

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОРЕСУРСІВ І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВИЙ ЦЕНТР «ІМЕСГ» НААН**



***ЗБІРНИК
ТЕЗ ДОПОВІДЕЙ***

***VI Міжнародної науково-технічної конференції з нагоди
112-ї річниці від дня народження
доктора технічних наук, професора,
члена-кореспондента ВАСГНІЛ,
віце-президента УАСГН
КРАМАРОВА
Володимира Савовича
(1906-1987)***

«КРАМАРОВСЬКІ ЧИТАННЯ»

***21-22 лютого 2019 року
м. Київ***

УДК 624.012.45(076)

**АНАЛІЗ КОНСТРУКТИВНОГО РІШЕННЯ ПОКРИТТЯ З
ПРОСТОРОВИХ СТРИЖНЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ**

Є. А. БАКУЛІН, кандидат технічних наук,

В. М. БАКУЛІНА, асистент

Національний університет біоресурсів і природокористування України

E-mail: bakulin959@ukr.net

Для конструкцій покриття будівель та споруд сформульовано однокритерійне завдання пошуку оптимальної геометричної форми з множиною обмежень. Як критерій якості прийнятий мінімум об'єму (маси)

матеріалу. У математичній моделі завдання прийняті умови "не звиродніння" елементів і незмінності топології конструкції. Дані пропозиції про послідовну багаторівневу декомпозицію завдання оптимального проектування просторово-стержневих металевих конструкцій.

Рішення задачі є оптимізація геометричної форми просторово-стержневої конструкції покриття на прямокутному плані.

Просторові гратчасті конструкції мають багатовимірну здатність до формоутворення. До таких конструкцій застосовані практично усі відомі прийоми формоутворення - це і симетрія, і відображення, і повторення уздовж твірної, і копіювання з поворотом та багато інших прийомів. Вказані прийоми застосовані до типового елемента таких конструкцій, яким можуть виступати окремі елементи або окремі осередки, групи елементів або групи осередків, великорозмірні елементи (плоскі або просторові ферми тощо).

Для прийнятої в завданні арки розрахунок в загальному випадку займається питаннями, які можна умовно розділити на два напрямки:

- перше питання, визначення зусиль, що викликані зовнішніми впливами, нерухомими навантаженнями різних видів та напружень, рухомим навантаженням, температурою, пружним або непружним зміщенням опор, розкружалюванням або монтажем, а також зусиль, що викликані вагою над ааточної надбудови та участі її роботі в арки;

- друге питання, раціонального підбору контуру осі, величини стріли підйому та закону зміни поперечних перерізів.

В рамках даного дослідження була розглянута двопоясна металева арка з просторовою шпренгельною системою затяжок, що завантажена рівномірним розподіленим навантаженням. Такий характер навантаження призводить до рівномірного стиснення стержня при відсутності згинальних моментів та виникнення небезпеки втрати стійкості. Вибір прикладу пов'язаний з наявністю аналітичного розв'язання цієї задачі у вигляді величини критичного значення інтенсивності навантаження, тоді:

$$P_{кр} = \frac{3 \cdot E \cdot J}{R^3},$$

де R – величина радіусу осі арки.

Виконаємо чисельне моделювання процесу деформування арки при наступних умовах: радіус арки 69 м; пояси арки виготовлені з труб круглого перерізу – 203x10 мм, з площею перерізу 60,6 см², момент інерції 2830,7 см⁴. Для цих умов теоретичне критичне значення інтенсивності навантаження дорівнює 60,6 кН/м.

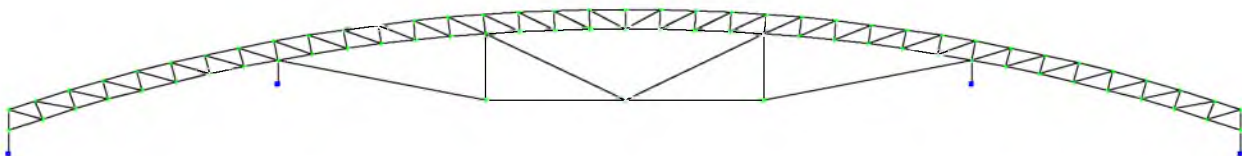


Рис. 1. Розрахункова скінчено-елементна модель арки

Чисельне моделювання виконано в програмному комплексі ЛІРА 9.6 для навантажень від 40 до 80 кН/м. Спочатку проаналізуємо процес деформування арки при навантаженні 40 кН/м, таб. 1.

