

УДК 624.04

**ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ РОЗМІРІВ КОНСТРУКТИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ СТАЛЕФІБРОБЕТОННОЇ КОНСТРУКЦІЇ ПОКРИТТЯ У ФОРМІ ГІПЕРБОЛІЧНОГО ПАРАБОЛОЇДА**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ РАЗМЕРОВ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ СТАЛЕФИБРОБЕТОННОЙ КОНСТРУКЦИИ ПОКРЫТИЯ В ФОРМЕ ГИПЕРБОЛИЧЕСКОГО ПАРАБОЛОИДА**

**DETERMINATION OF THE OPTIMAL DIMENSIONS CONSTRUCTION ELEMENTS OF STEELFIBERCONCRETE ROOFING CONSTRUCTIONS IN THE FORM OF THE HYPERBOLIC PARABOLOID**

Ужегов С.О., аспірант, Пасічник Р.В., к.т.н., доцент, Андрійчук О.В., к.т.н., доцент (Луцький національний технічний університет)

Ужегов С.О., аспирант, Пасичнык Р.В., к.т.н., доцент, Андрійчук А.В., к.т.н., доцент (Луцкий национальный технический университет)

Uzhegov S.O., Ph.D. student, Pasichnyk R.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor, Andriychuk O.V., Ph.D. in Engineering, Associate Professor (Lutsk National Technical University)

У статті виконується розрахунок конструкції покриття у формі гіперболічного параболоїда, прямокутного в плані, виконаного зі сталевібробетону, методом криволінійних сіток для оптимального підбору геометричних розмірів конструктивних елементів.

В статье выполняется расчёт конструкции покрытия в форме гиперболического параболоида, прямоугольного в плане, выполненного из сталефибробетона, методом криволинейных сеток для оптимального подбора геометрических размеров конструктивных элементов.

In this article performed calculations of steelfiberconcrete rectangular roofing construction in the form of hyperbolic paraboloid by the method of curvilinear grids for optimal selection of geometric dimensions the construction elements.

**Ключові слова:**

сталевібробетон, гіперболічний параболоїд, метод криволінійних сіток, конструктивні елементи;

сталефібробетон, гиперболический параболоид, метод криволинейных сеток, конструктивные элементы;  
steelfiberconcrete, hyperbolic paraboloid, method of curvilinear grids, construction elements.

Для перекриття великих прольотів промислових та громадських будівель поряд з оболонками, що мають додатну гаусову кривину використовують також гіперболічні параболоїди, увігнуто-випукла поверхня яких має від'ємну гаусову кривину. Удосконалення конструктивних елементів покриття в промислових спорудах шляхом заміни лінійних конструкцій покриття просторовою системою-оболонкою дозволяє знизити витрату бетону і металу на одиницю площі споруди і зменшити вартість покриття. Крім цього, в багатьох випадках будівництва споруд громадського призначення з великими прольотами оболонка стає єдиною можливою конструкцією покриття. Такі оболонки використовують для перекриття прольотів до 70 м.

Архітектурна виразність, простота утворення лінійної поверхні, а тому і висока технологічність, можливість комбінувати різноманітні типи покриттів у поєднанні з загальними перевагами оболонок дозволяє виділити оболонки типу гіперболічного параболоїда як конструкції, що являють собою велику практичну цінність.

Статичні переваги гіпарів перед випуклими оболонками полягають в тому, що вони добре опираються втраті стійкості завдяки взаємодії розтягуючих і стискуючих напружень, що виникають відповідно вздовж увігнутої та випуклої направляючих.

Дослідження в двовимірній постановці оболонок, що не мають осьової симетрії, пов'язане зі значними труднощами, що зумовлені великими потребами ресурсів обчислювальних машин. Є обмежене число публікацій, присвячених визначенню напружено-деформованого стану і стійкості оболонок у двовимірній постановці. Рішення таких задач виконується, як правило, на основі таких чисельних методів як метод скінченних різниць, варіаційно-різницевий метод і метод скінченних елементів. Використання таких методів у задачах теорії тонких оболонок показало, що всім їм властива незадовільна збіжність чисельних рішень за наявності жорстких зсувів, тобто зсувів елементів оболонки як жорсткого цілого при великих згинальних деформаціях, що виникають через малу згинальну жорсткість, або недостатні граничні закріплення. Незадовільна збіжність чисельних рішень призводить до великих об'ємів обчислень. Ця обставина змусила створити такі модифікації чисельних методів, на збіжність рішень яких не впливали б жорсткі зсуви.

