

**КРИТЕРІЇ РОЗРАХУНКУ СТІЙКОСТІ СІТЧАСТИХ ОБОЛОНОК ПОКРИТТІВ**

О. І. Сіянов, С. П. Берчак

**CRITERIA FOR THE CALCULATION OF STABILITY MESH SHELLS COVERINGS**

O. Siyanov, S. Berchak

*Запропоновано параметричний підхід до розрахунку стійкості сітчастої оболонки покриття з кільцевими горизонтальними елементами і V-подібними чарунками. Розглянуто уразливу ділянку просторової конструкції в умовах поетапного прикладання радіального навантаження. Проаналізовано залежність прогинів і горизонтальних переміщень вузлів від згинальної жорсткості частини оболонки та її сітчастої поверхні. Виявлено обставини виникнення небезпечного критичного навантаження і наслідки великих переміщень вузлів покриття. Досліджено вплив ступеня заповнення сітки на зміну мембранної жорсткості та чутливість оболонки до втрати стійкості.*

*Предложен параметрический подход к расчету устойчивости сетчатой оболочки покрытия с кольцевыми горизонтальными элементами и V-подобными ячейками. Рассмотрен уязвимый участок пространственной конструкции в условиях поэтапного приложения радиальной нагрузки. Проанализирована зависимость прогибов и горизонтальных перемещений узлов от изгибной жесткости части оболочки и ее сетчатой поверхности. Выявлены обстоятельства возникновения опасной критической нагрузки и последствия больших перемещений узлов покрытия. Исследовано влияние степени заполнения сетки на изменение мембранной жесткости и чувствительность оболочки к потере устойчивости.*

*The self-reactance going is offered near the calculation of stability of the reticulated shell of covering with circular horizontal elements and V-similar cells. The vulnerable area of spatial construction is considered in the conditions of stage-by-stage appendix of the radial loading. Dependence of bendings and horizontal moving of knots is analyzed from flexural inflexibility of part of shell and her reticulated surface. The circumstances of origin of the dangerous critical loading and consequence of the large moving of knots of covering are educed. Influence of degree of filling of net is investigational on the change of membrane inflexibility and sensitiveness of shell to the loss of stability.*

**Проблемні питання, аналіз публікацій і задачі**

Сучасні сітчасті оболонки покриття перекивають великі прогони і характеризуються істотною економією матеріалів. Однак такі конструкції при певних співвідношеннях геометричних параметрів мають нестійкі ділянки [1-5, 7], що потребує уточнення розрахункових моделей і методик [6].

У попередні роки проведений значний обсяг теоретичних досліджень з визначення величини критичного навантаження в залежності від розмірів конструкцій [1-5, 7, 8]. Більшість із них ґрунтувалось на заміні сітчастої оболонки її суцільним аналогом. Суть полягала в тому, щоб розглянути характер роботи однорідного ізотропного покриття під дією нормального навантаження. Але оскільки відсутні належні експериментальні результати, потрібно здійснити аналіз місцевої втрати стійкості сітчастих оболонок покриттів.

**Мета роботи**

Метою роботи є побудова методики визначення параметрів стійкості оболонки покриття з кільцевими горизонтальними елементами і V-подібними чарунками, а також дослідження впливу ступеня заповнення сітки на зміну мембранної жорсткості та чутливість конструкції покриття до втрати стійкості.

### Параметричний підхід до розрахунку стійкості

Розглянемо ділянку, яка знаходиться в умовах рівномірного радіального стиску під дією однакових сил, прикладених у вузлах за винятком центрального вузла, в якому навантаження зменшує стрілу підйому уразливої ділянки.

Навантаження подамо як функцію прогину центрального вузла від різних силових впливів на сітку.

Розрахунок будемо вести з урахуванням поетапного прикладання навантажень. Спочатку до всіх вузлів прикладемо рівномірне радіальне навантаження  $F$ , що приведе до горизонтального переміщення  $\delta_{(1)}$  вузлів і подовження  $\Delta l_{(1)}$  елементів. Потім до центрального вузла прикладемо радіальне навантаження, яке викличе деформації  $\delta_{(2)}$  і  $\Delta l_{(2)}$ .

