

УДК 539.3

Р.В. Пасічник

Луцький національний технічний університет

ВРАХУВАННЯ КОРОЗІЇ МАТЕРІАЛУ ПРИ РОЗРАХУНКУ НА СТІЙКІСТЬ КОНСТРУКЦІЙ У ФОРМІ ПОВЕРХОНЬ З ВІД'ЄМНОЮ ГАУСОВОЮ КРИВИНОЮ МЕТОДОМ СІТОК

В статті проведено дослідження стійкості збірної залізобетонної ротонди у формі однопорожнинного гіперboloїда в залежності від зміни в наслідок корозії жорсткості з'єднувальних елементів за методом скінченних елементів та методом криволінійних сіток. Побудовані порівняльні графіки залежності критичного навантаження отримані обома методами. Визначено умови втрати стійкості конструкції.

У парках відпочинку багатьох міст України використовуються споруди громадського призначення зведені в середині минулого століття. Через тривалу експлуатацію з'являється корозія матеріалів, що може призвести до руйнування конструкцій. У статті проводиться дослідження стійкості літнього театру у формі ротонди, що розміщений в парку культури та відпочинку ім. Лесі Українки у м. Луцьку (див. рис. 1). Дану конструкцію можна розглядати як оболонку обертання від'ємної Гаусової кривини у формі однопорожнинного гіперboloїда. Такі оболонки знайшли практичне застосування у будівництві пізніше оболонок інших видів, тому їх статичні та жорсткісні характеристики виявились менш вивченими і розробленими.

Простота визначення напруженого стану за безмоментною теорією на першому етапі проектування відповідала практичним вимогам, але з початком широкого будівництва експериментально було показано, що реалізувати для оболонки обертання з від'ємною Гаусовою кривиною безмоментний напружений стан практично неможливо, оскільки це пов'язано з влаштуванням абсолютно жорсткої затяжки або неподатливих контрфорсів.

Дослідженню оболонок на основі безмоментної теорії розрахунку присвячені роботи: В. Власова, В. Новожилова, В. Соколовського, Ю. Работнова, Н. Канчелі, А. Гольденвейзера, П. Гергелі, В. Гюнці, К. Хрубана Ф. Кандели, І. Мілейковського, С. Шетті, Т. Ліна, А. Парме.

За моментною теорією дослідження розглядуваних оболонок виконується, як правило, на основі таких чисельних методів як метод скінченних різниць, варіаційно-різницевий метод і метод скінченних елементів. Використання таких методів в 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 витрат машинного часу. Ця обставина змусила створити метод криволінійних сіток – модифікацію чисельних методів, на збіжність рішень якого не впливали б жорсткі зсуви.

Методу криволінійних сіток присвячені роботи А. Гоцуляка, А. Аронсона, В. Баженова, В. Гуляева, А. Оглоблі. [1-5] Проте дослідження однопорожнинних гіперboloїдів на стійкість в цих роботах не проводились.

Конструкція ротонди літнього театру складається з двох частин (див. рис. 2). Нижня частина – монолітна залізобетонна колона конусної форми. Верхня частина – збірний залізобетонний дах театру у формі однопорожнинного гіперboloїда. Збірними елементами даху являються ребристі плити з двома поздовжніми зовнішніми ребрами трапецієвидної форми висотою 30см та шириною 11см і 17см, внутрішнім поздовжнім ребром трапецієвидної форми висотою 30 см та шириною 5.5см і 11.5см. В поперечному напрямі розміщені два внутрішніх ребра трапецієвидної форми висотою 20 см та шириною 5.5см і 11.5см. На зовнішньому контурі плити розміщене поперечне ребро трапецієвидної форми висотою 30 см та шириною 11см і 17см. Товщина плити 3 см. 26 ребристих плит з'єднуються між собою поздовжніми ребрами утворюючи конструкцію однопорожнинного гіперboloїда. З'єднання плит між собою виконано в місцях розміщення поперечних ребер за допомогою металевих пластин товщиною $h=1$ см та шириною 20см.

Під час обстеження споруди було виявлено місця корозії металевих з'єднувальних пластин.