Перевагою методу криволінійних сіток є виключення негативного впливу жорстких зсувів завдяки коректному застосуванню скінченнорізницевих апроксимацій векторних рішень співвідношень теорії оболонок. Суттєвою

перевагою також є те, що метод криволінійних сіток враховує кривину кожного елементарного розрахункового елемента на відміну від МСЕ, де скінчений елемент є плоским і розраховується за теорією пластин.

В якості розв'язувальних прийняті співвідношення геометрично нелінійної теорії оболонок, нелінійність якої обумовлена як нелінійною залежністю компонент тензора мембранних деформацій від компонент вектора переміщень, так і зміною в процесі деформації форми середньої поверхні оболонки. Для вирішення нелінійних рівнянь в розрахунковій практиці широко використовуються різні чисельні методи.

У статті виконано розрахунок конструкції покриття у формі гіпара, прямокутного у плані, зі сторонами:  $a = 35$  м,  $b = 22,5$  м. Стріла підйому  $f_1 = f_2 = 5,0$  м.

Товщину оболонки підбираємо з таких варіантів:  $h = 0,04$  м,  $h = 0,05$  м,  $h = 0,06$  м,  $h = 0,07$  м,  $h = 0,08$  м. По контуру оболонки розміщено бортові елементи, що опираються на ферми (рис. 1). У точках А, В1, С, D1 влаштовані просторові шарнірно нерухомі опори.

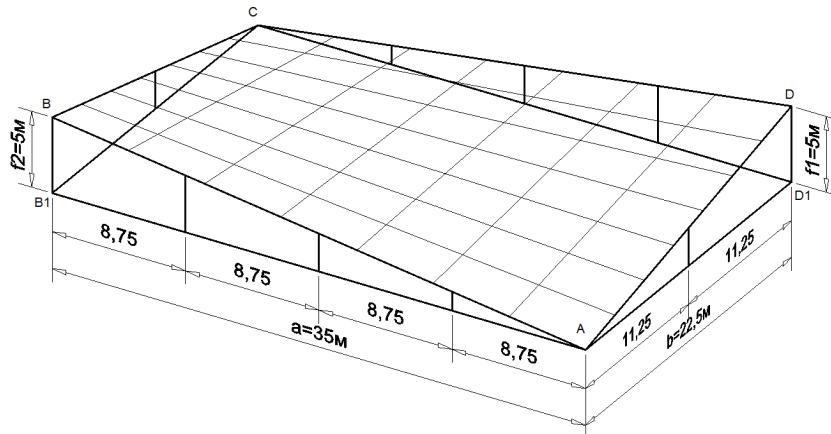


Рис.1. Розрахункова схема конструкції покриття

Геометрія оболонки описана формулою:

$$Z = -0,012698 \cdot X \cdot Y + 0,22222 \cdot X + 0,142857 \cdot Y$$

Матеріал конструкції – сталеві фібробетон із такими характеристиками: матриця з бетону класу С16/20 (В20); розрахункова міцність цього бетону на стиск становить  $f_{cd}(R_b) = 11,5$  МПа;  $k_n = 0,507$ ;  $\varphi_f = 1,241$ ;  $\mu_{fv} = 0,02$ ; міцність фібри  $f_f(R_f) = 1835$  МПа.

Міцність сталеві фібробетону на стиск:

$$\begin{aligned} R_{sfb} &= R_b + k_n^2 \varphi_f \mu_{fv} R_f = \\ &= 11,5 + 0,507^2 \times 1,241 \times 0,02 \times 1835 = 23,207 \text{ МПа.} \end{aligned}$$

