

УДК 624.074.5

О. І. Сіянов, канд. техн. наук, доц.

ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ АНАЛІТИЧНОГО МЕТОДУ РОЗРАХУНКУ І ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ «ЛИРА» ДЛЯ МЕТАЛЕВОГО ЦИЛІНДРИЧНОГО СТЕРЖНЕВОГО ПОКРИТТЯ

За результатами розрахунку параметрів напружено-деформованого стану та маси металевого циліндричного стержневого покриття здійснено оцінку ефективності використання аналітичного методу розрахунку і програмного комплексу «ЛИРА». Виявлено придатність процесу розкладання на плоскі грані для швидкого визначення попередніх результатів. Встановлено доцільність даних, отриманих від комп'ютерного моделювання.

Вступ

Раніше розрахунок металевих циліндричних стержневих покриттів виконувався за допомогою досить вдало розроблених аналітичних методів [1—9]. Нині більшість розрахункових операцій можна довірити багатофункціональним прикладним комп'ютерним програмам [10—13]. Так в сучасних умовах легко і в найкоротші терміни створюється просторова багатоелементна модель з заданим експлуатаційним навантаженням, вказуються потрібні умови закріплення, призначаються прийнятні параметри жорсткості. На підставі введених даних виконується розрахунок за програмою та виводяться на екран монітора комп'ютера отримані результати. Втім при варіантному проектуванні іноді швидше використати одну чи декілька отриманих формул [14] без використання комп'ютерної програми. Зокрема під час визначення параметрів напружено-деформованого стану або розрахунку маси металевого циліндричного стержневого покриття. Тому в статті на конкретному прикладі просторової конструкції проведено оцінювання ефективності двох відомих методів розрахунку.

Обґрунтування конструктивного рішення

Виконавши аналіз можливих конструктивних форм металевих циліндричних стержневих покриттів, прийнято рішення розглянути найбільш характерну конструкцію покриття (рис. 1) з поздовжніми і поперечними ребрами та низхідними розкосами з розміром $B \times L = 24 \times 30$ м, висотою $f = 6,93$ м, кутом описаного кола $\alpha = 120^\circ$. Кількість панелей n уздовж твірної та кількість граней m за напрямком дуги кола становить 8 [14]. Циліндрична поверхня утворювалась із 208 елементів та 81 вузла. Кут нахилу розкосів до поясів склав $\varphi = 43,97^\circ$. Співвідношення геометричних параметрів знаходились в межах рекомендацій [7], встановлених для проектування. Експлуатаційне навантаження взято із розрахунку 2 кН/м^2 [15]. Кількість вантажних площ для визначення зосереджених сил отримано з урахуванням інтенсивності дії рівномірно розподіленого навантаження на вузли. Матеріал для елементів — сталь класу С235, марки ВстЗпс. Кріплення покриття виконано в контурних вузлах. Один кут передбачав повністю заборонені переміщення, в інших трьох кутах дозволене переміщення за поздовжнім горизонтальним напрямком. Решта вузлів в місцях контакту з опорною поверхнею закріплені по вертикалі.

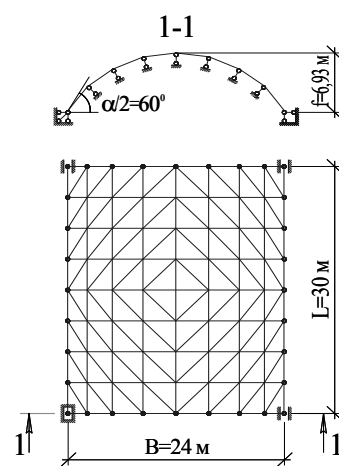


Рис. 1. Просторова конструкція покриття

Ефективність сформованого конструктивного рішення покриття оцінювалось розрахунком.

Аналітичний метод розрахунку

Першим використовувався метод розкладання на плоскі грані, за яким отримано формули для визначення параметрів напружено-деформованого стану (поздовжніх зусиль в елементах і переміщень у вузлах) та вираз для розрахунку маси покриття. Геометрія конструкції в даному випадку описувалась схемою розташування елементів в плані, кількістю панелей уздовж твірної і кількістю граней за напрямком дуги кола, розміром чарунки та кутом описаного кола покриття. Зусилля визначались для кожної окремої грані покриття в поясах, стояках і розкосах шляхом розкладання зосередженого вузлового навантаження на складові за напрямком розташування граней. Пояси, за винятком опорних, належали одночасно обом граням. Формули для визначення зусиль в елементах суміжних поясів відрізнялись, але відповідали однаковому результату. Зусилля в елементах визначались як функція навантажень і геометричних параметрів:

$$N_i = f(F_i, i, k, n, m, \alpha, \beta, \phi), \quad (1)$$

де F_i — зосереджені вузлові навантаження; i, k — індекси, що вказують на розташування вузла за напрямком дуги кола та уздовж твірної відповідно; n — кількість панелей уздовж твірної; m — кількість граней за напрямком дуги кола; α — кут описаного кола покриття; $\beta = \alpha/2m$; ϕ — кут нахилу розкосів до поясів.