Тоді зміни положення вузлів і довжини елементів набудуть вигляду

$$\delta = \delta_{(1)} + \delta_{(2)}; \Delta l = \Delta l_{(1)} + \Delta l_{(2)}. \quad (1)$$

Перший етап прикладання навантаження подамо рівністю

$$\delta_{(1)} = \Delta l_{(1)}. \quad (2)$$

Наступний етап силового тиску проаналізуємо шляхом розгляду рівноваги вузлів уразливої ділянки покриття на однаковій відстані від центрального вузла. Як наслідок запишемо умову

$$K\delta_{(2)} = -\Delta l_{(2)}, \quad (3)$$

де  $K$  – відносна жорсткість кільця і сітки навколо нього під дією прикладеного радіального навантаження (рис. 1, а).

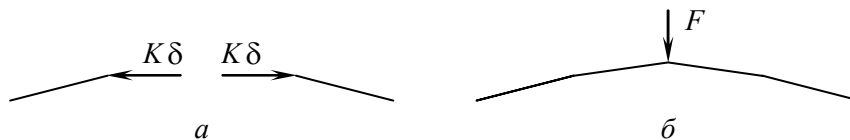


Рис. 1. До визначення жорсткості сітки навколо центрального вузла

Тут слід відмітити, що введена жорсткість  $K$  практично не залежить від згинальної жорсткості оболонки. Для її визначення потрібно розглянути прогини уразливої ділянки покриття від дії радіального навантаження (рис. 1, б).

Крім того, зауважимо, що значення згинальної жорсткості виділеної частини конструкції лише опосередковано залежить від просторової жорсткості оболонки. Її можна визначити із аналізу плоскої трикутної сітки, яка спирається на пружні опори у вузлах.

Але якщо знехтувати переміщеннями всіх вузлів, які знаходяться на відстані, що перевищує трикратну довжину елемента від центрального вузла, а також повністю знехтувати жорсткістю на кручення, то задача зведеться до визначення жорсткості при невідомих переміщеннях шести вузлів.

Знайдена таким чином згинальна жорсткість виділеної частини покриття повинна бути зменшена для того, щоб врахувати наявність осьового зусилля в кожному елементі оболонки.

Вплив жорсткості окремої ділянки еквівалентний одночасному перевищенню величинами навантажень тих значень, які відповідають умові порушення стійкості конструкції з шарнірними вузлами.

Найбільш небезпечним є критичне навантаження, яке буде відносно невеликим тоді, коли існуватиме зона від'ємного тиску при незначній згинальній жорсткості оболонки. Указаний факт призводить до великих переміщень вузлів та істотної зміни форми покриття.

Разом з тим окрім згинальної жорсткості конструкції слід врахувати також і мембранну (тангенціальну) жорсткість сітчастої поверхні.

За даними проведених розрахунків виявлені істотні відхилення точності отриманих результатів у випадку врахування однієї і неврахування іншої жорсткості конструкції.

Найбільш наочні закономірності проявились за умови зміни відстаней між вузлами. Зокрема зменшення ступеня заповнення сітки призвело до зменшення мембранної жорсткості оболонки і підвищення чутливості конструкції до втрати стійкості.

На рис. 2 наведені графіки залежності густини сітчастої поверхні від параметрів жорсткості і величини критичного навантаження оболонки покриття з кільцевими горизонтальними елементами і V-подібними чарунками.