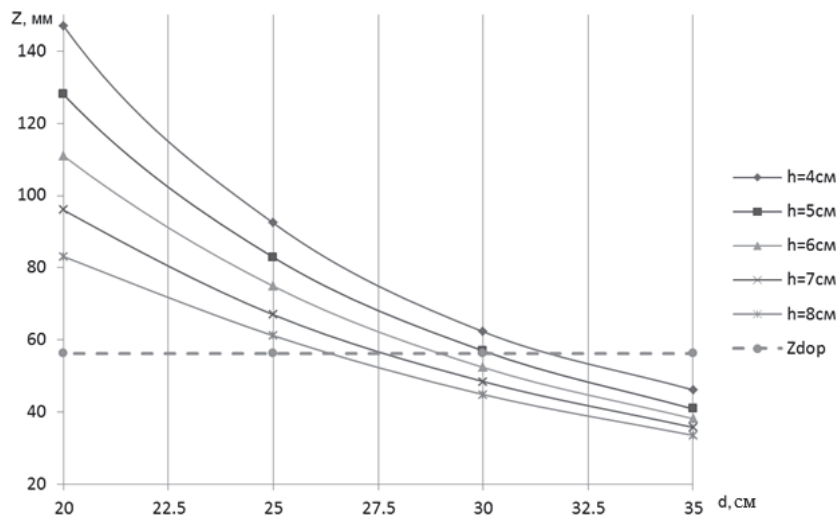


Рис. 2. Залежність максимальних прогинів  $Z$  від розміру бортового елемента  $d$  при різних значеннях товщини оболонки  $h$

Міцність сталевібробетону на розтяг обчислимо за такими вихідними даними:  $m_2 = 1,2$ ;  $f_{cd}(R_b) = 11,5 \text{ МПа}$ ;  $f_f(R_f) = 1835 \text{ МПа}$ ;  $d_f = 0,5 \text{ мм}$ ;  $l_f = 50 \text{ мм}$ ;  $k_o = 0,555$ ;  $\eta = 0,6$ ;  $\mu_{fv} = 0,02$ ;  $l_{f,an} > l_f/2$ :

$$R_{sfbt} = m_2 R_b \left[ \frac{(k_o^2 \mu_{fv} l_f)}{(4 \eta d_f)} + 0,08 - 5,5 \mu_{fv} \right] =$$

$$= 1,2 \times 11,5 \left[ \frac{(0,555^2 \times 0,02 \times 50)}{(4 \times 0,6 \times 0,5)} + 0,08 - 5,5 \times 0,02 \right] =$$

$$= 3,128 \text{ МПа.}$$

Модуль деформацій сталевібробетону:

$$E_{sfb} = 13200 - 2150 \mu_{fv} + 320 B =$$

$$= 13200 - 2150 \times 0,02 + 320 \times 20 = 19557 \text{ МПа.}$$

Для оболонок покриття максимально допустиме значення прогину

$$Z_{dop} = L/400 = 22500/400 = 56,25 \text{ мм.}$$

За допомогою отриманого графіка (рис. 2) можна підібрати оптимальні розміри товщини оболонки залежно від жорсткості бортових елементів таким чином, щоб переміщення не перевищували максимально допустимих значень.

Наприклад, для товщини оболонки  $h = 5 \text{ см}$  переріз бортових елементів має бути не менший, ніж  $30 \text{ см} \times 30 \text{ см}$ .

