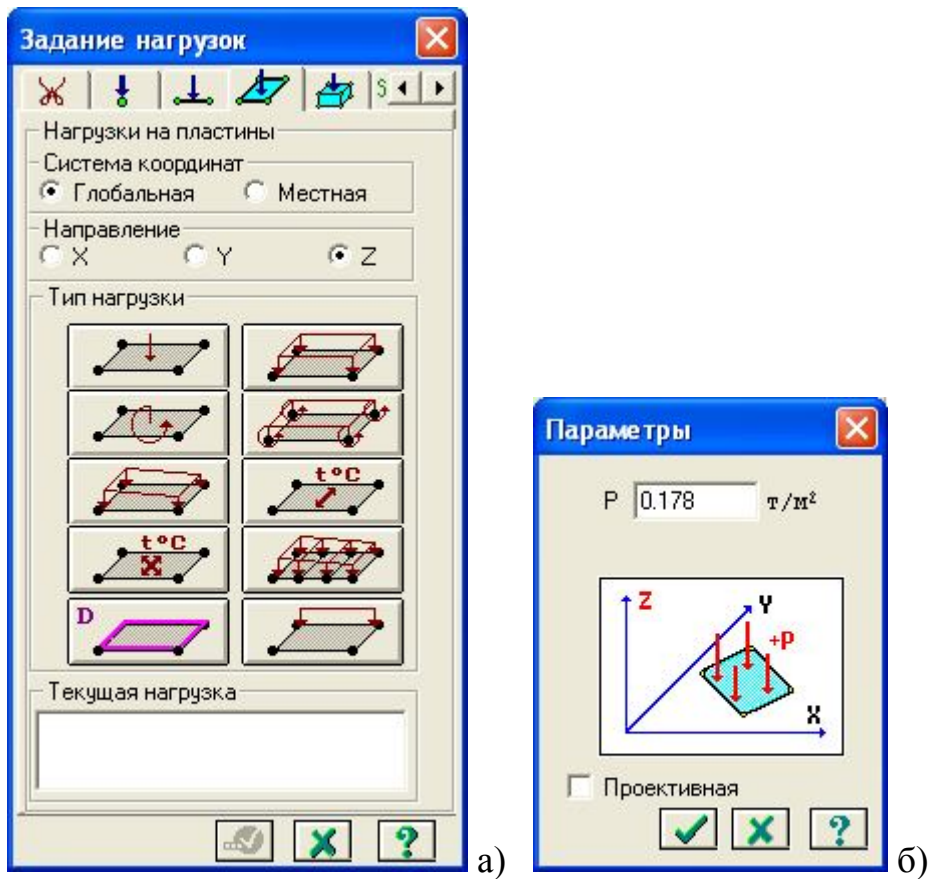
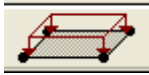


Рис.2.19 Діалогові вікна а – завдання навантаження на пластину; б – завдання значення рівномірно розподіленого розрахункового снігового навантаження

У діалоговому вікні, що відкриється, радіо перемикачем встановлюємо глобальну систему координат, 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 номеру кліматичного району, який вказано в завданні. 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 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;

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

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

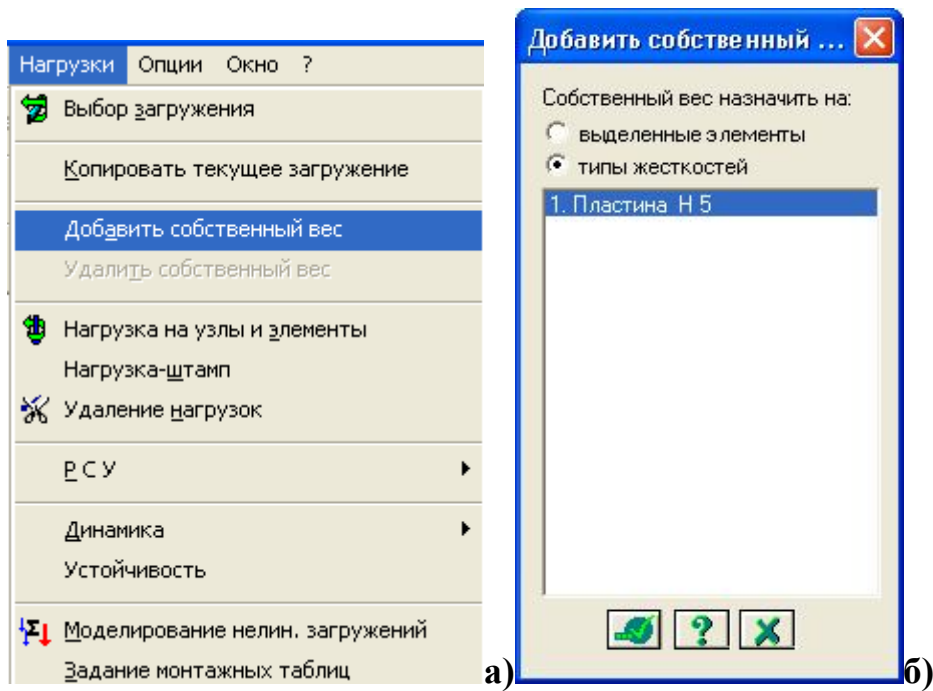



Рис.2.20 Призначення власної ваги на елементи, яким задана жорсткість

2.4. Статичний розрахунок конструкції

Зберігаємо задану розрахункову схему, за допомогою опції „сохранить как” меню «файл». В меню „режим” обираємо опцію „выполнить расчет» або натискаємо відповідну кнопку  та виконуємо розрахунок.

2.5. Аналіз напружено-деформованого стану оболонки



В результаті статичного розрахунку, необхідно проаналізувати напружено-деформований стан оболонки *за двома видами граничних умов*, , вказаних в завданні.

2.5.1 Аналіз деформативності конструкції

Після того, як комп'ютер видасть повідомлення, що розрахунок виконано, вибираємо в опції „Режим” пункт „Результаты расчета”

Прогин оболонки від навантаження обчислюємо по найбільшому значенню переміщення вузла розрахункової схеми й порівняння цього переміщення з допустимим прогином для даного типу конструкцій.

Інвертуємо на розрахунковій схемі вузли, що лежать в перерізі оболонки 1-1 (рис.2.21).

Натиснувши кнопку  - показати деформовану схему разом з основною, отримаємо картину деформованої конструкції (рис.2.21,а). Знову натиснувши на 

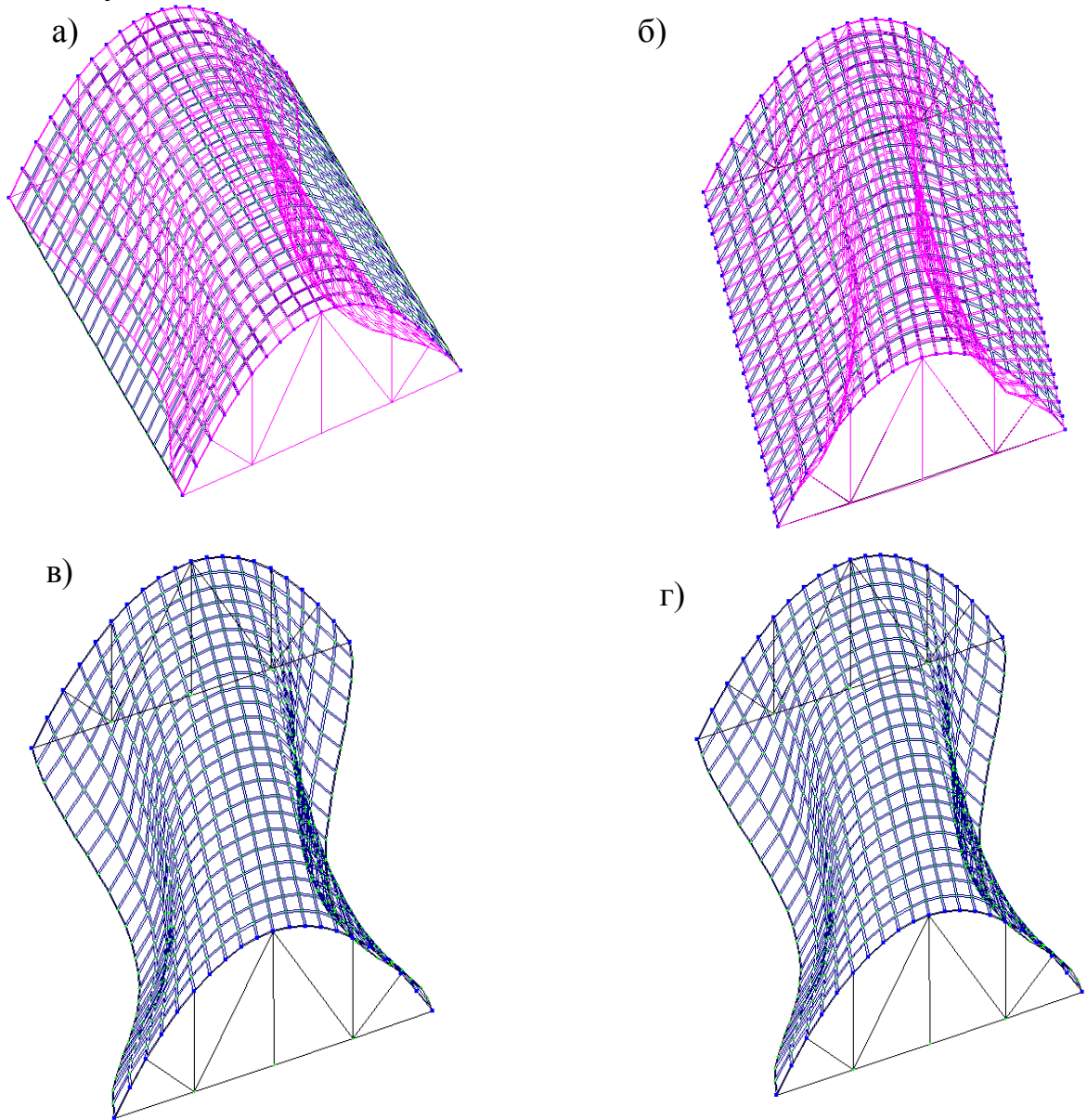


Рис.2.21. Сумісне зображення деформованої та недеформованої схем циліндричної оболонки при спиранні оболонки по чотирьом точкам (а) при спиранні на стіни (б); деформована схема циліндричної оболонки при спиранні оболонки по чотирьом точкам (в); деформована схема циліндричної оболонки при спиранні на стіни (г);

Аналогічні дії виконаємо для схеми №2 (файл під назвою „ЦИЛІНДР 2” та отримаємо деформовані схеми для другого варіанту граничних умов.

Інвертуємо вузли на відстані $\frac{1}{2} b$ (в половині прольоту конструкції)- й побудуємо графік прогинів конструкції для першої та для другої граничних умов (рис.2.22).

