

БУДІВЕЛЬНІ КОНСТРУКЦІЇ

УДК 624.074.5

МОДЕЛЮВАННЯ І РОЗРАХУНОК ОДНОШАРОВОГО ЦИЛІНДРИЧНОГО СТЕРЖНЕВОГО ПОКРИТТЯ З ГОРИЗОНТАЛЬНИМИ ФЕРМАМИ

О. І. Сіянов

Програмними засобами ЛІРА виконано моделювання і розрахунок одношарового циліндричного стержневого покриття з горизонтальними фермами. За рахунок підкріплюючих елементів зафіксовано незначне збільшення маси покриття, отримано простір для проводки інженерних комунікацій, досягнуто розвантаження значної кількості елементів та виявлено зменшення переміщень багатьох вузлів.

Програмными средствами ЛИРА выполнено моделирование и расчет однослойного цилиндрического стержневого покрытия с горизонтальными фермами. За счет подкрепляющих элементов зафиксировано незначительное увеличение массы покрытия, получено пространство для проводки инженерных коммуникаций, достигнута разгрузка значительного количества элементов и выявлено уменьшение перемещений многих узлов.

By programmatic facilities LIRA a design and calculation of the one layer cylindrical core covering is executed with horizontal farms. Due to supporting elements the insignificant increase of mass of covering is fixed, space for wiring of engineering communications is got, unloading of far of elements is attained and diminishing of moving of many knots is exposed.

Постановка задачі. Аналіз публікацій

З тих пір, як з'явилися сучасні прикладні програмні продукти [1-4], наділені великими функціональними можливостями, виникла і стала актуальною задача використання елементів підкріплення в роботі одношарового циліндричного стержневого покриття. Втім кожний автор, який пропонував так чи інакше підвищити несучу здатність просторової конструкції завдяки введенню підкріплюючих елементів, не перевіряв доцільність отриманого конструктивного рішення. Разом з тим, один з авторів надав реальні практичні рекомендації щодо використання підкріплюючих елементів у вигляді горизонтальних ферм, розташованих в опорних ділянках покриття [5]. Вважалось, що від введення таких ферм зменшаться зусилля в елементах та величина розповзання покриття. До того ж, зрозуміло, що між горизонтальними фермами і підвісками створюється простір, який може бути використаний для телефонних кабелів та інших інженерних комунікацій [6].

Формулювання мети роботи

Ясно, що тепер назріло нагальне питання перевірки запропонованого конструктивного рішення сучасними засобами розрахунку. Розроблені і успішно зарекомендували себе на практиці вітчизняні програмні продукти ЛІРА та SCAD. Кожний з них оснащений багатофункціональними модулями і здатний виконувати розрахунок, як простих, так і складних за геометрією конструкцій. Тому уявляється цілком можливим за допомогою будь-якої з означених програм здійснити моделювання і розрахунок одношарового циліндричного стержневого покриття з горизонтальними фермами та за отриманими результатами параметрів напружено-деформованого стану виконати аналіз використання таких ферм в роботі покриття.

Особливості влаштування елементів підкріплення покриття

Беручи до уваги доцільність раніше обґрунтованого конструктивного рішення [7] з прийнятними співвідношеннями геометричних параметрів, матеріалом та умовами закріплення, вирішено ввести до складу покриття дві горизонтальні ферми, кожна з яких містила єдине ребро з нижньою опорною гранню та за допомогою підвісок, закріплених у вузлах послідовно через дві панелі ферм на протилежному ребрі, жорстко з'єднувалась з конструкцією покриття. Кількість підвісок, які забезпечували створення простору для проводки, прийнято 6, тобто по 3

на одну горизонтальну ферму. Елементи підкріплення передбачалось виготовляти з того ж самого матеріалу та профілю, що і покриття.

Моделювання і розрахунок покриття

Використовувалась програма ЛІРА, яка дозволяла швидко виконати побудову скінченно-елементної моделі та здійснити розрахунок підкріпленого покриття.

Циліндрична стержнева форма просторової конструкції утворювалась шляхом вибору потрібної поверхні обертання, встановлення перемикача в позицію стержня та прямокутного типу решітки з елементом, який поділяє чарункову область на два однакових трикутники. Задавались відповідні параметри та виконувались геометричні перетворення, в результаті чого на екран виводилась потрібна циліндрична сітка. За замовчуванням кожному стержню надавався 10-тий універсальний просторовий стержневий тип скінченного елемента.