Враховуючи те, що на першу грань покриття діє зосереджене вузлове навантаження $F_{k(k-1)}$, визначались зусилля [14]:

— для нижнього поясу

$$N_{1i,1(i+1)} = \frac{1}{2} F_{k(k-1)} (i-1)(n-i+1) \operatorname{ctg} \phi; \quad (2)$$

— для верхнього поясу

$$N_{2i,2(i+1)} = -\frac{1}{2} F_{k(k-1)} i(n-i) \operatorname{ctg} \phi; \quad (3)$$

— для розкосів

$$N_{1(i+1),2i} = \frac{F_{k(k-1)}}{2 \sin \phi} (n-2i+1); \quad (4)$$

— для стояків

$$N_{1i,2i} = -\frac{1}{2} F_{k(k-1)} (n-2i+3). \quad (5)$$

Формули для визначення зусиль в елементах інших граней записувались за аналогічним принципом.

На підставі отриманих формул зусиль в елементах, визначались вирази для визначення переміщень вузлів:

$$\Delta_{1F} = \sum \frac{N_i \bar{N}_i l_i}{EA_i}, \quad (6)$$

де N_i — зусилля від зосередженого навантаження F ; \bar{N}_i — зусилля від одиничного навантаження, яке прикладене у вузлі i для якого визначається прогин за вертикальним напрямком; l_i — довжини елементів, E — модуль пружності матеріалу елементів, A_i — площа поперечного перерізу елементів.

Після виконання перетворень, формувались вирази для визначення переміщень вузлів [14]:

— вертикальних

$$\Delta_{k_j z} = \frac{R_y l}{E \sin 2\phi \sin 2\beta} \left\{ \left[2(2j-1) + (j-3)j \cos^2 \phi \right] \cos(m-2k+1)\beta - (j-1) \left[4 + (j-2) \cos^2 \phi \right] \cos(m-2k+3)\beta \right\}, \quad (7)$$

— горизонтальних

$$\Delta_{k_j y} = \frac{R_y l}{E \sin 2\phi \sin 2\beta} \left\{ \left[2(2j-1) + (j-3)j \cos^2 \phi \right] \sin(m-2k+1)\beta - (j-1) \left[4 + (j-2) \cos^2 \phi \right] \sin(m-2k+3)\beta \right\}. \quad (8)$$

Маса покриття визначалась як функція зусиль, геометричних та фізичних параметрів

$$G = \frac{\sum N_i l_i \rho}{R_y}, \quad (9)$$

де ρ , R_y — об'ємна вага і розрахунковий опір матеріалу, відповідно.

Враховувались три напрямки розташування елементів (для поясів, стояків і розкосів) плоских граней.

Суми зусиль відповідних елементів множились на їх довжини і виконувалось їх підсумовування. Отримані вирази підставлялись у формулу (9). Після перетворень формувався вираз для визначення теоретичної маси покриття [14]:

$$G_T = \frac{Fl\rho}{R_y \sin 2\phi \sin 2\beta} \left\{ 4n \left[n + (m-1) \sin^2 \phi \right] \cos \beta - \left[2n^2 + 4(n-1) \sin^2 \phi \right] \cos(m-1)\beta + \frac{1}{3} n \left[n(2n-3) - 2 \right] \cos^2 \phi \cos(m-3)\beta - 4 \sin^2 \phi \sum_{k=1}^{m-4} (n-k-1) \cos(m-2k-1)\beta \right\}, \quad (10)$$

а з введенням конструктивних коефіцієнтів, які враховували витрати на вузли, поздовжній згин окремих елементів та не повне використання напружень при підборі перерізів, застосовувалась розрахункова формула маси просторової конструкції [14]:

$$G_P = \frac{Fl\rho}{R_y \sin 2\phi \sin 2\beta} \left\{ \left[6,72n^2 + 7,76n(m-1) \sin^2 \phi \right] \cos \beta - \left[3,36n^2 + 7,76(n-1) \times \sin^2 \phi \right] \cos(m-1)\beta + 0,54n(2n^2 - 3n - 2) \cos^2 \phi \cos(m-3)\beta - 7,76 \times \sin^2 \phi \sum_{k=1}^{m-4} (n-k-1) \cos(m-2k-1)\beta \right\}. \quad (11)$$

Як бачимо, формули (10), (11) маси покриття не передбачали розрахунок перерізів елементів і вузлів, що обмежувало кількість розрахункових операцій.