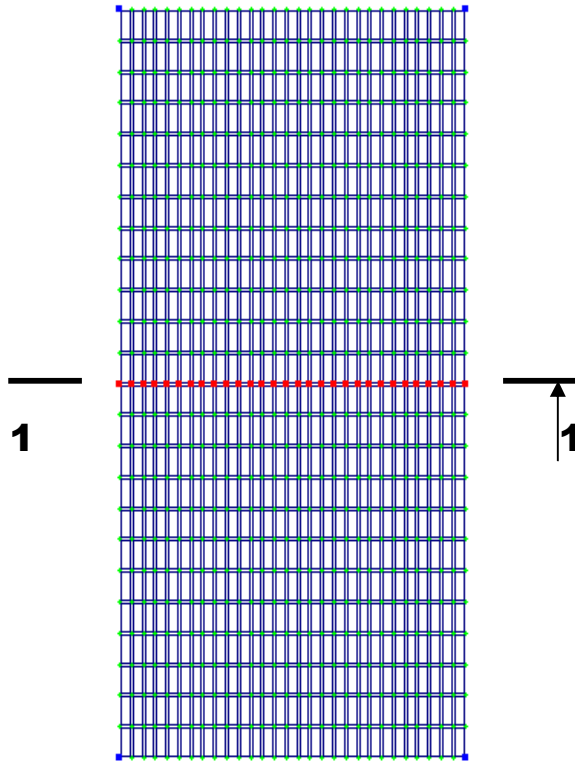
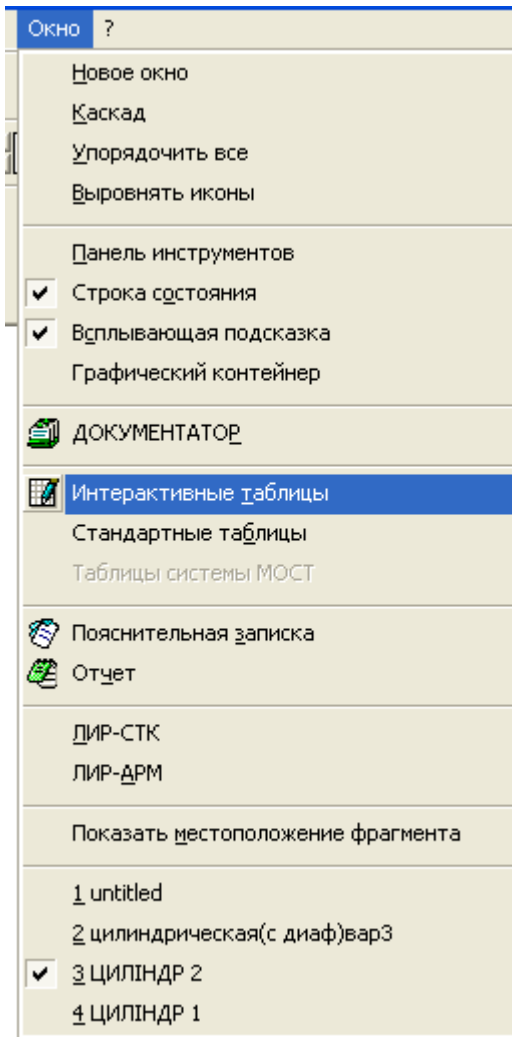
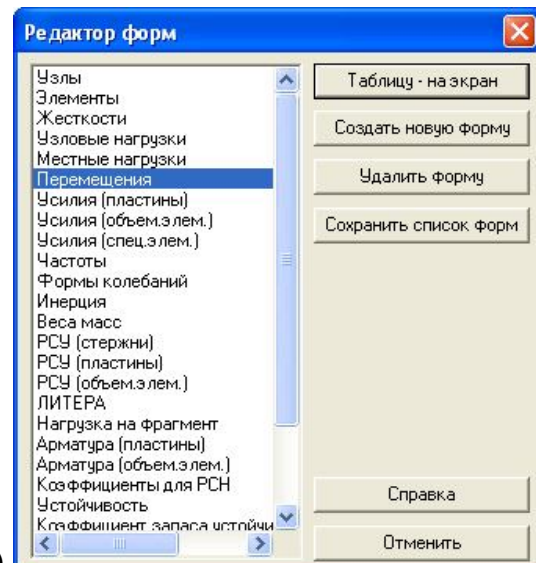


Рис.2.22. Інвертування вузлів в перерізі 1-1

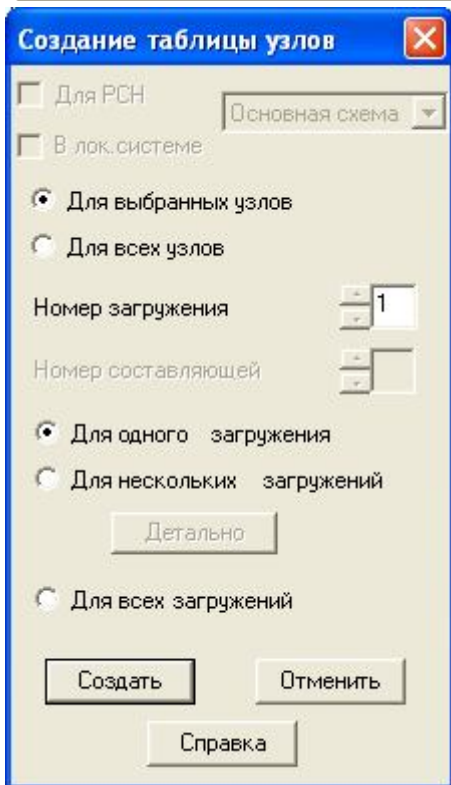
„Окно” обираємо опцію „Интерактивные таблицы” (рис.2.23).



а)



б)



в)

Рис.2. 23 Интерактивні таблиці для аналізу переміщень вузлів

В діалоговому вікні, що відкриється, обираємо „Перемещения”, підтверджуємо ставимо (ставимо галочку) – „Для выбранных узлов” й отримуємо таблицю, де наведені переміщення лише вибраних (інвертованих) вузлів, і приклад якої представлений на рис 2.24.

Файл Редактировать Опции								
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	-

Рис.2.24 Інтерактивні таблиці для аналізу переміщень вузлів

До таблиці „Переміщення вузлів оболонки в перерізі 1-1” бланку роботи заносимо значення переміщень відповідних вузлів по вісі Z (на рис.24 переміщення, що розглядаємо, виділені червоною рамкою).

Обираємо із отриманої таблиці максимальне за модулем значення переміщення в мм для першої та для другої умови 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 „2а” оболонки за завданням)

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

Згідно отриманих табличних даних будуємо в зручному масштабі графіки переміщень по діаметральному перерізу 1-1 оболонки для двох умов порівняння конструкції (в даному випадку для двох умов завантаження конструкції).

Бланки графіків переміщень вузлів наведені в бланку контрольної роботи.

2.5.2 Характеристика напруженого стану оболонки

Для аналізу напруженого стану циліндричної оболонки потрібно обчислити головні напруження за головними напрямками кінцевих елементів типу пластина. 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» (рис. 2.21) 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.

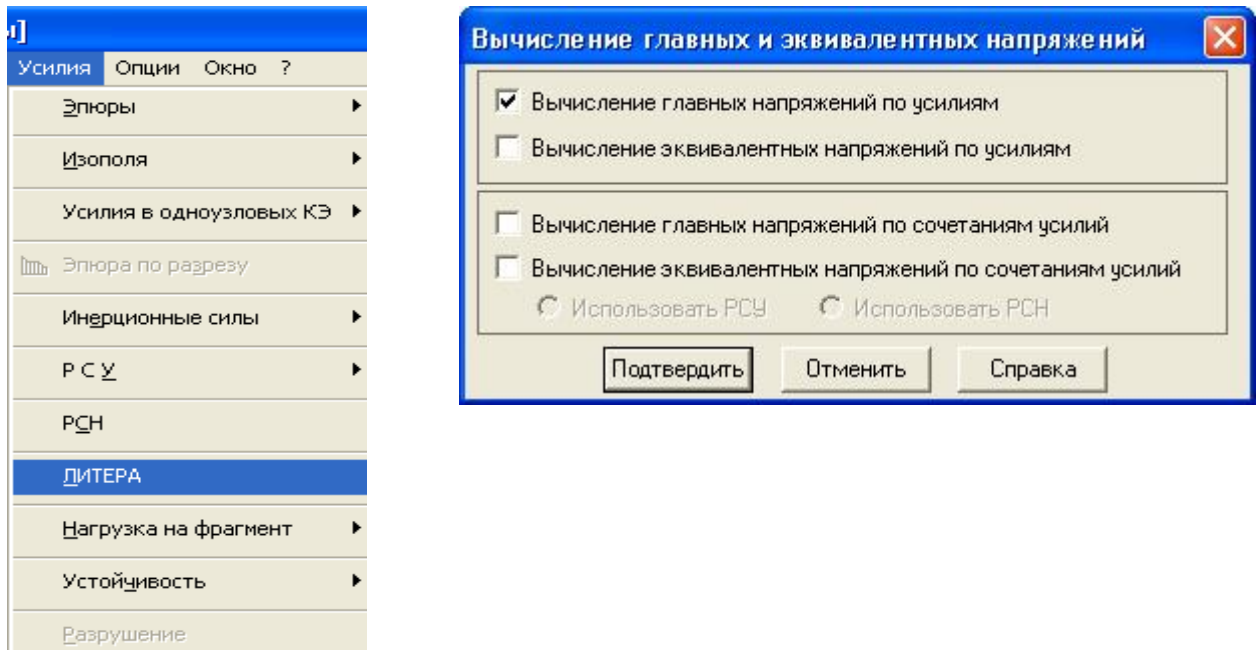


Рис.2.25 Діалогові вікна при обчисленні головних напружень за головними напрямками в кінцевих елементах типу пластина