Горизонтальні ферми з підвісками влаштовувались в опорних ділянках та приєднувались до нижніх граней покриття.

Умови обпирання, характеристики жорсткості та навантаження для циліндричної стержневої конструкції призначались згідно з раніше визначеними вихідними даними [7].

Отримана скінченно-елементна модель покриття з елементами підкріплення та прикладеними навантаженнями показана на рис. 1.

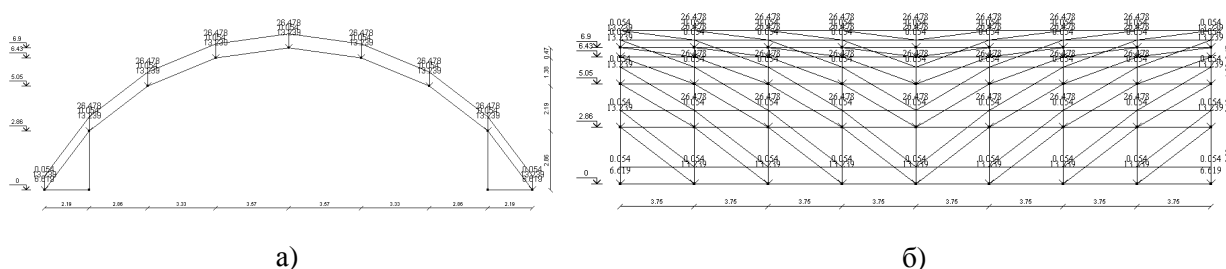


Рис. 1. Візуалізація програмними засобами ЛІРА навантаженої скінченно-елементної моделі одношарового циліндричного стержневого покриття, підкріпленого горизонтальними фермами: а) вигляд з торця; б) вигляд збоку

Результати розрахунку покриття

Виконавши розрахунок за програмою ЛІРА, визначались параметри напружено-деформованого стану покриття. Прийнятна наочність отриманих даних забезпечувалась шляхом виведення на екран кольорових мозаїк зусиль та переміщень. За результатами розрахунку аналізувались особливості роботи покриття та виявлялись небезпечні ділянки, які характеризувались максимальними показниками. Аналіз використання горизонтальних ферм здійснювався порівнянням отриманих закономірностей підкріпленого та невідкріпленого [7] покриття.

Проведений розрахунок показав, що максимальні значення осьових сил (далі зусиль) зафіксовані в розтягнутих поздовжніх опорних елементах середньої ділянки двох нижніх граней покриття. Концентрація найбільш стиснутих та розтягнутих елементів виявлена в кутових ділянках покриття. Торцеві верхні суміжні елементи працювали на розтяг, нижні – на стиск. В поздовжньому та поперечному напрямках переважна більшість елементів серединної поверхні виявилась стиснутою. Ділянки, найбільш віддалені від центрального вузла, показали максимальні значення зусиль стиску, які спостерігались в поперечних елементах двох протилежних граней, кожна з яких прилягала до нижньої грані покриття. Діагональні елементи, за винятком центральних, які розташовувались в ділянці гребеня, працювали на розтяг.

В горизонтальних фермах знаки зусиль розподілились таким чином. Поздовжні елементи, які належали до опорного ребра працювали на розтяг, інші – на стиск. Поперечні елементи, за винятком центрального, виявились стиснутими, проте діагональні елементи, навпаки – розтягнутими.

Порівняння параметрів силового стану підкріпленого та невідкріпленого покриття показало вибіркочку змінність знака зусиль в окремих елементах. По-іншому розподілялись їх числові значення. Використання горизонтальних ферм в одних місцях зменшило, а в інших збільшило

зусилля в елементах. Так за численними позиціями розташування у просторі уразливі ділянки підкріпленого покриття порівняно з непідкріпленим показали зменшення до 15 % найбільших зусиль в елементах. Збільшився лише на 10 % максимальний силовий параметр в поздовжніх контурних елементах. Проте узагальнений результат, поданий на рис. 2 виявився не зовсім втішним. До того ж підкріплення покриття викликало: 1) появу мінімального зусилля розтягу (+0,21 т) в центральному поперечному елементі кожної з двох горизонтальних ферм; 2) в серединній поверхні