В якості розрахункової схеми прийнято оболонку у формі однопорожнинного гіперboloїда з радіальними та кільцевими ребрами жорсткості. Опирання на колону – шарнірне.

Навантаження на оболонку приймається від власної ваги конструкції та від снігового навантаження взятого згідно ДБН В.1.2-2:2006.

Як показали дослідження, міцність з'єднувальних елементів має значний вплив на втрату стійкості конструкції. Оскільки внаслідок тривалої експлуатації саме такі елементи зазнають значного впливу корозії, тому доцільно встановити залежність величини критичного навантаження втрати стійкості ротонди від товщини пластин. При розрахунку товщину усіх пластин одночасно зменшували від 1см до 0.1см моделюючи таким чином зменшення несучої здатності пластин внаслідок корозії. Розрахунок проведено двома методами: методом скінченних елементів (МСЕ) та методом криволінійних сіток (МКС).

Використовуючи методику та програмний комплекс, розроблені для дослідження тонкостінних оболонкових конструкцій типу гіперболічного параболоїда та однопорожнинного гіперboloїда за допомогою методу криволінійних сіток отримуємо дані, які показані на графіку (див. рис. 3) кривою МКС.



Рис. 1. Загальний вигляд даху літнього театру в парку культури та відпочинку ім. Лесі Українки у м. Луцьку

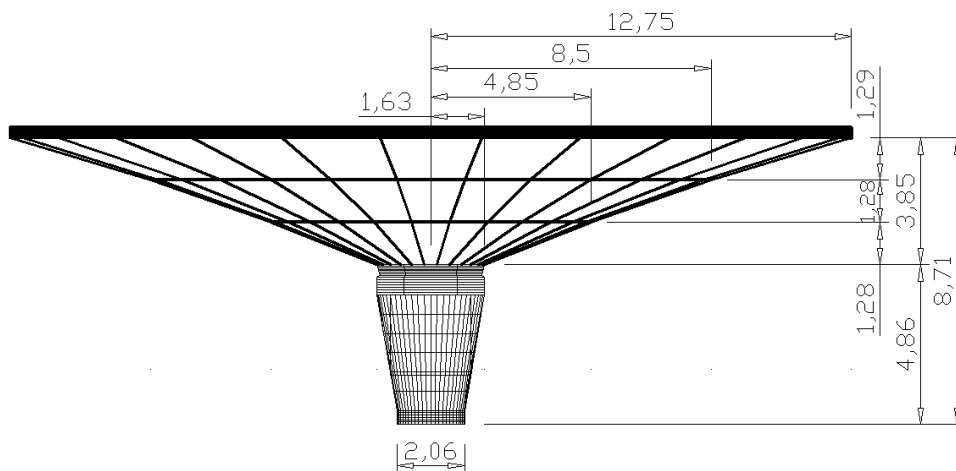


Рис. 2. Основні розміри ротонди . Вигляд збоку

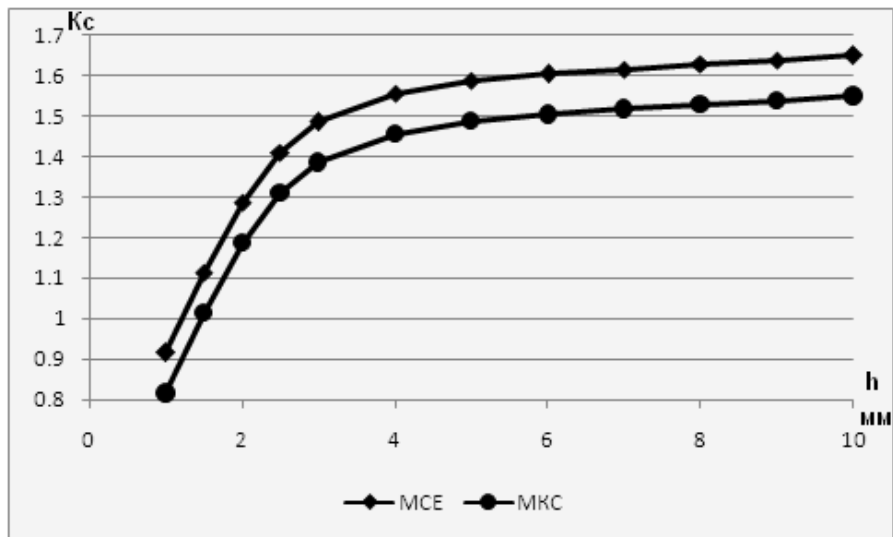


Рис. 3. Графік залежності критичного навантаження втрати стійкості від товщини з'єднувальної пластини.