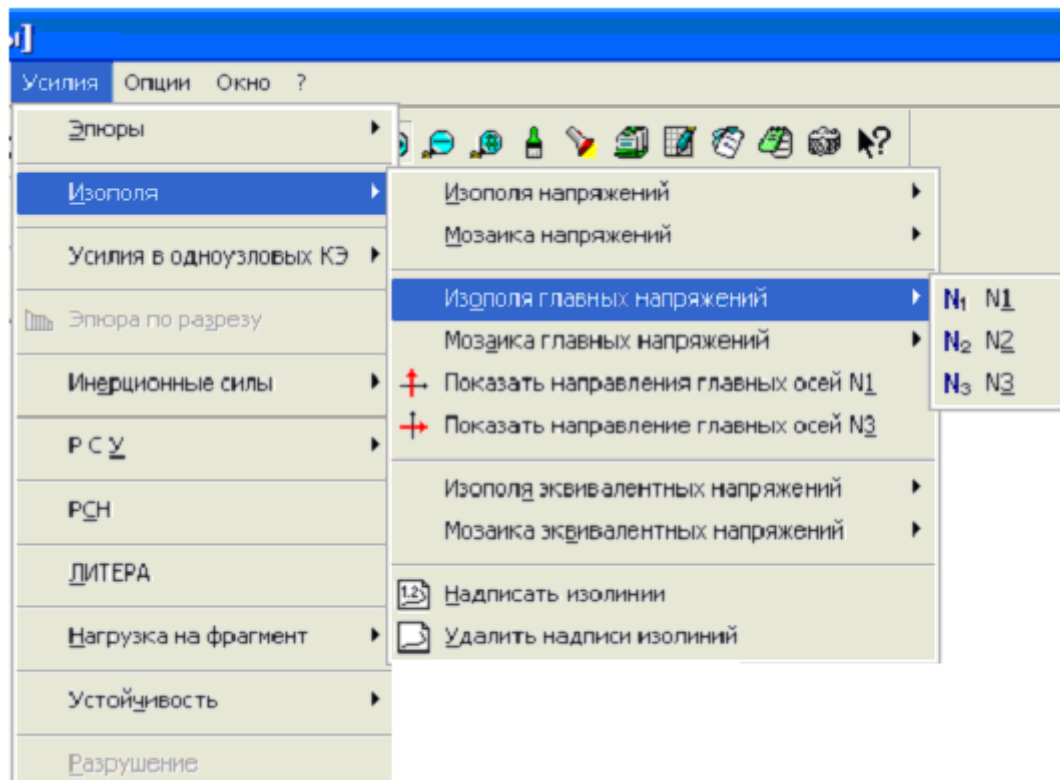
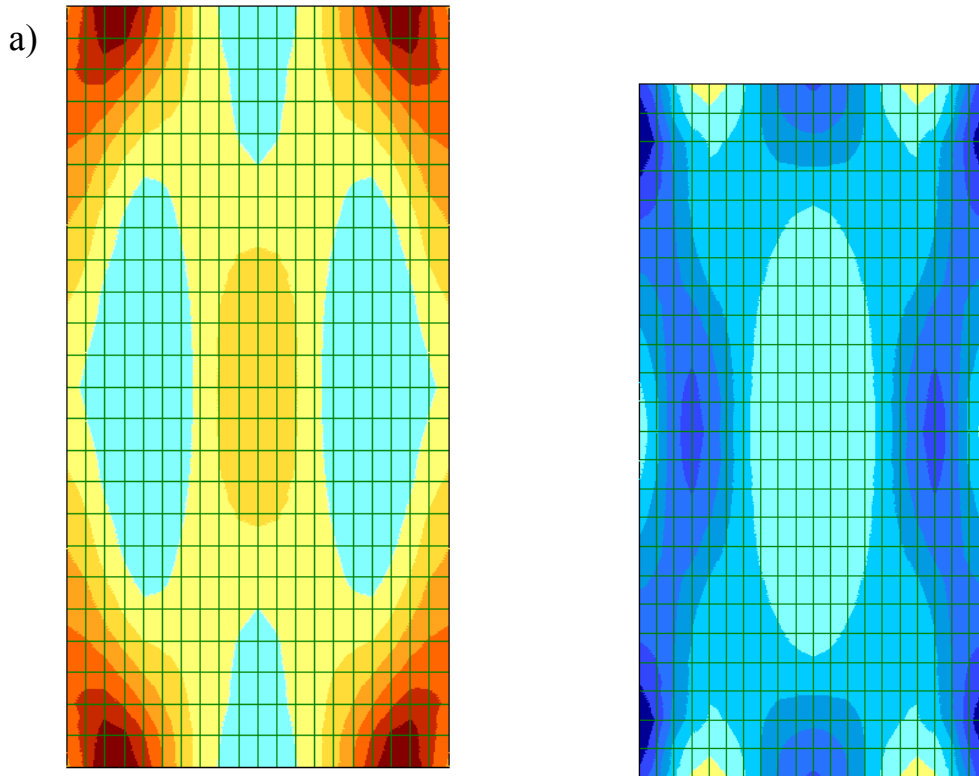


Рис.2.26 Діалогове вікно при викликові на екран ізополів головних напружень

Характер розподілу головних напружень по головним напрямкам N1 та N3 зображений на рис.2.27.

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

В характерних кінцевих елементах в діаметральному перерізі 1-1 (рис.2.28) слід визначити головні напруження N1 та N3 за головними напрямками.



*Рис.2.27 Ізополя головних напружень за головними напрямками
(за 1-ї умови спирання конструкції: а – головних напружень N1; б –
головних напружень N3)*

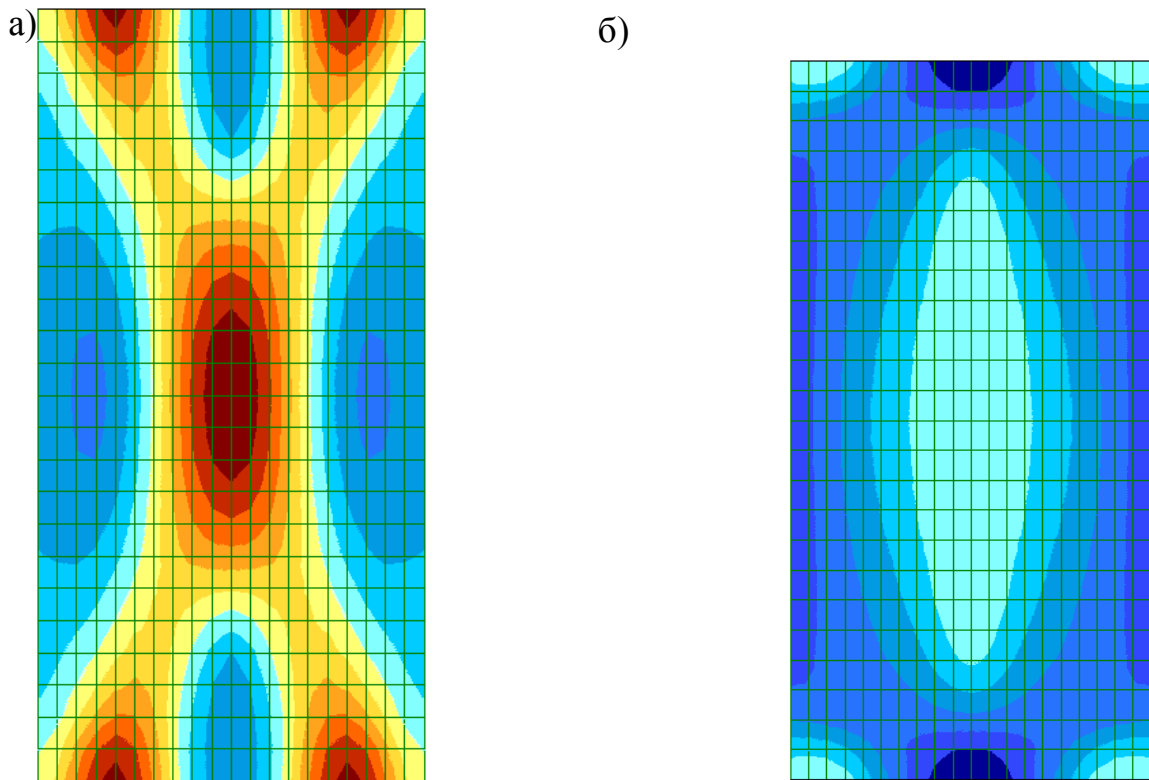


Рис.2.28 Ізополя головних напружень за головними напрямками (за 2-ї умови спирання конструкції: а – головних напружень N1; б– головних напружень N3)

Для більшої виразності картини головних напружень та її наглядності потрібно побудувати графіки (епюри) головних напружень N1 та N3 за умовами порівняння, що вказані в завданні .

В режимі „Результаты расчета» інвертуємо КЕ типу пластина в перерізі 1-1 як вказано на рис.2.29.

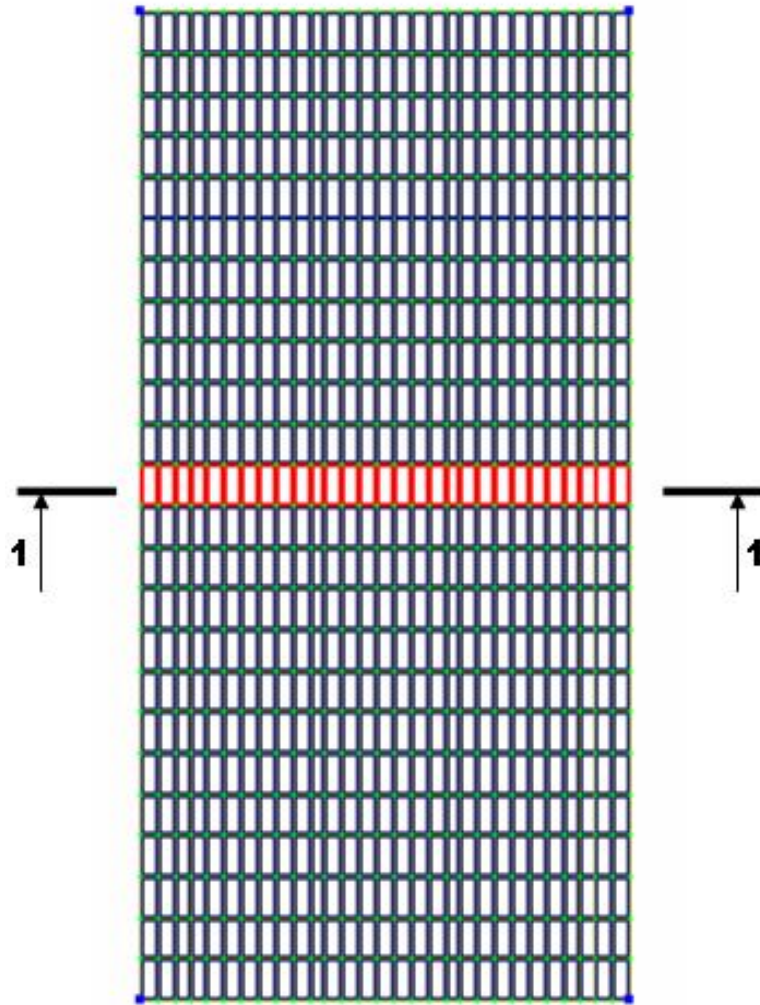
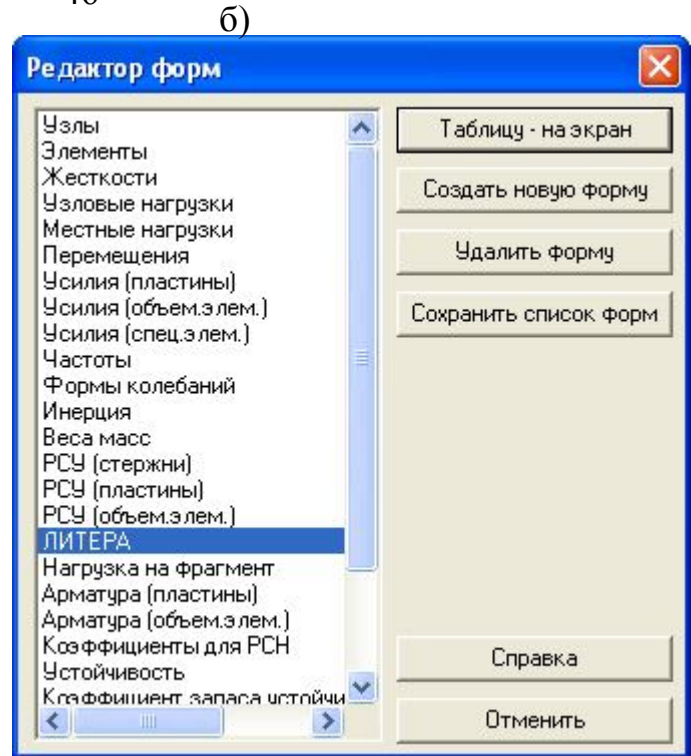
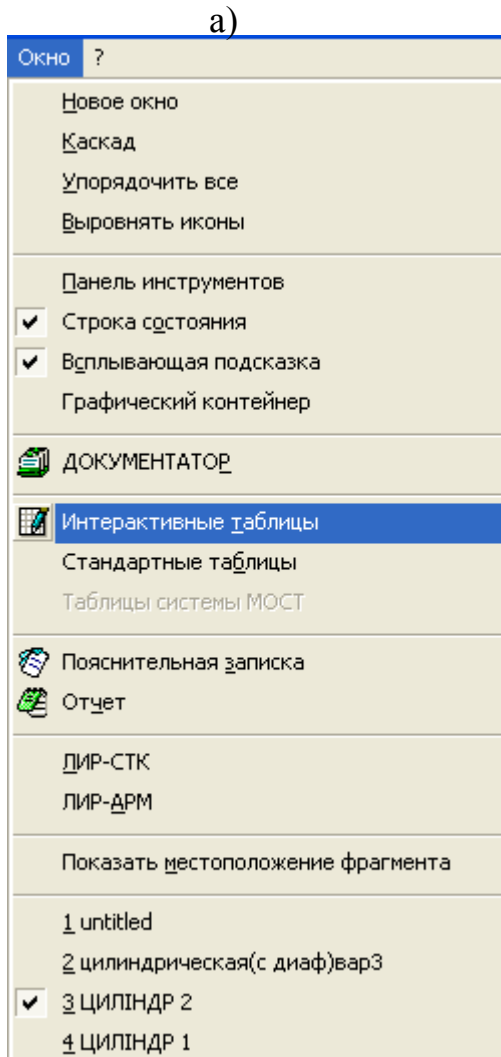