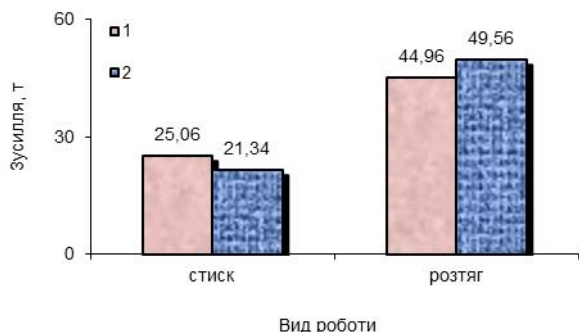


Рис. 2. Максимальні зусилля в елементах:
1 – непідкріпленого покриття;
2 – покриття з горизонтальними фермами

з'явилося чотири мінімально розтягнутих (+0,35 т) поздовжніх елементи; 3) на мінімальну величину збільшилось (з -0,47 т до -0,62 т) зусилля стиску в чотирьох центральних діагональних елементах. Зрозуміло, що така перебудова силових параметрів виявилась результатом збільшення характеристик жорсткості просторової конструкції.

Однак загальний стан покриття передбачав визначення не тільки зусиль в елементах, а ще й переміщень вузлів. Саме отримання значень останнього з указаних параметрів дозволило виявити уразливі, з точки зору деформування, ділянки покриття. Зокрема найбільші горизонтальні переміщення вузлів, у тому числі максимальні, зафіксовані в опорних

ребрах нижніх граней в середині довжини покриття. В решті ребер просторової конструкції виявлені менші відхилення вузлів по горизонталі. Втім зрозуміло, що зміна форми покриття визначалась як за горизонтальними, так і за вертикальними переміщеннями вузлів. Як виявилось найбільш небезпечними максимальними відхиленнями у вертикальному напрямку характеризувались вузли нижніх ребер в гранях, суміжних з гранями ділянки гребеня. Крім того, досить великими виявились відхилення центрального вузла і ряду вузлів інших ребер покриття.

Використання горизонтальних ферм не справило істотного впливу на загальний характер переміщень вузлів. Змінились лише числові значення параметрів деформування. Зокрема в одних місцях зафіксовано зменшення, а в інших – збільшення відхилень вузлів. Причому центральний вузол верхнього ребра нижньої грані покриття майже зайняв своє попереднє положення, отримавши зворотнє переміщення в напрямку горизонталі. Взагалі, як і очікувалось, від введення горизонтальних ферм досягнуто істотне зменшення переміщень переважної більшості вузлів. Не менш показовими в даному випадку виявились розташовані за численними позиціями у просторі максимальні вузлові відхилення. Порівняно з непідкріпленою конструкцією вони зменшились на 17...37 %. І тільки, як виняток, виявлено слабе збільшення переміщень значної кількості вузлів за напрямком довгої сторони покриття. Серед них найбільший параметр деформування зріс на 10 %. Наведена на рис. 3 різниця між максимальними переміщеннями вузлів обох конструкцій показала позитивний вплив горизонтальних ферм на результат зміни форми покриття.

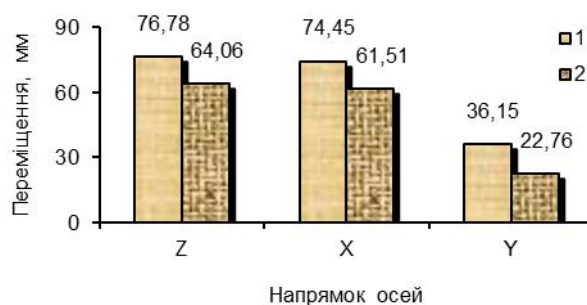


Рис. 3. Максимальні переміщення вузлів:
1 – непідкріпленого покриття;
2 – покриття з горизонтальними фермами

Разом з тим, остаточне рішення про необхідність використання запропонованого варіанта підкріплення приймалось шляхом визначення матеріальних витрат. Розрахунок виконувався програмними засобами ЛІРА та MS Office за чітко встановленим алгоритмом (рис. 4) [7]. Основні дії виконувались в ЛІРА-СТК та MS Excel, за допомогою яких для кожного елемента визначався ряд параметрів та розраховувалась маса покриття.