Метод розрахунку з використанням програмного комплексу «ЛИРА»

Інший розрахунок покриття виконаний за допомогою зручної у використанні прикладної комп'ютерної програми ПК «ЛИРА» [10], яка дозволяла надати наочні схеми візуалізації вхідних даних та результатів розрахунку.

Основну складність в цьому методі розрахунку скла-

Завантаження 1

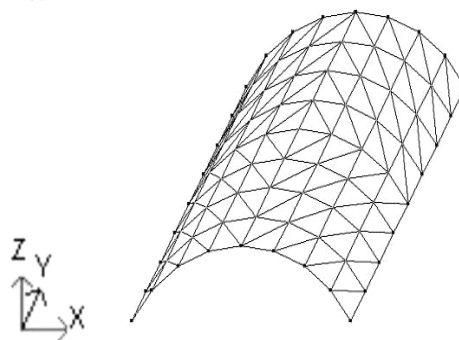


Рис. 2. Візуалізація комп'ютерної моделі покриття програмними засобами ПК «ЛИРА»

дало формування відповідної скінчено елементної моделі (рис. 2), підставою для якої слугувала задана геометрія покриття. Використовуючи поверхні обертання та вибравши тип чарунки для сіткової області, задавались геометричні та жорсткісні параметри просторової конструкції.

В місцях перетину стояків і розкосів з опорним поясом нижніх граней покриття накладались зв'язки, які передбачали заборону переміщень та кутів повороту з таким розрахунком, щоб забезпечувалась геометрична незмінність конструктивного рішення.

Для отримання зосереджених вузлових навантажень використовувалась раніше отримана величина рівномірно розподіленого експлуатаційного навантаження та визначались кількість і розмір вантажних площ. Навантаження від власної ваги кожного елемента враховувалось в автоматичному режимі. Його величина встановлювалась після попередньо прийнятої форми поперечного перерізу з відповідними параметрами жорсткості. Грунтуючись на досвіді використання профілів в просторових конструкціях, для елементів брались безшовні гарячекатані труби.

Розрахунок покриття виконувався в лінійній постановці з урахуванням розрахункових комбінацій зусиль. Наочність отриманих даних дозволила визначити параметри напружено-деформованого стану конструкції та проаналізувати найнебезпечніші зони покриття.

Результати розрахунку подані у вигляді стандартних та інтерактивних таблиць, деформованих схем, кольорових мозаїк зусиль та переміщень, епюр внутрішніх силових факторів.

Крім того, програмними засобами ПК «ЛІРА» здійснювалось отримання проектних результатів з виведенням на екран монітора комп'ютера та роздруківкою на папері готових робочих креслень. Зокрема, за допомогою ЛІРСтк виконувався підбір перерізів кожного елемента просторової конструкції, а шляхом завантаження підсистеми створення креслень ЛІРА-КМ [16] формувались відомості елементів, специфікація металопрокату та навантаження на фундаменти. Будь-яке корегування даних на кресленнях відображалось в таблицях отриманих результатів. Моделі конструкції та вузлів зі всіма елементами подавались у тривимірному вигляді, на плані або розрізі.

Оцінка параметрів напружено-деформованого стану та порівняння аналітичного методу розрахунку і методу з використанням програмного комплексу «ЛІРА»

Використовуючи формули для визначення параметрів напружено-деформованого стану (зусиль в елементах та переміщень у вузлах) і маси покриття та порівнюючи отримані дані із результатами розрахунку за допомогою ПК «ЛІРА», встановлювалась послідовність виконуваних дій, достовірність, точність та швидкість розрахунку.

Враховуючи симетричність покриття, за досліджувану область бралась чверть просторової конструкції, яка складалась із 25 вузлів та 56 елементів.

Значення зусиль в елементах визначались у напрямку поясів, стояків і розкосів для кожної грані покриття. Переміщення вузлів розраховувались за вертикальним і горизонтальним напрямком. Розрахунок виконувався за формулами і за допомогою програми ПК «ЛІРА» (табл. 1).