Рис.2.29 Інвертування характерних кінцевих елементів в перерізі 1-1



в)

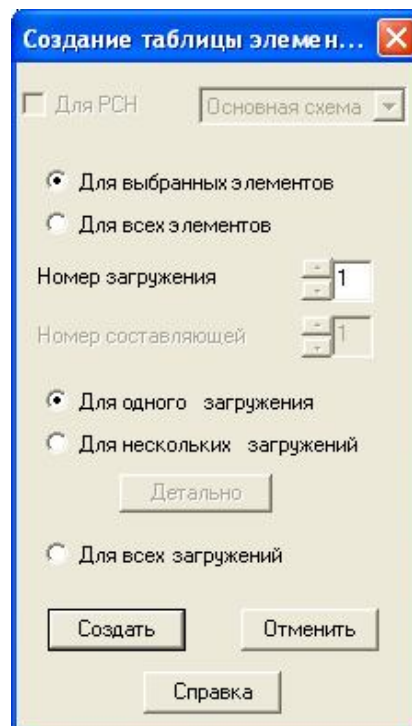


Рис.30 Диалогові вікна для виклику інтерактивних таблиц головних напружень

В меню „Окно” обираємо опцію „Інтерактивні таблиці”, і в діалоговому вікні „Редактор форм”, що відкриваємо, вибираємо пункт „ЛИТЕРА” (рис.2.29). У вікні, що відкрилося, ставимо радіо перемикач „Для выбранных элементов» та «Для одного загрузки».

Файл Редактировать Опции																
Таблица главных усилий																
№ элем	№ точки	Кр-й (PCУ)	Напряжения			Главные напряжения			Углы			Ии	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)	F1 (град)	Pz1 (град)	Teta (град)		NE (т/м**2)	NS (т/м**2)		
58	H	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	C	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	B	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	H	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	C	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	B	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	H	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	C	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	B	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	H	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	C	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	B	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	H	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	C	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	B	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	H	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	C	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	B	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	H	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	C	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	B	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	H	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	C	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	B	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	H	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	C	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	B	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	H	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	C	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	B	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	H	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

Рис.2.31 Інтерактивні таблиці головних напружень для обраних на схемі елементів (приклад)

Слід обов'язково звернути увагу на одиниці виміру головних напружень.

В бланк таблиці „Головні напруження в скінчених елементах оболонки в перерізі 1-1”, що наведений в бланку контрольної роботи, вписуємо номера скінчених елементів типу пластина та відповідні їм головні напруження N1 та N3 по головним вісям для двох варіантів спірання конструкції. Потім вибираємо максимальні за модулем значення головних напружень та заносимо їх до підсумкової таблиці „Результати статичного розрахунку конструкції” бланку контрольної роботи.

Головні напруження в скінчених елементах оболонки в перерізі 1-1

№ скінчен ного елементу	Головні напруження по головним напрямкам КЕ оболонки			
	Перша гранична умова спирання		Друга гранична умова спирання	
	N1, т/м ²	N3, т/м ²	N1, т/м ²	N3, т/м ²
....

За отриманими табличними даними головних напружень у відповідному масштабі на відповідних бланках контрольної роботи будуємо графіки головних напружень **N1** та **N3** в перерізі 1-1 (для інвертованих елементів) для двох умов порівняння напруженого стану оболонки (в даному випадку для двох варіантів завантаження).

В випадку, якщо головні напруження розтягу (стиску), що виникають в тілі оболонки, перевищують розрахункові значення опорів бетону на стиск та розтяг, тобто не виконуються умови міцності перерізу конструкції на стиск :

$$\sigma^-_{z12} \leq R_b \quad (2)$$

та на розтяг:

$$\sigma^+_{z11} \leq 3R_{bt} \quad \sigma^+_{z11} \leq R_{bt} \quad (3)$$

виконуємо перерахунок прийнятої товщини оболонки за формулами:

$$\delta^- = \frac{N_{стиск} \cdot \delta_{прийняте}}{R_b} \quad (4)$$

$$\delta^+ = \frac{N_{розтяг} \cdot \delta_{прийняте}}{R_{bt}} \quad (5)$$

де $N_{стиск_{2л}}$, $N_{розтяг_{2л}}$ - головні напруження стиску та розтягу відповідно, значення яких перевищують розрахунковий опір бетону та стиск та розтяг відповідно.

$\delta_{прийняте}$ - попередньо прийнята товщина оболонки

R_b R_{bt} - розрахункові опори бетону та стиск та розтяг відповідно.

Довідкові дані щодо значень розрахункових опорів бетону на осьовий розтяг та стиск згідно класу бетону потрібно брати з довідкової інформації бланка завдання роботи або за [9].

За результатами перерахунку остаточно визначаємо товщину оболонки δ . Висновки щодо результатів розрахунків записуємо до пункту „Висновки „ бланка роботи.

За результатами перерахунку остаточно визначаємо товщину оболонки δ . Висновки щодо результатів розрахунків записуємо до пункту „Висновки „ бланку роботи.

Необхідно визначити максимальні внутрішні зусилля (вигинаючі моменти в двох площинах, крутний момент, поперечні та поздовжні зусилля), що діють в стержневих елементах конструкції (елементи торцевої ферми, бортові елементи). Визначити їхні максимальні значення, занести до відповідної таблиці в бланку завдання. Зробити висновки щодо зміни значення цих зусиль від характеру спирання конструкції.

Аналіз деформативності та напружено-деформованого стану конструкції з епюрами деформацій та головних напружень $N1$ та $N3$ слід виконати для **двох варіантів** порівняння за граничними умовами спирання конструкції.

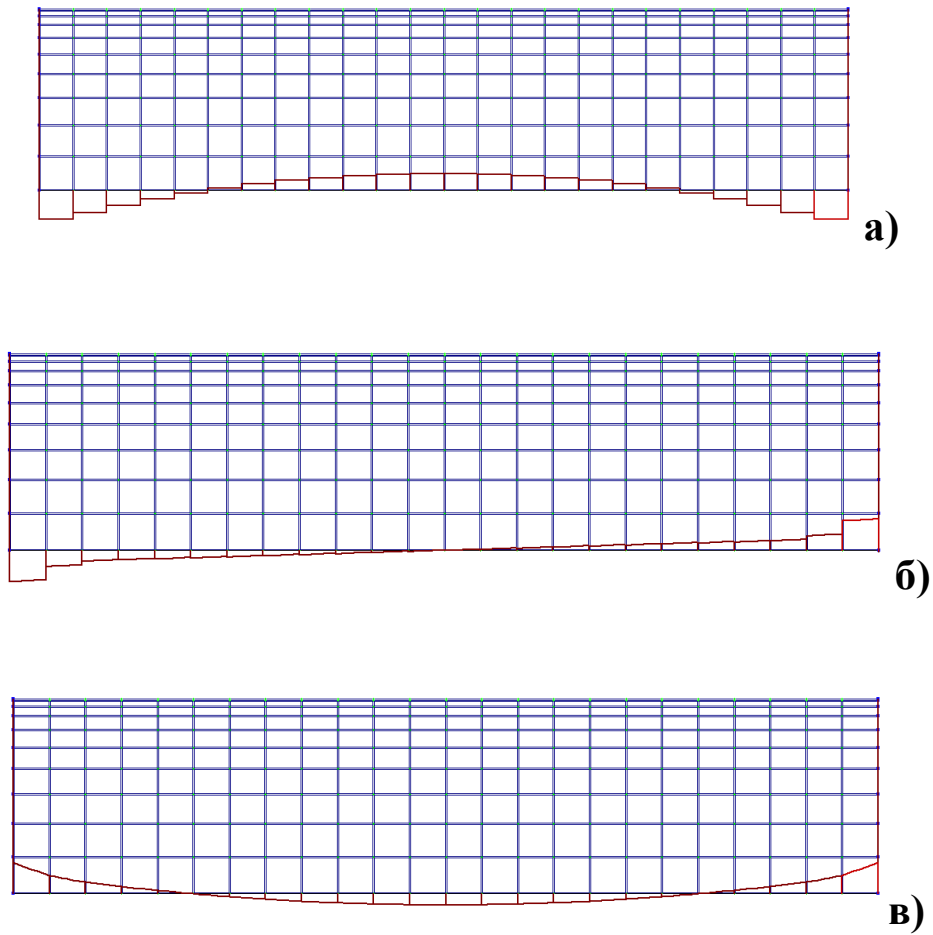


Рис.2.32.Зусилля, що діють в бортових елементах: а-поздовжні осьові зусилля ; б-поперечні сили; в-згинальні моменти