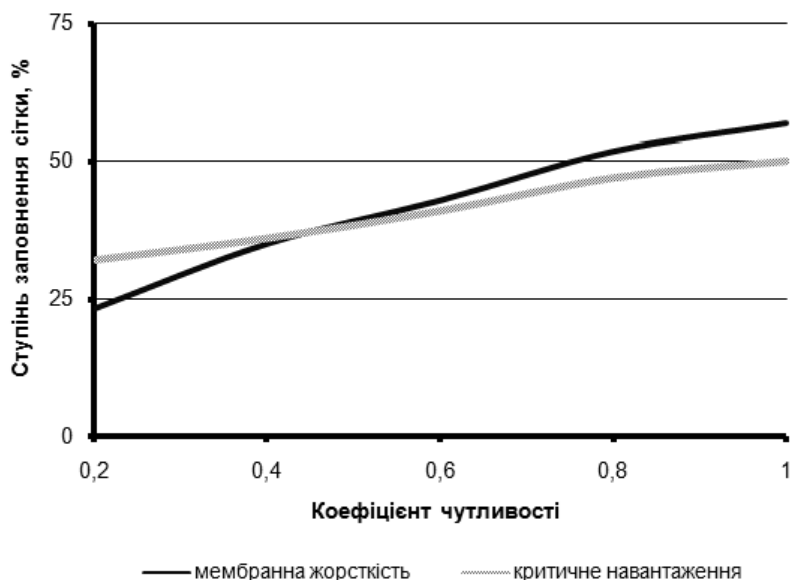


Рис. 2. Вплив ступеня заповнення сітки на зміну мембранної жорсткості та чутливість до втрати стійкості сітчастої оболонки покриття з кільцевими горизонтальними елементами і V-подібними чарунками

В подальшому визначались деформації  $\delta_{(0)}$ , з якими пов'язана зміна зусиль в елементах сітки, що викликало ряд вторинних переміщень першого порядку  $\delta_{(1)}$ . Вони в свою чергу спричиняли зміну внутрішніх зусиль, на підставі яких знаходились вторинні переміщення другого порядку  $\delta_{(2)}$  і т. д.

Навантаження, яке викликало істотне викривлення сітчастої поверхні, було критичним, для якого нескінченний ряд

$$\delta_{(0)} + \delta_{(1)} + \delta_{(2)} + \dots \quad (4)$$

переставав сходиться.

Шляхом реалізації ітераційного процесу здійснювалося розв'язування несиметричної лінійної задачі з власними значеннями.

Як правило, виконувалось лише кілька циклів ітерації. Критерій збіжності в такому випадку легко знаходився.

### Висновки

- Запропоновано параметричний підхід до розрахунку стійкості сітчастої оболонки покриття з кільцевими горизонтальними елементами і V-подібними чарунками.
- Розглянуто уразливу ділянку просторової конструкції в умовах поетапного прикладання радіального навантаження.
- Проаналізовано залежність прогинів і горизонтальних переміщень вузлів від згинальної жорсткості частини оболонки та її сітчастої поверхні.

- Встановлено визначальні параметри і виявлено обставини виникнення небезпечного критичного навантаження та наслідки великих переміщень вузлів покриття.
- Досліджено вплив ступеня заповнення сітки на зміну мембранної жорсткості та чутливість оболонки до втрати стійкості.

#### **Використана література**

1. Райт Д. Т. Большие сетчатые оболочки / Д. Т. Райт. – Л. : Стройиздат, 1966. – 11 с.
2. Руководство по проектированию и расчету покрытий нового типа – сетчатых оболочек [сост. Л. Лубо, науч. ред. С. Верижников, ред. Э. Любченко] / ЛенЗНИИЭП. – Л., 1971. – 63 с.
3. Лебедев В. А. Сетчатые оболочки в гражданском строительстве на севере / В. А. Лебедев, Л. Н. Лубо. – Л. : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. – 136 с.
4. Трущев А. Г. Пространственные металлические конструкции : [учеб. пособие для вузов] / А. Г. Трущев. – М. : Стройиздат, 1983. – 215 с.
5. Свердлов В. Д. Проблема стійкості одношарових циліндричних стержневих покриттів / В. Д. Свердлов, О. І. Сіянов, О. Д. Бойчук // Современные строительные конструкции из металла и древесины : сб. науч. трудов. – Одесса : ОГАСА, 1999. – С. 169-174.
6. Перельмутер А. В. Расчетные модели сооружений и возможность их анализа / А. В. Перельмутер, В. И. Сливкер. – Киев : Сталь, 2002. – 597 с.
7. Гоцуляк Є. О. Загальна стійкість одношарових циліндричних стержневих покриттів / Є. О. Гоцуляк, О. І. Сіянов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2002. – № 1. – С. 13–18.
8. Сіянов О. І. Визначення критичного навантаження циліндричних сітчастих оболонок покриття / О. І. Сіянов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – № 1. – С. 11-15.

**Сіянов Олександр Ілліч** – к.т.н., доцент кафедри промислового та цивільного будівництва Вінницького національного технічного університету.

**Берчак Сергій Петрович** – студент Вінницького національного технічного університету.