За допомогою програмного комплексу NASTRAN-4 таке дослідження проведене методом скінченних елементів. Отримані дані показані на графіку (див. рис. 3) кривою MCE. Де K_c це коефіцієнт, що показує у скільки разів потрібно збільшити задане навантаження, щоб конструкція втратила стійкість, а h - товщина пластини.

З графіка видно, що конструкція може втратити стійкість лише у випадку зменшення товщини усіх з'єднувальних пластин до 0.1 см. Форма втрати стійкості показана на рис. 4.

Частіше руйнування конструкцій відбувається через руйнування одного або декількох елементів. Розрахунок показав, що конструкція втрачає стійкість ($K_c=0,8826$) при руйнуванні хоча б одного з'єднувального елемента розміщеного на рівні верхнього поперечного ребра (див. рис. 5). В той час всі інші пластини мали товщину 1 см. При руйнуванні двох з'єднувальних елементів розмішених на рівні верхнього та другого поперечного ребра конструкція втрачає стійкість ($K_c=0,618$) при товщині інших пластин 1 см (див. рис. 6). Втрата стійкості ($K_c=0,991$) при руйнуванні двох пластин на рівні другого та третього поперечних ребер можлива при товщині інших пластин 0.3 см (див. рис. 7).

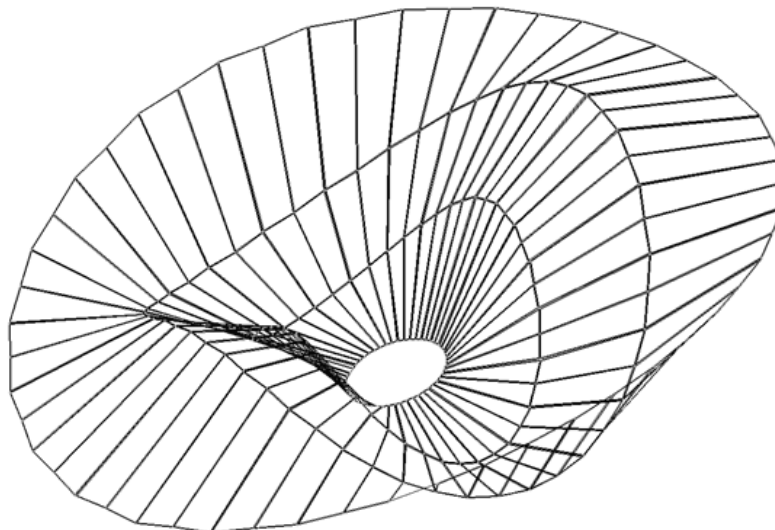


Рис.4. Форма втрати стійкості ротонди при одночасному зменшенні товщини усіх пластин

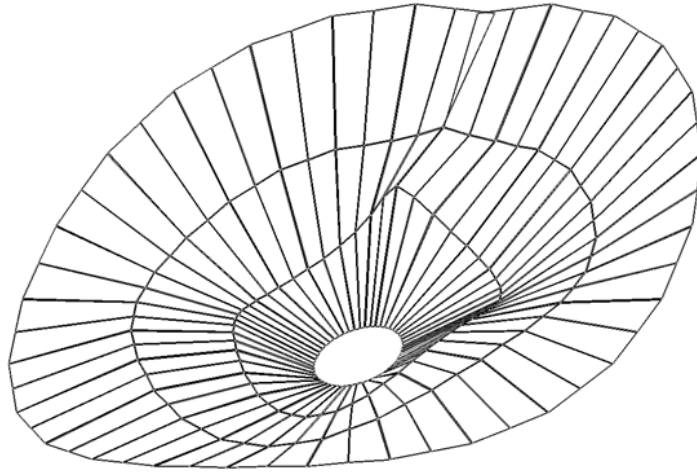


Рис. 5. Форма втрати стійкості ротонди при руйнуванні з'єднувального елемента розміщеного на рівні верхнього поперечного ребра