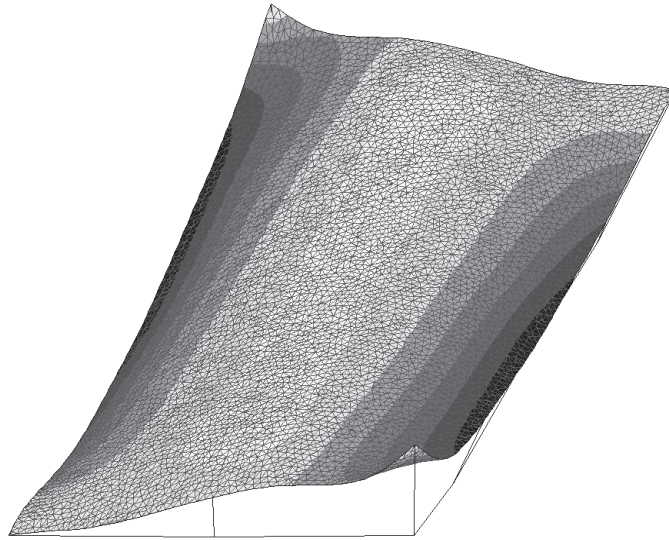


Рис. 3. Деформація оболонки при недостатній жорсткості бортових елементів

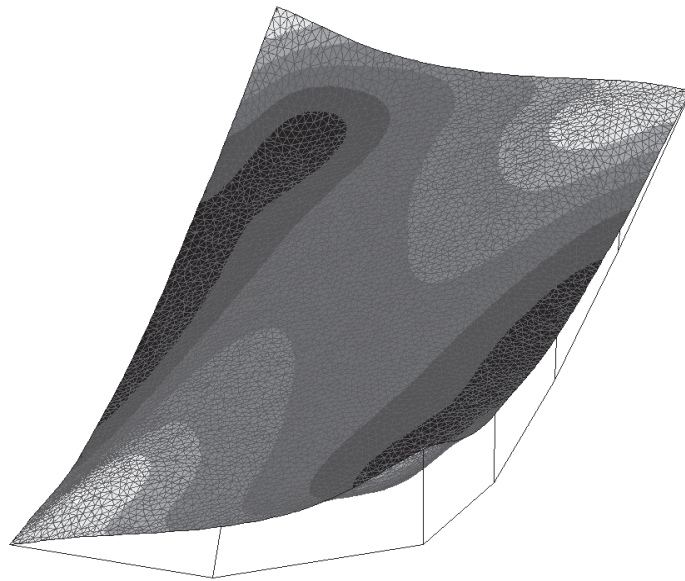


Рис. 4. Деформація оболонки при недостатній товщині оболонки

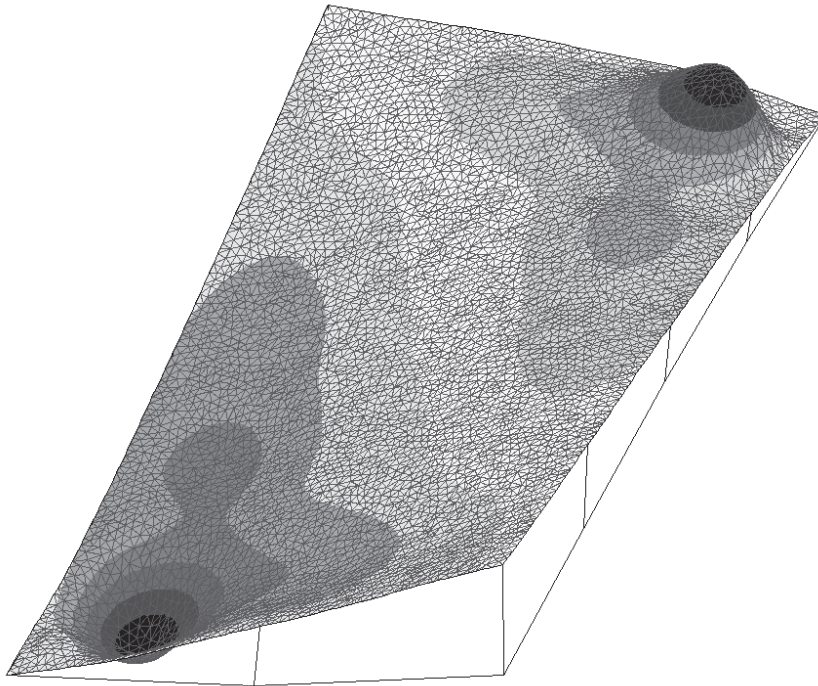


Рис. 5. Форма втрати стійкості оболонки

1. Черных К. Ф. Линейная теория оболочек. – Л.: Издательство Ленинградского университета, 1965, ч.2. – 395 с. 2. Самольянов И.И. Прочность, устойчивость и колебания гиперболического параболоида. – Луцк.: Луцкий индустриальный институт. – 1993. – 316 с. 3. Рассказов А.О. Расчет оболочек типа параболических параболоидов. Изд. Киевского Госуниверситета. Киев, 1972 г. – 175 с. 4. Железобетонные конструкции: Спец. курс. Учеб.пособие для вузов/ Байков В.Н., Дроздов П.Ф., Трифонов И.А. и др. Под ред. В.Н.Байкова - М.: Стройиздат, 1981.- 767 с. ил.