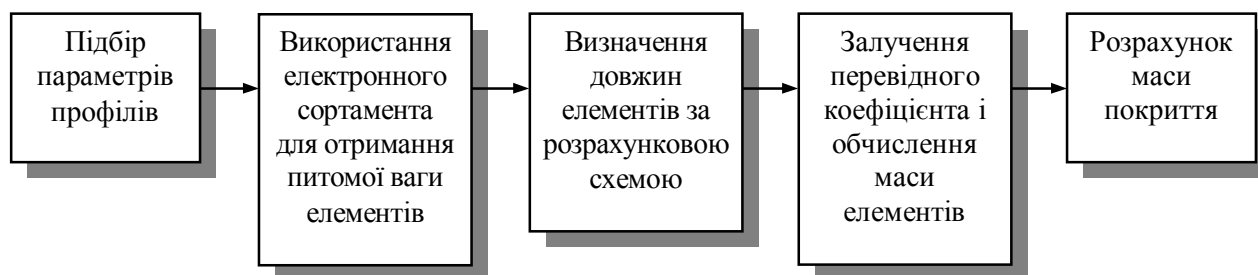


Рис. 4. Схема визначення маси покриття, підкріпленого горизонтальними фермами

Порівняння підсумкового значення з визначеним раніше [7] показало, що, завдяки використанню горизонтальних ферм, маса просторової конструкції зросла на 8 %. Зусилля в більшості елементів хоча й зменшились, однак не призвели до зниження матеріальних витрат. Таким чином підкріплена у даний спосіб конструкція за масою виявилась нераціональною.

Висновки

- Програмними засобами ЛИРА виконано моделювання і розрахунок одношарового циліндричного стержневого покриття з горизонтальними фермами. Із результатів розрахунку за наочними схемами візуалізації зусиль в елементах та переміщень вузлів встановлені закономірності роботи та виявлені небезпечні ділянки покриття.
- Від введення засобів підкріплення у вигляді горизонтальних ферм зафіксовано незначне збільшення маси покриття, отримано простір для проведення інженерних комунікацій, досягнуто розвантаження значної кількості елементів та виявлено зменшення переміщень багатьох вузлів.

Використана література

1. Барабаш М. С. ЛИРА 9.2. Примеры расчета и проектирования / М. С. Барабаш, Ю. В. Гензерский, Д. В. Марченко, В. П. Титок: учеб. пособие. – К. : Изд-во “Факт”, 2005. – 106 с.
2. Вычислительный комплекс SCAD / [В. С. Карпиловский, Э. З. Криксунов, А. А. Маляренко, и др.]. – М.: Издательство “СКАД СОФТ”, 2009. – 656 с. – ISBN 978-5-903683-07-9.
3. Шимкович Д. Г. Расчет конструкций в MSC.visual Nastran for Windows. / Шимкович Д. Г. – М. : ДМК Пресс, 2004. – 704 с. – ISBN 5-94074-238-6.
4. Каплун А. Б. ANSYS в руках инженера / Каплун А. Б., Морозов Е. М., Олферьева М. А. : практ. руководство. – М. : Едитореал УРСС, 2003. – 159 с.
5. Свердлов Владимир Деонисович. Исследование пространственных цилиндрических стержневых систем покрытий: дис. ... канд. техн. наук 05.23.01 / Свердлов Владимир Деонисович. – Киев, 1977. – 174 с. – Библиогр.: С. 153–161.
6. Сіянов О. І. Стан справ в сфері розробки просторових легких металевих конструкцій та пропозиції по удосконаленню одношарових циліндричних стержневих покриттів / О. І. Сіянов, А. В. Козловський // Матеріали Першої Міжнародної науково-практичної конференції “Науковий потенціал світу ‘2004’”. – Том 57. Будівництво та архітектура. – Дніпропетровськ: Наука і освіта, 2004. – С. 42–46.
7. Сіянов О. І. Оцінка ефективності використання аналітичного методу розрахунку і програмного комплексу “ЛИРА” для металевих циліндричних стержневих покриттів / О. І. Сіянов // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2010. – № 1. – С. 13 – 20.

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