1. Результати уточнень переміщень при навантаженні 40 кН/м

Параметри	Без уточнення	Номера етапів уточнення					
		1	2	3	5	10	20
M_1 , кНм	0,194	0,071	0,0435	0,0115	-0,0061	-0,0167	-0,0149
N_1 , кН	-312,0	-312,1	-312,1	312,1	-312,1	312,1	-312,1
f_1 , мм	3,08	3,14	3,06	3,05	3,05	3,05	3,04
f_2 , мм	2,86	2,91	2,88	2,81	2,75	2,91	2,84
σ_1 , МПа	-52,83	-52,9	-52,87	-52,76	-52,8	-52,92	-52,84

Для зіставлення результатів, отриманих для різних інтенсивностей навантаження, всі вони наводяться до відповідних результатів навантаження з інтенсивністю 40 кН/м за недеформованою схемою. У таблиці 2 наведено відносні величини вертикальних переміщень ключового перетину на різних етапах уточнення при різних рівнях навантаження (тут f_{pk} – переміщення при навантаженні P , кН/м на етапі уточнення k , $f_{40,0}$ – переміщення без уточнення при навантаженні $P = 40$ кН/м).

2. Відносні величини вертикальних переміщень

P , кН/м	Без уточнення	Значення $\frac{f_{pk}}{f_{40,0}} \cdot \frac{40}{P}$ на етапах уточнення								
		1	2	3	4	5	6	7	20	30
40	1	1,10	1,15	1,19	1,21	1,22	1,23	1,23	1,24	1,24
50	1	1,12	1,21	1,28	1,33	1,36	1,39	1,41	1,46	1,46
55	1	1,12	1,23	1,32	1,39	1,45	1,49	1,53	1,68	1,69
60	1	1,15	1,28	1,40	1,50	1,59	1,67	1,74	2,15	2,22
65	1	1,17	1,32	1,47	1,61	1,74	1,87	2,00	3,11	3,69
70	1	1,17	1,34	1,53	1,72	1,91	2,11	2,31	5,35	9,14
80	1	1,20	1,43	1,70	2,02	2,40	2,84	3,37	2,74	11,75

Аналіз результатів, наведених в таблиці, дозволяє зробити висновок, що збіжність процесу уточнення зменшується зі збільшенням навантаження на арку. Починаючи з інтенсивності 60 кН/м збіжність стає слабкою, а при навантаженні 80 кН/м процес стрімко розбігається. Характерно, що навантаження 60 кН/м близькі до критичного, отриманого для ідеальної арки.

Значення відносної величини напружень в розрахунковому перетині №1, отримані на десятому етапі уточнення деформованої схеми, можливо проаналізувати за допомогою таблиці 3.

Тут σ_0 позначена величина найбільшого в перетині нормального напруження при розрахунку за недеформованою схемою, а σ_{10} - та ж величина на десятому етапі уточнення. Як видно при малих навантаженнях зміна напружень знаходиться в межах допустимої похибки розрахунків, а при великих навантаженнях виходить далеко за ці межі.

3. Відносна величина напружень в розрахунковому перерізі №1 на десятому етапі уточнень

$P, \text{кН/м}$	40	50	55	60	65	70	80
σ_{10}/σ_0	0,99	1,02	1,04	1,08	1,12	1,24	1,66

Крім того, був проаналізований процес деформації осі арки при великих навантаженнях. Розрахунковий перетин №1, що перемістився при розрахунку за недеформованою схемою всередину арки, при уточненні починає рухатися назовні (таблиця 4) із збільшеною інтенсивністю: у наявності випучування арки в боки, тобто реалізується одна з форм втрати стійкості арки.

4. Горизонтальні переміщення перерізу №1 при навантаженні 80 кН/м

Число уточнень	Без уточнення	1	3	5	10	15	18	20
f_{x1}	1,44	0,99	0,43	-1,99	-9,95	-28,89	-52,44	-78,64

Висновок. Проведений аналіз процесу деформації двопоясної арки з просторовою шпренгельною системою затяжок, можливо стверджувати, що деформаційний розрахунок дозволяє не тільки уточнити напружено-деформований стан арки, але і оцінити її стійкість без традиційного визначення величини критичного навантаження. Таке дослідження необхідно виконувати у всіх випадках, які неможливо звести до стандартних схем визначення критичних навантажень.