Література

1. ДБН В.1.2-2:2006 „Навантаження та впливи”. Норми проектування. К.: Мінбуд України, 2006.
2. А.С. Городецкий, И.Д. Евзеров. Компьютерные модели конструкций.- Киев, издательство „Факт”, 2005.-344 с.
3. Метод конечных элементов: учебное пособие для вузов / Под редакцией П.М. Варвака.- К.: Выща школа, 1981.-176 с.
4. Железобетонные конструкции .Спецкурс./ Под редакцией В.Н.Байкова.- М.: Высшая школа, 1990.-640 с.
5. Руководство по проектированию железобетонных конструкций. / НИИЖБ.- М.: Стройиздат, 1968.
6. Руководство по проектированию железобетонных пространственных покрытий и перекрытий. / НИИ бетона и железобетона Госстроя СССР.- М.: Стройиздат, 1979.- 421 с.
7. Руководство по проектированию оснований зданий и сооружений. / НИИОСП.- М.: Стройиздат, 1977.
8. Фомица Л.Н. Расчет пространственных покрытий. Методические указания к дипломному проектированию. Сумы,1992.
9. Бетонные и железобетонные конструкции: СНиП 2.03.01-84*– [Введен 1986-01-01] – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1989. – 80 с.
- 10.Рекомендации по выбору расчетных схем и методов расчета оболочек покрытий/ М.: МИСИ, 1987
- 11.Лебедева Н.В. Фермы, арки, тонкостенные пространственные конструкции/ Лебедева Н.В.: Учеб. пособие . – М.:”Архитектура-С”.2006с., ил.
12. СП 52-117-2008 .Железобетонные пространственные конструкции покрытий и перекрытий. Часть 1. Методы расчета и конструирование. М.: ФГУП "НИЦ "Строительство", 2008.

- 13.Справочник проектировщика. Расчетно-теоретический. Кн. I. — Мм 1972.
14. Дыховичный Ю.Л., Жуковский Э.З. Пространственные составные конструкции. — М., 1989.
15. Лебедева Н.В. Железобетонные оболочки положительной кривизны на прямоугольном плане. Расчет и конструирование. — М., 1987.

ДОДАТКИ

Додаток 1

Варіанти завдань до самостійної роботи на тему:
„Розрахунок та конструювання циліндричної оболонки”

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	8	10	B30	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Симферополь
10	8	10	B30	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Глухів
11	8	10	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	8	10	B20	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Лебедин
16	8	10	B35	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Харків
17	8	10	B20	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Купянськ

18	8	10	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	8	10	B20	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Мукачеве
24	8	10	B20	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Київ
25	8	10	B30	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Дніпропетровськ
26	8	10	B15	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Луганськ
27	8	10	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	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Ніжин
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
41	6	24	B15	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Ірпінь
42	6	24	B20	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Борислав
43	6	24	B20	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Черкаси
44	8	10	B30	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Прилуки
45	8	10	B20	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Ізюм
46	8	10	B20	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Кременчук
47	8	10	B30	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Бровари
48	8	10	B15	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Луганськ
49	6	24	B25	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Винниця
50	6	24	B25	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Котовськ
51	6	24	B30	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Чернігів
52	6	24	B35	$z = -3 \frac{x^2}{30^2}$	Умань
53	3	12	B20	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Лебедин
54	3	12	B15	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Кривий Ріг
55	3	12	B25	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Ромни
56	3	12	B25	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Васильків
57	3	12	B30	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Хмельник
58	3	12	B20	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Кременчук
59	3	12	B15	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Рівне
60	3	12	B35	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Южноукраїнськ
61	3	12	B25	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Полтава

62	3	12	B20	$z = -3 \frac{x^2}{12^2}$	Суми
63	8	10	B15	$z = -3 \frac{x^2}{15^2}$	Умань
64	8	10	B25	$z = -3 \frac{x^2}{15^2}$	Конотоп
65	8	10	B15	$z = -3 \frac{x^2}{15^2}$	Рівне
66	8	10	B15	$z = -3 \frac{x^2}{15^2}$	Львів
67	8	10	B15	$z = -3 \frac{x^2}{15^2}$	Миколаїв
68	9	12	B30	$z = -3 \frac{x^2}{15^2}$	Одеса
69	9	12	B25	$z = -3 \frac{x^2}{15^2}$	Ужгород
70	6	18	B25	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Мукачеве
71	6	18	B30	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Запоріжжя
72	6	18	B30	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Калуш
73	6	18	B15	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Токмак
74	6	18	B15	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Коростень
75	6	24	B25	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Яремча
76	6	24	B20	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Слов'янск
77	6	24	B20	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Мелітополь
78	6	24	B35	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Коломия
79	6	24	B20	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Березань
80	6	24	B15	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Васильків
81	6	24	B25	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Шахтерськ
82	6	24	B20	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Новоград-Волинський
83	6	24	B20	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Луганськ

84	6	24	B35	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Самбір
85	4	22	B20	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Трускавець
86	4	22	B15	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Борислав
87	4	22	B25	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Фастів
88	4	22	B20	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Миколаїв
89	4	22	B20	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Лозова
90	4	22	B35	$z = \frac{a^3}{a^2 + x^2}$	Канів

Міністерство аграрної політики України
Сумський національний аграрний університет

Самостійна робота
з дисципліни
„Розрахунок та конструювання
спеціальних споруд”

„ДОСЛІДЖЕННЯ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО
СТАНУ ОБОЛОНКИ ПЕРЕНОСУ, УТВОРЕНОЇ ЗА ПОВЕРХНЕЮ
ЦИЛІНДРУ”

Виконав: студент

зр. _____

—

Перевірила: асистент
каф.БК Срібняк Н.М.

- 3.4 Якщо необхідно, за величиною головних напружень розрахувати необхідну товщину поля оболонки.
 3.5 Охарактеризувати та порівняти внутрішні зусилля, що виникають в бортових елементах та в елементах діафрагми оболонки.
 3.5 Зробити висновок

Суми, 2009 р.

Довідкові дані

Характеристики важкого бетону

Клас бетону	E, м/м ²	ν	R ₀ , т/м ³	Розрахункові опори бетону для граничних станів першої групи R _b і R _{bt} при відповідному класі міцності бетону на стиск	
				Стиск осьовий (призмova міцність) R _b , МПа (т/м ²)	Розтяг осьовий (призмova міцність) R _{bt} , МПа (т/м ²)
B 15	2,35*10 ⁶	0,2	2,45	8,15 (830,78)	0,75 (76,45)
B 20	2,75*10 ⁶	0,2	2,45	11,5 (1172,27)	0,90 (91,74)
B 25	3,06*10 ⁶	0,2	2,45	14,5 (1478,08)	1,05 (107,03)
B 30	3,25*10 ⁶	0,2	2,45	17,0 (1732,93)	1,20 (122,32)
B 35	3,45*10 ⁶	0,2	2,45	19,5 (1987,77)	1,30 (132,52)
B 40	3,60*10 ⁶	0,2	2,45	22,0 (2242,61)	1,40 (142,71)
B 45	3,75*10 ⁶	0,2	2,45	25,0 (2548,42)	1,45 (147,81)
B 50	3,90*10 ⁶	0,2	2,45	27,5 (2803,26)	1,55 (158,00)
B 55	3,95*10 ⁶	0,2	2,45	30,0 (3058,10)	1,60 (163,10)
B 60	4,08*10 ⁶	0,2	2,45	33,0 (3363,91)	1,65 (168,20)

E- модуль пружності, т/м²

ν - коефіцієнт Пуасона

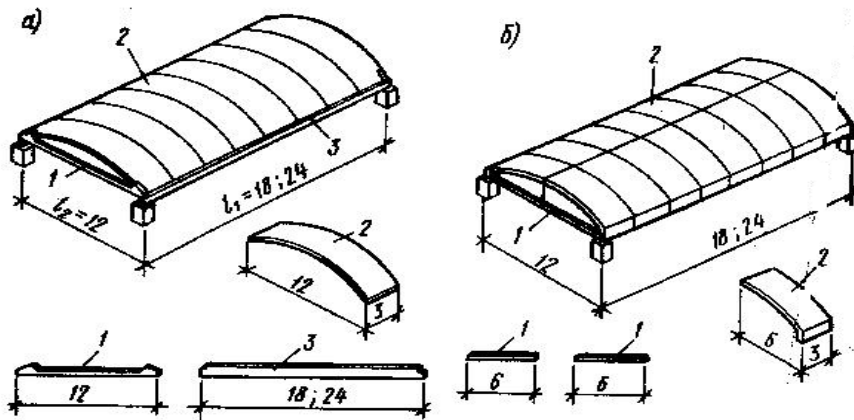
R₀ - питома вага бетону, т/м³

1. Загальні відомості про циліндричні оболонки

Циліндричні оболонки мають серединну поверхню, що утворена паралельним ковзанням кривої, що є твірною, по прямим – направляючим. Обрис твірної обирають по параболі чи колу, рідше – по еліпсу або іншій кривій. Як правило, виконуються такі оболонки із залізобетону. У металевому варіанті вони виконуються як складки. Для збірних оболонок найбільш простим є круговий обрис твірної; у цьому випадку поверхня оболонки буде окреслена по круговому циліндру.

Призматичні складки типу коротких циліндричних оболонок відрізняються від циліндричних оболонок тим, що в них криволінійна твірна замінена на ламану пряму. Складка перетворюється в оболонку при зменшенні довжини прямих ділянок твірної та збільшенні їх числа (рис.2). Відстань між опорами оболонки або складки уздовж направляючої називається *прольотом* L_1 , а відстань між поздовжніми краями L_2 – *довжиною хвилі* або *шириною* оболонки або складки.

Циліндричні оболонки опираються на несучі колони через торцеві діафрагми, жорсткі у своїй площині. Вони, як правило, по краях дортові елементи, що знижують деформативність зовнішніх країв криволінійної плити. В них розташовують поздовжню розтягнуту арматуру. Повздовжні краї в прольоті можуть залишатися вільними чи спиратися на колони або стіни.