Таблиця 1

Параметри напружено-деформованого стану покриття за аналітичним методом розрахунку і з використанням ПК «ЛІРА»

Грань	Зусилля в елементах, т						Лінійні переміщення вузлів, мм			
	поясів		стояків		розкосів		вертикальні		горизонтальні*	
	формули	ПК «ЛІРА»	формули	ПК «ЛІРА»	формули	ПК «ЛІРА»	формули	ПК «ЛІРА»	формули	ПК «ЛІРА»
1			-6,27 ₃₇	-7,84 ₃₇			0,00 ₁₁	0,00 ₁₁	62,47 ₁₁	74,52 ₁₁
	36,18 ₁₁	44,97 ₁₁	-7,55 ₄₁	-9,32 ₄₁	4,23 ₂₁	5,25 ₂₁	0,00 ₆	0,00 ₆	59,01 ₆	70,96 ₆
	29,49 ₁₀	35,85 ₁₀	-12,33 ₄₅	-15,01 ₄₅	10,26 ₁₁	12,64 ₁₁	0,00 ₁₁	0,00 ₁₁	46,69 ₁₁	56,80 ₁₁
	16,73 ₁₉	20,80 ₁₉	-16,81 ₄₉	-20,25 ₄₉	17,04 ₂₀	20,84 ₂₀	0,00 ₁₆	0,00 ₁₆	26,52 ₁₆	32,51 ₁₆
	0,00 ₂₈	0,05 ₂₈	-18,75 ₅₃	-22,14 ₅₃	23,65 ₂₉	28,68 ₂₉	0,00 ₂₁	0,00 ₂₁	0,00 ₂₁	0,00 ₂₁
1, 2			-7,95 ₃₈	-9,30 ₃₈			-56,32 ₂₂	-66,57 ₂₂	-9,38 ₂₂	-11,22 ₂₂
	-5,62 ₃₃	-6,64 ₃₃	-9,51 ₄₂	-11,21 ₄₂	2,11 ₃₄	2,49 ₃₄	-56,85 ₇	-67,77 ₇	-13,41 ₇	-16,16 ₇
	-9,02 ₁₂	-10,70 ₁₂	-14,86 ₄₆	-17,63 ₄₆	9,13 ₃₃	10,83 ₃₃	-48,29 ₁₂	-58,39 ₁₂	-14,16 ₁₂	-17,34 ₁₂
	-13,10 ₂₁	-15,51 ₂₁	-19,28 ₅₀	-23,23 ₅₀	16,09 ₂₂	19,27 ₂₂	-34,45 ₁₇	-37,08 ₁₇	-10,72 ₁₇	-13,19 ₁₇
	-17,09 ₃₀	-20,66 ₃₀	-1,60 ₅₄	-1,95 ₅₄	23,10 ₃₁	27,97 ₃₁	0,00 ₂₂	0,00 ₂₂	10,42 ₂₂	12,79 ₂₂

Продовження табл. 1

Грань	Зусилля в елементах, т						Лінійні переміщення вузлів, мм			
	поясів		стояків		розкосів		вертикальні		горизонтальні*	
	формули	ПК «ЛИРА»	формули	ПК «ЛИРА»	формули	ПК «ЛИРА»	формули	ПК «ЛИРА»	формули	ПК «ЛИРА»
2, 3	-20,78	-22,05	-10,33	-11,01	2,07	2,18	-65,25	-76,85	-17,23	-18,18
	-22,97	-25,07	-11,80	-12,77	6,44	6,67	-62,94	-75,03	-19,35	-20,61
	-21,02	-24,53	-14,53	-15,82	8,59	10,13	-53,05	-63,92	-18,39	-19,83
	-17,29	-20,22	-14,46	-17,79	11,11	13,35	-38,51	-41,14	11,82	14,29
			11,97	14,88			0,00	0,00	13,28	15,95
3, 4	-17,06	-18,34	-9,22	-9,71	-0,44	-0,48	-35,28	-41,66	7,85	8,38
	-16,15	-17,48	-10,58	-11,24	0,92	0,99	-30,75	-36,72	9,23	9,89
	-12,01	-14,11	-11,03	-11,91	1,70	2,01	-23,48	-28,44	10,51	11,33
	-7,89	-9,64	-10,51	-12,80	3,33	3,96	-17,52	-18,80	10,29	12,50
			18,34	22,52			0,00	0,00	11,00	13,29
4	-9,12	-9,48	-9,22	-9,71	-0,44	-0,48	-23,10	-27,38	7,87	8,38
	-9,60	-10,11	-10,58	-11,24	0,92	0,99	-13,25	-15,87	8,54	9,16
	-7,16	-8,63	-11,03	-11,91	1,70	2,01	-5,75	-6,99	9,31	10,00
	-4,64	-5,70	-10,51	-12,80	3,33	3,96	-2,06	-2,23	8,85	10,71
			18,34	22,52			0,00	0,00	9,29	11,18