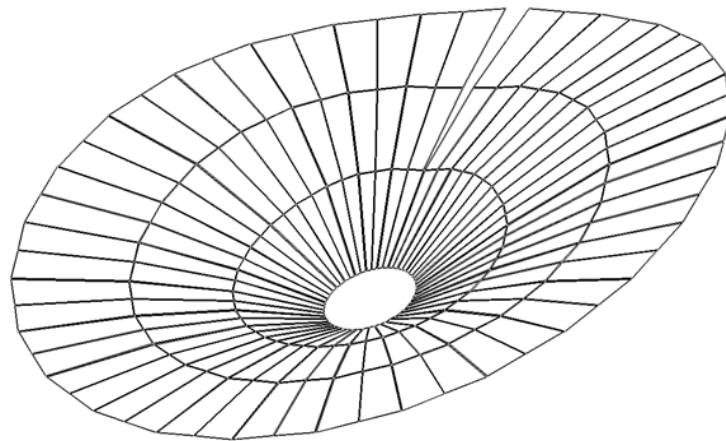


Рис. 6. Форма втрати стійкості ротонди при руйнуванні двох з'єднувальних елементів розміщених на рівні верхнього та другого поперечного ребра

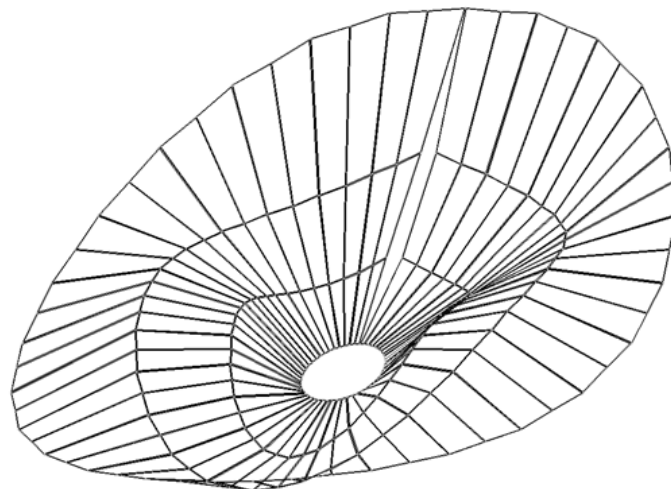


Рис. 7. Форма втрати стійкості ротонди при руйнуванні двох пластин на рівні другого та третього поперечного ребра.

Розрахунок обома методами дав близькі значення, що підтверджує вірність використаної методики МКС. Згідно МКС критичне навантаження втрати стійкості менше на 6,25% від відповідного значення отриманого МСЕ. Це можна пояснити наявністю жорстких зсувів, які краще враховуються МКС. Отже, для конструкцій такого класу доцільніше застосування МКС як більш точного.

1. Гоцуляк Е.А. Ермишев В.Н. Нелинейный анализ устойчивости оболочек на основе трансформации собственных векторов и значений линеаризованного оператора. – Сб. Сопротивление материалов и теория сооружений. Вып.54,-Киев: Будівельник, 1989. – С. 34.
2. Гоцуляк Е.А. О сеточной дискретизации векторных соотношений теории оболочек в криволинейной системе координат. – Прикладная механика: Междунар. научн. журнал. – 2001. – Т.37. - №6. – С. 89-94.
3. Гуляев В.И., Баженов В.А., Гоцуляк Е.А., Гайдачук В.В.: Расчет оболочек сложной формы. – К.: Будівельник, 1990. – 192с.
4. Муштари Х.М., Галимов К.З.: Нелинейная теория оболочек. – Казань: Таткнигоиздат., 1957 – 432 с.
5. Самольянов И.И. Прочность, устойчивость и колебание гиперболического параболоида. Луцк. ЛИИ. 1992 – 318с.