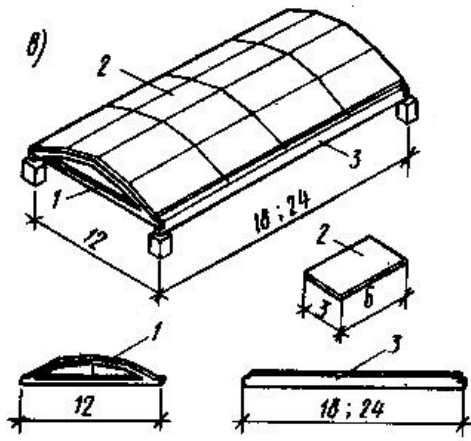


Рис.1 Конструктивні форми довгих циліндричних оболонок: а-оболонка з бортовими елементами в вигляді збірних балок (поперечний перетин); б-оболонка з бортовими елементами, що є частиною плит (поперечний розріз); в-оболонка з повздовжньою розрізкою на плити; 1-елемент діафрагми; 2-плити; 3-бортові елементи

Вибір типу бортових елементів залежить в основному від умов спирання країв оболонки. Бортові елементи для оболонок із вільними краями приймають у вигляді балок, розташованих нижче країв оболонки. За умовами проектування бортові елементи можуть розташовуватися вище краю оболонки. Вони виконуються прямокутного чи L-подібного перерізу. Якщо краї оболонки підперті в вертикальному чи горизонтальному напрямках, то бортовий елемент часто виконують в вигляді горизонтальної плити. Приблизну висоту перерізу бортових елементів рекомендується приймати такою, що дорівнює $(1/20 \dots 1/30)L_1$.

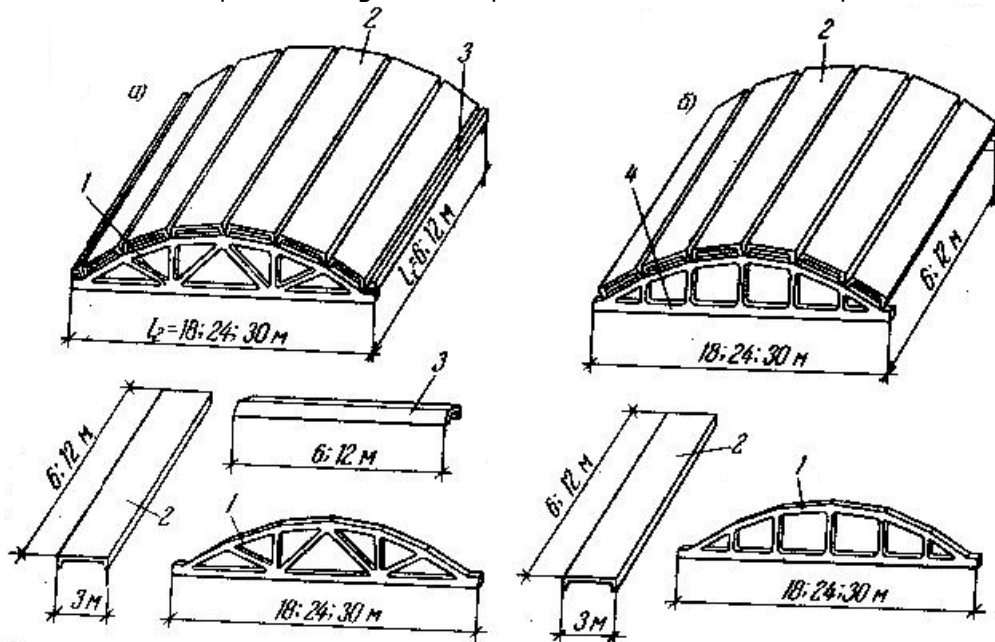


Рис.2 Призматичні складки типу коротких циліндричних оболонок: а-з бортовими елементами; б-без бортових елементів; 1-ферма-діафрагма; 2-плита; 3-бортовий елемент; 4-безроскісна ферма-діафрагма

В багатохвильових оболонках проміжні бортові елементи проектують, як правило, аналогічно крайнім бортовим елементам.

Залежно від відношення прольоту оболонки до довжини її хвилі циліндричні оболонки підрозділяють на наступні види: довгі, при $L_1; L_2 \geq 4$;

середньої довжини, при $1 \leq L_1; L_2 < 4$; короткі при $L_1; L_2 < 1$. Перші два види часто називають довгі циліндричні оболонки.

Збірні й збірно-монолітні залізобетонні циліндричні оболонки виконують із плит товщиною 30...50 мм із ребрами по контуру, бортових елементів і елементів діафрагм. Монолітні залізобетонні оболонки звичайно виконують гладкими товщиною 50...80 мм. Оболонки при прольотах 18 м і більше піддають попередній напруженню.

2. Характеристика оболонки, особливості вузлів спирання

Оболонка, що досліджується, являє собою циліндричну оболонку та утворена переносом плоскої кривої-твірної другого порядку, генеровану в площині ZOХ по двом прямим направляючим, розташованим по напрямкам вісі У глобальної системи координат. Згідно завдання на контрольну роботу приймаємо поле оболонки із монолітного залізобетону відповідного класу.

Оболонка спирається на колони (шарнірно чи жорстко) в чотирьох точках.

3. Створення розрахункової схеми

Твірна поверхні циліндричної оболонки описується рівнянням:

Згідно до завдання на виконання практичної роботи отримуємо конструкцію з розмірами: ширина (що чисельно дорівнює $2a$) _____ м, довжина b _____ м, висота стріли підйому _____ м. Згідно „Руководства по проектированию ж/б пространственных покрытий и перекрытий“ товщину поля монолітної оболонки приймаємо в середній зоні рівною _____ см. Клас бетону згідно завдання _____.

Математичну модель оболонки розбиту на кінцеві елементи називають розрахунковою схемою.

Оболонка є поверхнею, що розгортається та є поверхнею нульової гаусової кривини. Апроксимацію поверхні проводимо кінцевими елементами типу пластина (44), тип решітки _____.

4. Жорсткісні характеристики КЕ

Жорсткісні характеристики кінцевого елемента типу пластина наступні:

Таблиця 1

Тип жорсткості	Тип	Назва	H, см	E, м/м ²	ν	R ₀ , м/м ³
----------------	-----	-------	-------	---------------------	-------	-----------------------------------

	KE					
1	44	Пластина Н				

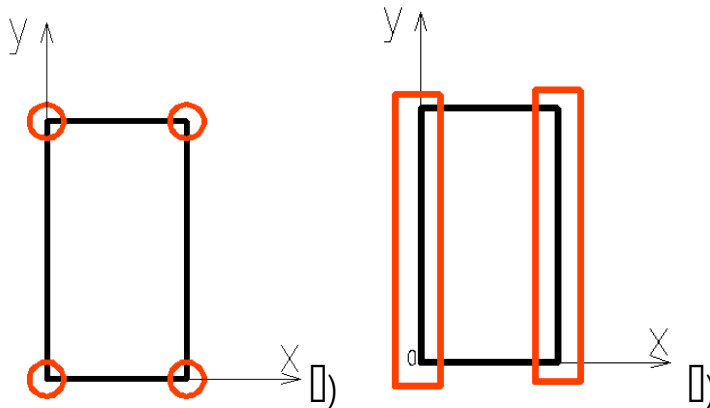
H – товщина оболонки, см

E – модуль пружності бетону, т/м²

ν – коефіцієнт Пуассона

R_0 – питома вага важкого бетону, т/м³

5. Завдання крайових умов



Умови закріплення задаємо шляхом заборони всіх лінійних переміщень в чотирьох кутових точках та кутів повороту навколо глобальних вісей координат.

Поле оболонки діляться розбивочною сіткою дискретизації на _____ скінчених елементів чотирикутної форми.

Головні напруження оболонки, що характеризують її НДС, в кожному елементі розраховуються в його центрі ваги і обраховуються в місцевій системі координат скінченного елемента.

5 Призначення навантаження.

Приймаємо два види навантажень:

1) навантаження від власної ваги елементів конструкції

2) за ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження та впливи» для м. _____

- нормативне (характеристичне) снігове навантаження становить

$$S_0 = \text{_____} \text{ т/м}^2;$$

$\gamma_{fm} = 1,14$ – коефіцієнт надійності за навантаженням

- розрахункове снігове навантаження:

$$S_m = \gamma_{fm} S_0 C = \text{_____} \text{ т/м}^2.$$

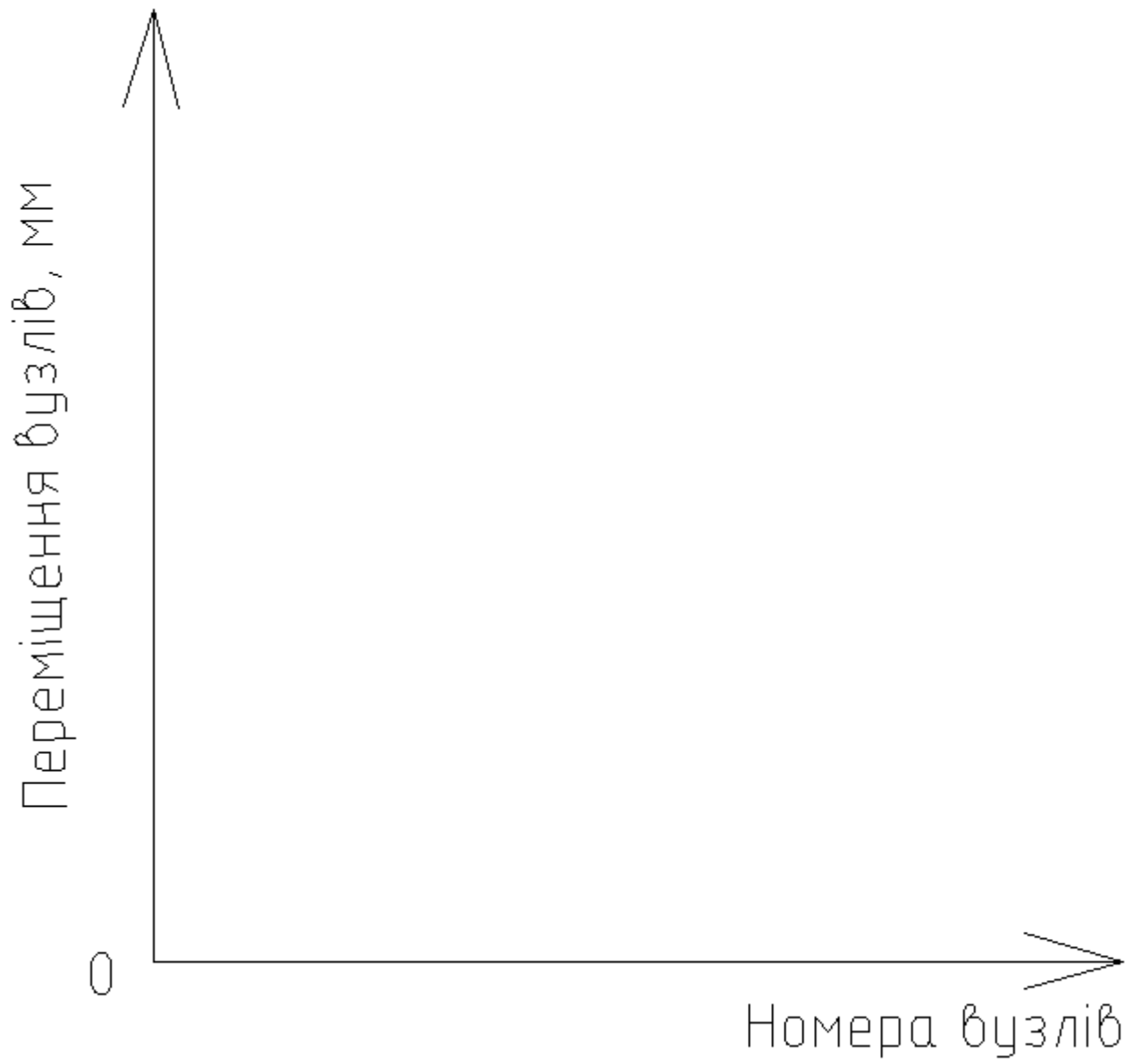
Рис.4 Переріз 1-1, в якому досліджуються прогини оболонки