Примітка: $\frac{1}{1000}$ — нумерація елементів та вузлів; * — максимальні значення

За результатами розрахунку обох методів встановлено, що найбільші значення зусиль в елементах зафіксовані в кожній з опорних ділянок двох нижніх граней покриття. Максимально розтягнутими виявились опорні пояси. В кутових зонах істотний вплив навантажень сприймала більшість розкосів, які працювали на розтяг. Окремі торцеві стояки особливо в ділянці гребеня значно розтягувались, а менша їх кількість, яка зосереджувалась в місцях наближення до стику твірних з дугами кола, істотно стискалась. Інші пояси та стояки, особливо в кутах покриття, отримували найбільший стиск. Аналітично встановлені значення зусиль в елементах передбачали використання окремо виведених формул. Визначення загального силового стану покриття потребувало розрахунку зусиль для понад 50 елементів. Інша річ, коли застосовувався ПК «ЛИРА», за яким зусилля в елементах подавались у вигляді табличних і графічних даних. Наочно розподіл зусиль в елементах продемонстровано відповідною мозаїкою та епюрою поздовжніх сил (рис. 3, 4).

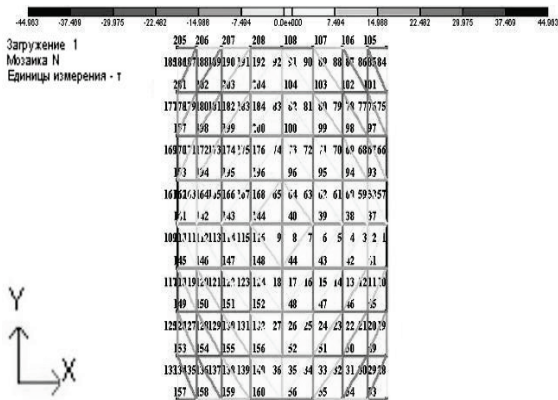


Рис. 3. Мозаїка поздовжніх сил в елементах покриття в плані

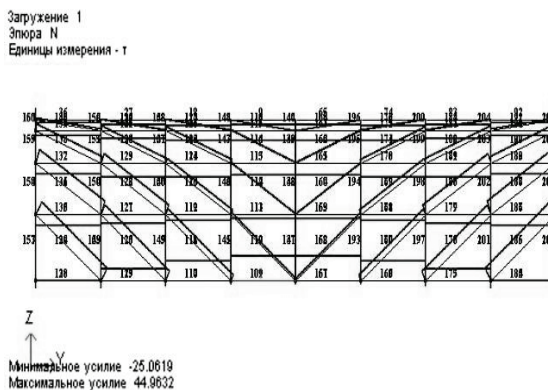


Рис. 4. Епюра поздовжніх сил в елементах покриття на вигляд збоку

Крім того, поведінка покриття визначалась через переміщення вузлів, які є надто небезпечними в окремих зонах. Їх величина впливала на характер деформування просторової конструкції. Максимальні вертикальні переміщення вузлів виявились в другій грані біля середньої ділянки за напрямком довжини покриття. Горизонтальні за максимумом переміщення вузлів фіксувались в опорних поясах в місцях наближення до середини більшої сторони покриття. Аналітичний метод розрахунку передбачав визначення чверті всіх вузлів просторової конструкції. Повністю поверхня покриття розраховувалась за допомогою програми ПК «ЛИРА». У такий спосіб оцінка характеру деформування просторової конструкції здійснювалась візуально, що надавало необхідну інформацію у вигляді відповідної мозаїки вертикальних чи горизонтальних перемішень вузлів (рис. 5, 6).