Переміщення вузлів оболонки в перерізі 1-1

Таблиця 3

№ характерного вузла	Переміщення вузлів, мм	
	За першої умови порівняння	За другої умови порівняння

б) Епюри переміщень вузлів оболонки по характерному перерізу
 (————— варіант 1 умов порівняння — — ————— варіант 2 умов
 порівняння)



7.2. Характеристика напруженого стану оболонки

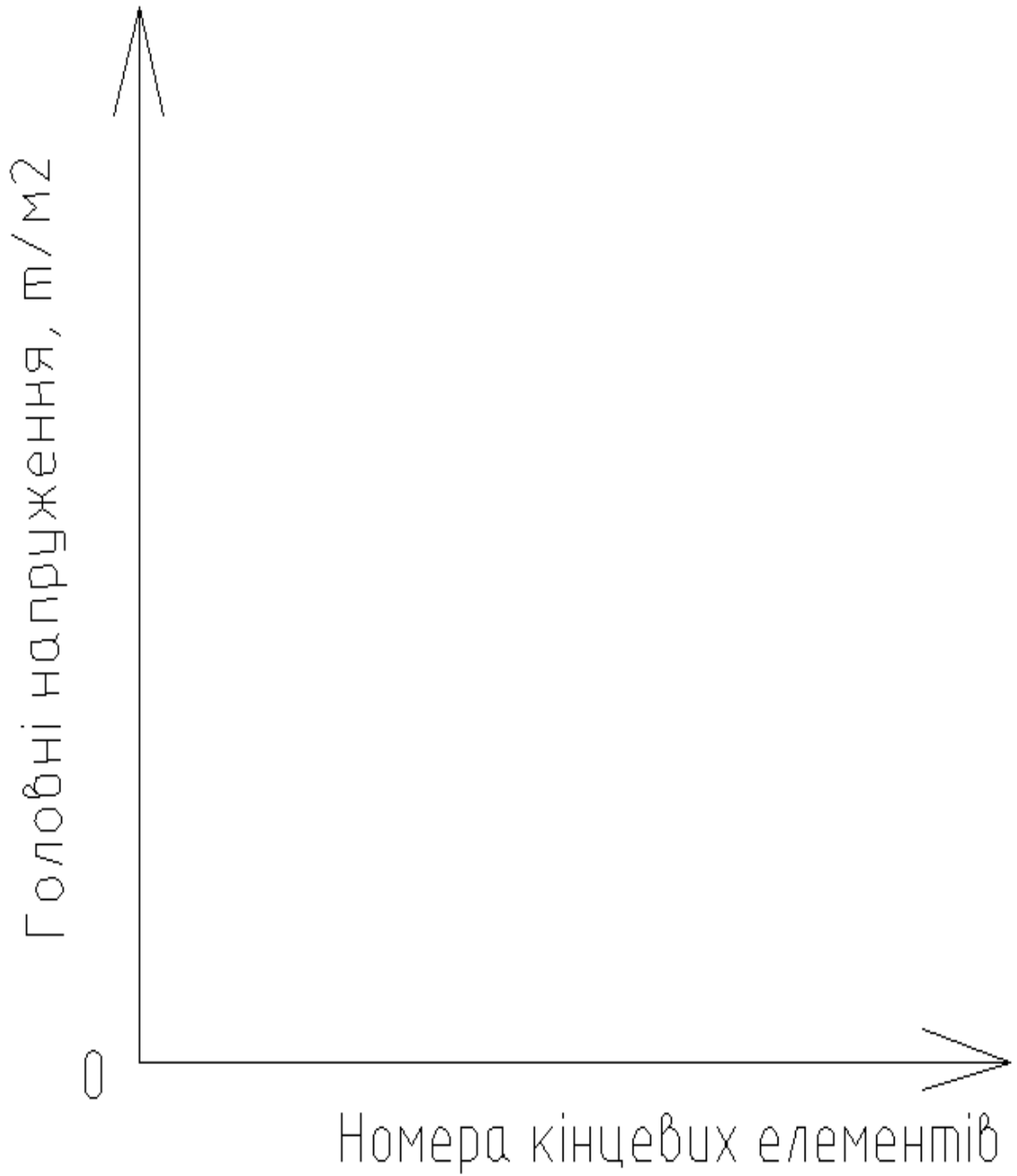
Розрахунок показав, що по всій площі в тілі оболонки виникають нормальні напруження _____ . Характер їх розподілу плавний.

Головні напруження в скінчених елементах оболонки по перерізу 1-1

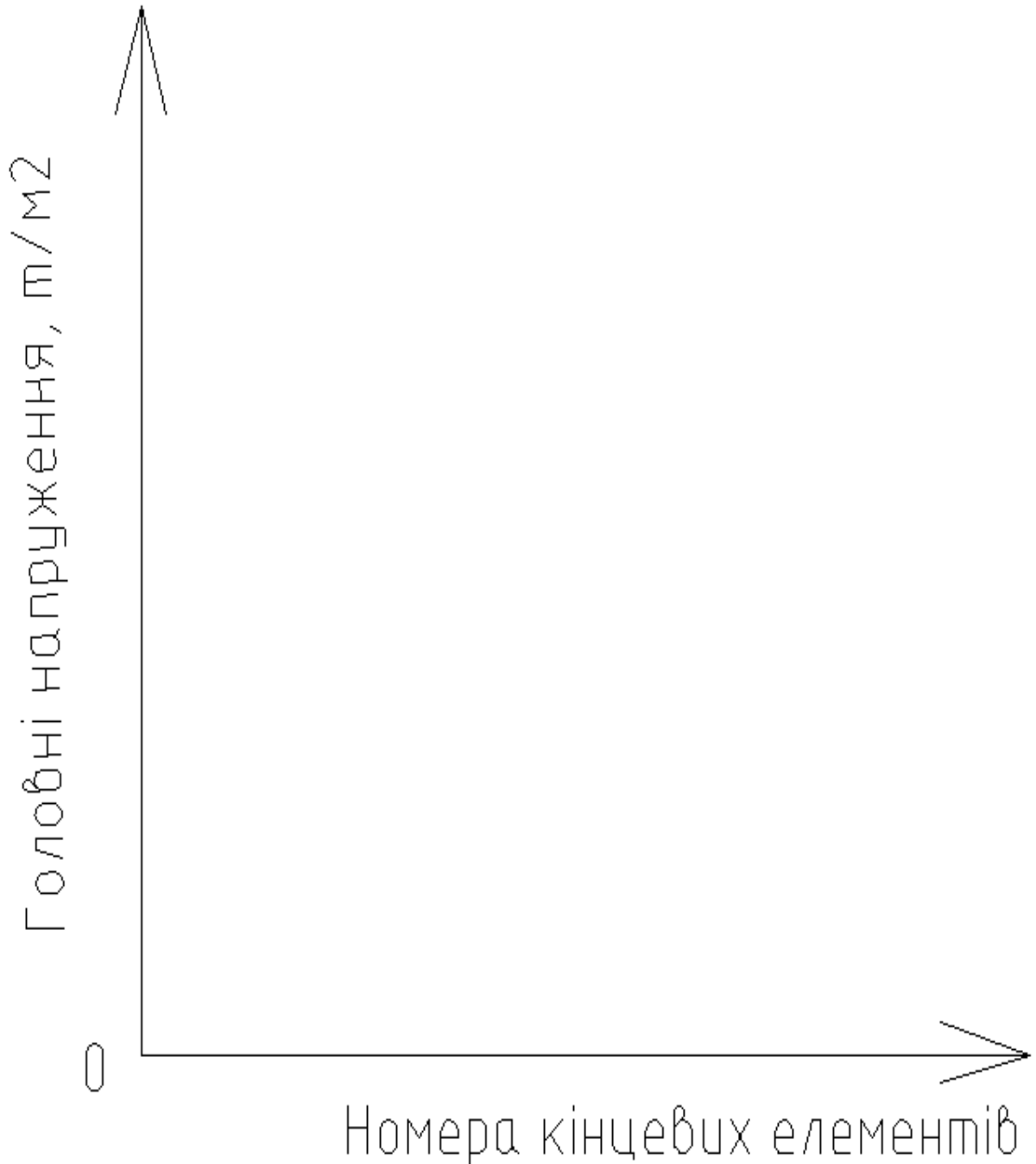
Таблиця 4

№ скінченого елемента	Головні напруження по головним вісям в КЕ оболонки			
	За першої умови порівняння		За другої умови порівняння	
	N_1 , т/м ²	N_3 , т/м ²	N_1 , т/м ²	N_3 , т/м ²

Епюра головних напружень $N1$ та $N3$ при ПЕРШОМУ варіанті умов порівняння



Еюра головних напружень $N1$ та $N3$ при ДРУГОМУ варіанті умов порівняння



а) При першому типі граничних умов (варіант 1)

Максимальне напруження стиску $\sigma_{\text{стиск}}^{\text{макс}}$ становить:

в кутовій зоні _____ т/м²; в центрі поля оболонки

_____ т/м²

Максимальне напруження розтягу $\sigma_{gl}^{розтяг}$ становить:

в кутовій зоні _____ т/м^2 ; в центрі поля оболонки
_____ т/м^2

б) При другому типі граничних умов (варіант 2)

Максимальне напруження стиску $\sigma_{gl}^{стиск}$ становить:

в кутовій зоні _____ т/м^2 ; в центрі поля оболонки
_____ т/м^2

Максимальне напруження розтягу $\sigma_{gl}^{розтяг}$ становить:

в кутовій зоні _____ т/м^2 ; в центрі поля оболонки
_____ т/м^2

в) Умови міцності перерізу на стиск: $\sigma_{gl2}^- \leq R_b$;

Умова міцності перерізу на розтяг:

$$\sigma_{gl1}^+ \leq 3R_{bt} \quad \sigma_{gl1}^+ \leq R_{bt}$$

Якщо головні напруження, що виникають в тілі оболонки, перевищують розрахункові значення опорів бетону на стиск та розтяг, виконуємо перерахунок прийнятої товщини оболонки.

а) При симетричному завантаженні (варіант 1 завантаження)

$$\delta = \frac{N_{стиск}^{gl} \cdot \delta_{прийняте}}{R_b} =$$

$$\delta = \frac{N_{розтяг}^{gl} \cdot \delta_{прийняте}}{R_{bt}} =$$

б) При несиметричному завантаженні (варіант 2 завантаження)

$$\delta = \frac{N_{стиск}^{gl} \cdot \delta_{прийняте}}{R_b} =$$

$$\delta = \frac{N_{розтяг}^{gl} \cdot \delta_{прийняте}}{R_{bt}} =$$

Остаточно приймаємо товщину оболонки: $\delta =$ _____ см.

Таблиця 5

Результати статичного розрахунку конструкції

Максимальні переміщення вузлів, мм		Максимальні нормальні напруження стиску, т/м^2		Максимальні нормальні напруження розтягу, т/м^2	
варіант	варіант	варіант	варіант	варіант	варіант

завантаження 1	завантаження 2	завантаження 1	завантаження 2	завантаження 1	завантаження 2

В стержневих елементах діафрагм жорсткості виникають

зусилля: _____

—

В бортових елементах оболонки виникають зусилля:

Максимальні зусилля, що діють в стержневих елементах

Таблиця1

Варіант граничних умов №1

№ елемента	Тип елемента	Вид зусилля, що діє в стержневих елементах оболонки (т, т*м)					
		N,т	Qy,т	Qz,т	Mx, т·м	Mz, т·м	My, т·м

Варіант граничних умов №2

№ елемента	Тип елемента	Вид зусилля, що діє в стержневих елементах оболонки (т, т*м)

		N,m	Q _y ,m	Q _z ,m	M _x , м·м	M _z , м·м	M _y , м·м

Висновки:

Додаток 3

ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ ЗНАЧЕНИЯ НАГРУЗОК И ВОЗДЕЙСТВИЙ ДЛЯ ГОРОДОВ УКРАИНЫ

w_0 - характеристическое значение (в мм)

s_0 - характеристическое значение (в мм)

b - характеристическое значение (в мм)

w_B - характеристическое значение (в мм)

Характеристическое значение	w_0 (мм)	s_0 (мм)	b (мм)	w_B (мм)
Характеристическое значение	370	1550	19	160
Характеристическое значение	460	770	13	250
Характеристическое значение				
Характеристическое значение	460	820	15	210
Характеристическое значение	450	860	15	160
Характеристическое значение	480	850	16	200
Характеристическое значение	490	730	15	250
Характеристическое значение	540	920	16	310
Характеристическое значение	510	780	16	260
Характеристическое значение	480	760	15	230

000000 0000000000 0000000000 0000000000	W_o (00)	S_o (00)	b (00)	W_B (00)
00000000	510	780	16	260
0000000000	500	1000	14	240
000000	470	940	15	160
0000	470	830	13	180
0000000000 00000000				
00000000	470	1360	17	220
0000000000	480	1360	19	240
00000000-000000000000	470	1280	19	210
00e000000	450	1390	18	210
0000000000 00000000				
0000	480	1240	17	210
000000000-0000000000	500	1200	17	160
0000000	460	1200	13	160
000000000000	500	1240	15	170
00000000000000000000 00000000				
000000000000000000	470	1340	19	260
00000000000000	440	1190	19	220
000000000000000000	470	1280	19	230
0000000 0000	440	1170	19	260
0000000 000	440	1110	19	260
000000000	460	1040	18	260
000000000	460	1020	17	260
00000000000000	470	1390	19	260
00000000000000	460	1030	18	260

<p> W_o (III) </p>	<p> S_o (III) </p>	<p> b (III) </p>	<p> W_B (III) </p>
480	1390	17	260
500	1380	19	260
480	1350	19	260
490	1390	18	260
500	1500	22	260
490	1450	22	230
480	1380	22	210
500	1500	22	210
500	1440	26	210
500	1480	22	240
480	1420	19	210
480	1410	19	210
500	1520	23	300
500	1470	24	240
500	1160	19	250
600	1380	28	350
500	1490	25	240
480	1400	21	210
470	1400	21	210
480	1410	19	230
460	1390	21	210
500	1490	23	240
490	1420	20	250

සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	W_o (මි)	S_o (මි)	b (මි)	W_B (මි)
සමස්ත ස්ථාන	460	1400	21	210
සමස්ත ස්ථාන	490	1510	28	220
සමස්ත ස්ථාන	490	1520	27	220
සමස්ත ස්ථාන	500	1450	22	300
සමස්ත ස්ථාන	500	1500	23	250
සමස්ත ස්ථාන	500	1500	25	240
සමස්ත ස්ථාන	500	1470	22	250
සමස්ත ස්ථාන				
සමස්ත ස්ථාන	460	1460	16	200
සමස්ත ස්ථාන	460	1410	16	200
සමස්ත ස්ථාන	480	1450	16	220
සමස්ත ස්ථාන-සමස්ත ස්ථාන	470	1380	22	220
සමස්ත ස්ථාන				
සමස්ත ස්ථාන	370	1340	11	150
සමස්ත ස්ථාන	370	1490	12	110
සමස්ත ස්ථාන				
සමස්ත ස්ථාන	460	1110	19	260
සමස්ත ස්ථාන	520	1120	26	270
සමස්ත ස්ථාන	520	1050	22	340
සමස්ත ස්ථාන	490	1070	19	260
සමස්ත ස්ථාන-සමස්ත ස්ථාන				
සමස්ත ස්ථාන-සමස්ත ස්ථාන	500	1410	21	170
සමස්ත ස්ථාන	550	1520	17	170
සමස්ත ස්ථාන	530	1440	19	180

<p>සමස්ත සංරක්ෂණය කළ සංරක්ෂණය</p>	W_o (මි)	S_o (මි)	b (මි)	W_B (මි)
සංරක්ෂණය	490	1400	22	160
සංරක්ෂණය	470	1530	19	180
සංරක්ෂණය සංරක්ෂණය				
සංරක්ෂණය සංරක්ෂණය	390	1520	16	170
සංරක්ෂණය	390	1580	19	190
සංරක්ෂණය	380	1570	19	160
සංරක්ෂණය	380	1580	19	160
සංරක්ෂණය	380	1530	16	160
සංරක්ෂණය	390	1560	19	160
සංරක්ෂණය-සංරක්ෂණය	390	1560	18	200
සංරක්ෂණය	450	1590	19	190
සංරක්ෂණය	380	1510	16	190
සංරක්ෂණය	390	1540	18	190
සංරක්ෂණය	430	1600	18	190
සංරක්ෂණය සංරක්ෂණය				
සංරක්ෂණය	410	1230	22	210
සංරක්ෂණය	430	1250	21	240
සංරක්ෂණය	420	1320	22	210
සංරක්ෂණය	430	1310	18	210
සංරක්ෂණය සංරක්ෂණය				
සංරක්ෂණය	460	1350	28	230
සංරක්ෂණය	490	1460	30	240
සංරක්ෂණය	480	1410	25	230
සංරක්ෂණය	480	1400	23	220

සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	W_o (මි)	S_o (මි)	b (මි)	W_B (මි)
සමස්තය	480	1410	22	230
සමස්තය	470	1410	29	230
සමස්තය සහ	490	1470	29	230
සමස්තය	460	1370	21	210
සමස්තය	480	1400	23	220
සමස්තය	480	1450	31	260
සමස්තය	450	1370	21	180
සමස්තය	480	1450	32	270
සමස්තය	460	1370	22	210
සමස්තය	480	1400	24	220
සමස්තය සහ				
සමස්තය	520	1310	15	240
සමස්තය	540	1500	16	180
සමස්තය	560	1440	16	190
සමස්තය	530	1400	16	190
සමස්තය	550	1420	16	180
සමස්තය	550	1490	16	180
සමස්තය	510	1260	16	230
සමස්තය සහ				
සමස්තය	470	870	22	260
සමස්තය	450	990	22	270
සමස්තය	490	830	22	260
සමස්තය	410	1200	22	260
සමස්තය	430	1090	22	260

සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	W_o (මි)	S_o (මි)	b (මි)	W_B (මි)
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන				
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	460	880	28	330
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන-සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	470	890	27	330
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	500	1100	23	310
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	480	880	28	330
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	450	1170	23	270
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	490	870	24	310
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන				
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	470	1450	19	250
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	430	1280	18	240
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	430	1300	18	230
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	410	1600	16	250
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	420	1540	17	240
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන				
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	520	1320	18	240
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	530	1270	17	250
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	460	1260	13	200
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	520	1320	17	250
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන				
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	420	1670	16	250
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	450	1600	17	240
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	390	1770	17	230
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	360	1740	15	220
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	430	1640	18	220

<p>සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන</p>	<p>W_o</p> <p>(මි)</p>	<p>S_o</p> <p>(මි)</p>	<p>b</p> <p>(මි)</p>	<p>W_B</p> <p>(මි)</p>
සමස්ත	380	1730	19	230
සමස්ත	390	1790	16	220
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන				
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	520	1390	17	230
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන				
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	430	1600	14	230
සමස්ත	430	1460	19	210
සමස්ත	450	1460	19	210
සමස්ත	480	1490	19	230
සමස්ත	450	1570	15	250
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	450	1510	18	230
සමස්ත	430	1600	15	220
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන				
සමස්ත	480	760	19	290
සමස්ත	460	840	19	320
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	450	820	19	320
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන				
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	500	1340	19	230
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන-සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	460	1270	19	210
සමස්ත	520	1330	18	210
සමස්ත	510	1350	18	210
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන	500	1370	19	210
සමස්ත සංරක්ෂණය කළ ස්ථාන				
සමස්ත	420	1520	18	220

Категорія продукції	W_0 (т)	S_0 (т)	b (т)	W_B (т)
Категорія 1	410	1420	19	210
Категорія 2	410	1540	15	210
Категорія 3	410	1560	18	210
Категорія 4	420	1480	18	210
Категорія 5	440	1440	19	210
Категорія 6				
Категорія 7	500	1320	22	210
Категорія 8				
Категорія 9	410	1720	16	160
Категорія 10	370	1690	15	180
Категорія 11	370	1640	19	210

Срібняк Наталія Миколаївна

Циганенко Людмила Анатоліївна

Розрахунок та конструювання спеціальних споруд
Розрахунок циліндричних покриттів
з використанням ПК LIRA
Методичні вказівки до виконання самостійної роботи
для студентів 5 курсу денної та заочної форми навчання
освітньо-кваліфікаційного рівня – спеціаліст,
магістр спеціальності 2903
„Промислове та цивільне будівництво”

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

Підписано до друку _____ 2009р. Формат А5: Гарнітура Times New Roman		
Тираж 100 примірників	Замовлення	Ум. друк. арк 3,0