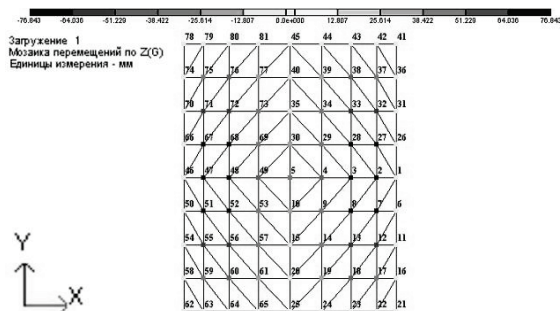


Рис. 5. Мозаїка вертикальних переміщень вузлів покриття в плані

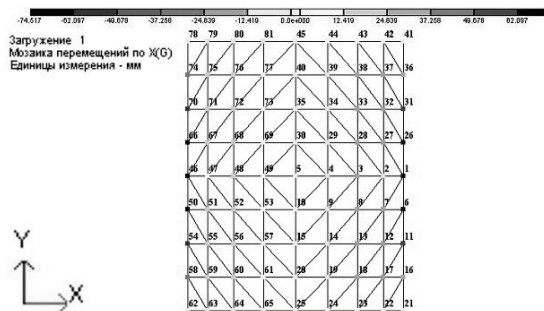


Рис. 6. Мозаїка горизонтальних переміщень вузлів покриття в плані

Таким чином, аналітичний метод розрахунку обмежувався лише отриманням числового значення параметрів напружено-деформованого стану і, нажаль, не дозволяв проілюструвати наочні схеми візуалізації.

Кількість та послідовність виконуваних дій за обома методами розрахунку значно відрізнялись (рис. 7). Єдиним виявився лише етап надання вхідних даних. Однак і в ньому аналітичний метод розрахунку порівняно з методом розрахунку за ПК «ЛІРА» потребував різної кількості геометричних і фізичних параметрів.

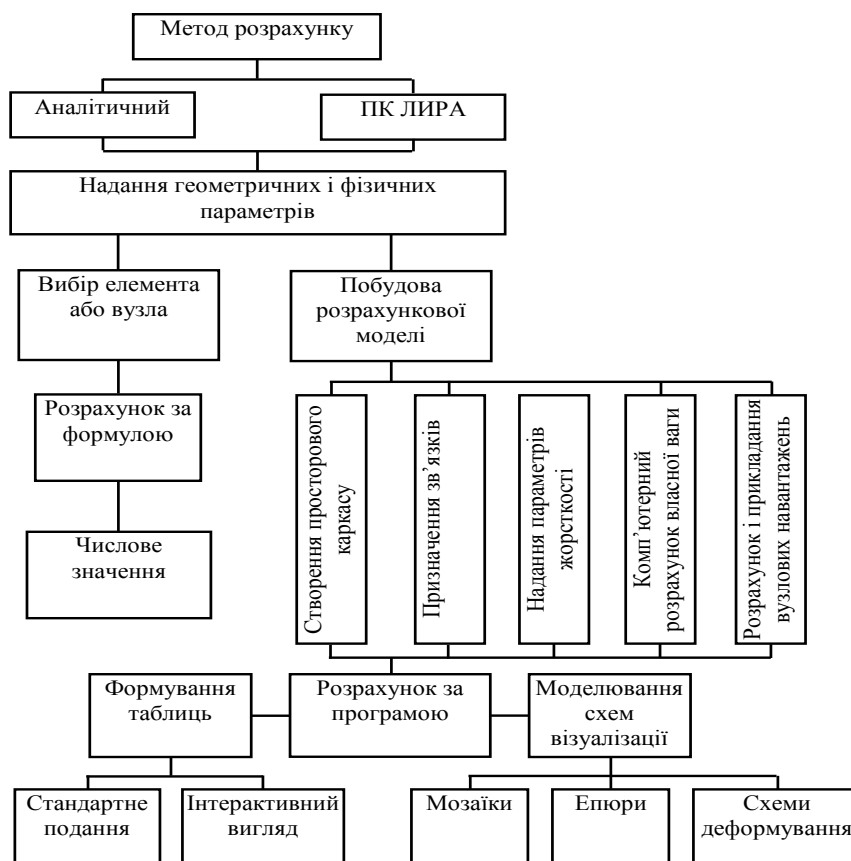


Рис. 7. Структурно-логічна схема визначення параметрів напружено-деформованого стану покриття за аналітичним методом розрахунку і з використанням ПК ЛІРА

Значення зусиль в елементах і переміщень у вузлах, встановлені за формулами, порівнювались з аналогічними показниками, отриманими за програмою ПК «ЛІРА». В результаті проведених розрахунків виявилось вагоме відхилення вказаних параметрів ближче до контуру (15...20 %) і майже їх співпадання (3...8 %) для середини конструкції покриття. Виявлена різниця в показниках, особливо максимальних (рис. 8, 9), пояснювалась розміром отриманих числових значень та недосконалістю аналітичного методу розрахунку. Величина точності результатів, встановлених за обома зазначеними методами задовольняла вимогам проектування.

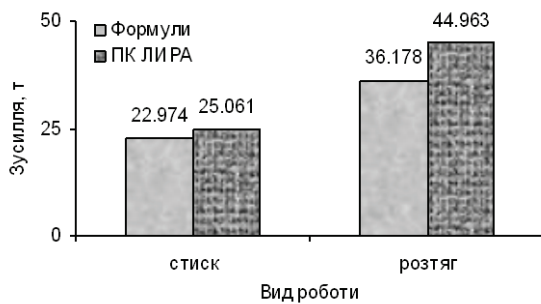


Рис. 8. Максимальні зусилля в елементах, отримані аналітичним методом розрахунку

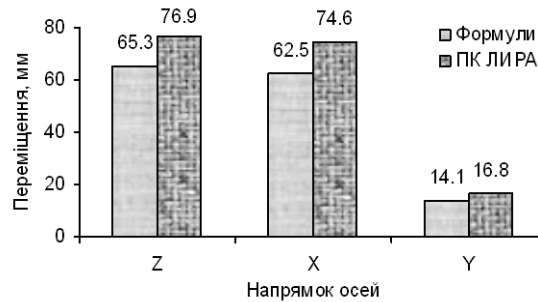


Рис. 9. Максимальні переміщення вузлів, отримані аналітичним методом розрахунку

Час, який витрачався на розрахування і обсяг отриманої кінцевої інформації, вказували на доцільність використання аналітичного методу або методу з використанням ПК «ЛИРА» та розкривали ефективність кожного із зазначених методів. Безумовно, вибіркоче використання конкретної формули для отримання зусилля в певному елементі чи переміщення в окремому вузлі призводило до попереднього (наближеного) результату і не потребувало особливих знань. Швидкість розрахунку цим методом залежала тільки від реакції фахівця, який здійснював розрахунок. В середньому аналітичний процес обчислення тривав близько 3...5 хв. Втім, робота за програмою ПК «ЛИРА» потребувала лише на введення вхідних даних приблизно 6...8 хв. Розрахунок же самого покриття за програмою ПК «ЛИРА» здійснювався в межах 0,1 хв. Використання цього методу розрахунку, який надавав інформацію про загальний стан покриття, потребувало наявності у користувача спеціальних теоретичних знань та навиків роботи з програмою ПК «ЛИРА». Формування таблиць та моделювання схем візуалізації відбувалось за 6...8 с.

Порівняння аналітичного методу розрахунку і методу з використанням програмного комплексу «ЛИРА» для визначення маси

Маса покриття, яка визначалась аналітичним методом, розраховувалась за формулою (10). Встановлювалось числове значення, яке приймалось як попередній ваговий параметр для проектування. Метод розрахунку маси просторової конструкції за допомогою комп'ютера передбачав використання двох програм: ЛІРСтк та MS Excel. Для кожного елемента визначався ряд параметрів. Зокрема потрібний профіль за каталогом з ЛІРСтк, питома вага за електронним сортаментом, довжина елемента засобами ПК «ЛИРА». Маса кожного елемента знаходилась завдяки MS Excel через параметр об'ємної ваги сталі та перевідний коефіцієнт. За допомогою функції автосума, визначалась маса просторової конструкції. Отримані результати зводились в табл. 2.

Таблиця 2

Фрагмент параметрів для розрахунку маси покриття засобами MS Excel

№ елемента	Профіль, мм	Питома вага, кг/м	Довжина елемента, м	Маса, кг
1	83 × 8,5	15,62	3,75	58,575
2	50 × 2,5	2,93	5,20006	15,23618
3	83 × 3,5	6,86	3,75	25,725
...
208	50 × 7,5	7,86	3,60252	28,31581

Збір даних обох методів показав значну розбіжність (26 % та 27 %) маси просторової конструкції, знайденої відповідно за формулами (10), (11) порівняно з масою, визначеною засобами ПК «ЛИРА» (рис. 10). Як бачимо, аналітичний метод розрахунку передбачав запас несучої здатності покриття за рахунок збільшення витрат матеріалу.

Різниця в кількості та послідовності виконуваних дій за обома методами розрахунку проілюстрована формулами (10), (11) і табл. 2. Точність результатів повністю відповідала вимогам проектування. На аналітичний розрахунок витрачалось приблизно 7...8 хв. Створення табл. 2 в MS Excel займало біля 20 хв.

Незважаючи на таку різницю в показниках швидкості отримання результату, вирішено, що найдоцільніше виконувати розрахунок за допомогою комп'ютера, оскільки у такий спосіб можна уникнути невиправданих витрат матеріалу.

Висновки

1. Вперше за результатами розрахунку параметрів напружено-деформованого стану та маси металевого циліндричного стержневого покриття здійснено оцінку ефективності використання аналітичного методу розрахунку і комп'ютерного моделювання.

2. Достовірність, точність та швидкість розрахунку просторової конструкції визначались за аналітичним методом розрахунку та з використанням ПК «ЛІРА».

3. Отримані малоінформативні силові, деформаційні та вагові показники дозволили рекомендувати аналітичний метод розрахунку покриття для швидкого визначення попередніх результатів.

4. Зусилля в елементах, переміщення у вузлах та маса просторової конструкції, встановлені за допомогою комп'ютера, виявились остаточною, які відповідали вимогам проектування і характеризувались найвищим ступенем інформативності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Власов В. З. Общая теория оболочек и ее приложение в технике / В. З. Власов. — М.; Л.: Гостехиздат, 1949. — 784 с.
2. Попов И. Г. Цилиндрические стержневые системы / И. Г. Попов. — Л.; М.: Гос. изд-во лит. по стр-ву и арх-ре, 1952. — 112 с.
3. Пшеничнов Г. И. Расчет сетчатых цилиндрических оболочек / Г. И. Пшеничнов. — М.: Изд-во Акад. Наук СССР, 1961. — 112 с.
4. Райт Д. Т. Большие сетчатые оболочки / Д. Т. Райт. — Л.: Стройиздат, 1966. — 11 с.
5. Патцельт О. Стальные решетчатые пространственные конструкции / О. Патцельт / Пер. с немецк. — М.: ЦИНИС Госстроя СССР, 1970. — 95 с.
6. Лубо Л. Н. Руководство по проектированию и расчету покрытий нового типа — сетчатых оболочек / Л. Н. Лубо. / — Л.: ЛенЗНИИЭП. 1971. — 63 с.
7. Свердлов Володимир Деонисович. Исследование пространственных цилиндрических стержневых систем покрытий: дис. ... канд. техн. наук 05.23.01 / Свердлов Володимир Деонисович. — Киев, 1977. — 174 с. — *Бібліогр.*: с. 153—161.
8. Лебедев В. А. Сетчатые оболочки в гражданском строительстве на севере / В. А. Лебедев, Л. Н. Лубо. — Л.: Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1982. — 136 с.
9. Трущев А. Г. Пространственные металлические конструкции: учеб. пособие для вузов. / А. Г. Трущев. — М.: Стройиздат, 1983. — 215 с.
10. ЛІРА 9.2. Примеры расчета и проектирования: учеб. пособие. / М. С. Барабаш, Ю. В. Гензерский, Д. В. Марченко, В. П. Титок. — К.: Изд-во «Факт», 2005. — 106 с.
11. SCAD Group. Программный комплекс Structure CAD для Windows 95/98/NT. Контрольные примеры. — К., 2000. — 132 с.
12. Шимкович Д. Г. Расчет конструкций в MSC.visualNastran for Windows. / Д. Г. Шимкович. — М.: ДМК Пресс, 2004. — 704 с. — ISBN 5-94074-238-6.
13. Каплун А. Б. ANSYS в руках инженера / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева: практ. руководство. — М.: Едитореал УРСС, 2003. — 159 с.
14. Свердлов В. Д. Металеві циліндричні стержневі покриття / В. Д. Свердлов, О. І. Сіянов. — Вінниця: «УНІВЕРСУМ-Вінниця», 1999. — 134 с.
15. Сіянов О. І. Металеві одношарові циліндричні стержневі покриття: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.23.01 «Будівельні конструкції, будівлі та споруди» / Сіянов Олександр Ілліч; ВАТ «УкрНДІпроектс-тальконструкція ім. В. М. Шимановського». — Київ, 2002. — 19 с.
16. Городецкий А. С. Подсистема создания чертежей стадии КМ–ЛИРА-КМ. – В кн. Металлические конструкции: взгляд в прошлое и будущее: сб. докладов VIII Украинской научно-технической конференции / А. С. Городецкий, Д. В. Медведенко. — Часть 1. — К.: Изд-во «Сталь», 2004. — С. 175—185. — ISBN 966-7589-31-5.

Рекомендована кафедрою промислового та цивільного будівництва

Надійшла до редакції 1.09.09
Рекомендована до друку 29.09.09

Сіянов Олександр Ілліч — доцент кафедри промислового та цивільного будівництва.
Вінницький національний технічний університет