

**УДК 69.934.92**

**ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ ЗУСИЛЬ В МОДЕЛІ РАМНО-ФЕРМОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ НАКРИТТЯ ТРИБУН СТАДІОНІВ ПІД ДІЄЮ ВЕРТИКАЛЬНИХ НАВАНТАЖЕНЬ**

**ОСОБЕННОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ УСИЛИЙ В МОДЕЛИ РАМНО-ФЕРМОВОЙ КОНСТРУКЦИИ НАКРЫТИЯ ТРИБУН СТАДИОНОВ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ВЕРТИКАЛЬНЫХ НАГРУЗОК**

**FEATURES OF EFFORTS DISTRIBUTING IN FRAME-FARM MODEL CONSTRUCTION COVERING THE STANDS OF STADIUMS UNDER VERTICAL LOADINGS ACTION**

**Пугачов Э.В., доктор техн. наук, професор, Ревінкель Й. – П., аспірант, Філіпчук С.В., канд. техн. наук (Національний університет водного господарства та природокористування, м. Рівне)**

**Пугачов Е.В., доктор техн. наук, професор, Ревинкель Й. – П., аспірант, Филипчук С.В., канд. техн. наук (Національний університет водного господарства та природопользования, г. Ривне)**

**Pugachov E.V., dr. professor, Rewinkel J. – P., graduate student, Filipchuk S.V., candidate of technical sciences (National university of water management and nature resources use, Rivne)**

**Наведений характер роботи моделі рамно-фермової конструкції накриття трибун стадіонів під дією вертикальних навантажень, здійснено порівняння теоретичних та експериментальних зусиль.**

**Представленный характер работы модели рамно-фермовой конструкции накрытия трибун стадионов под действием вертикальных нагрузок, осуществлено сравнение теоретических и экспериментальных усилий.**

**The above work character of frame-farm model construction covering the stands of stadiums under the action of the vertical loadings, comparison of theoretical and experimental efforts is carried out.**

**Ключові слова:**

**рамно-фермова конструкція, напружено-деформований стан  
рамно-фермовая конструкция, напряженно-деформированное состояние  
frame-farm construction, intense - deformation state**

**Вступ.** При будівництві спортивних арен застосовуються різні види металевих конструкцій – все залежить від проекту і бюджету майбутньої будівлі. Проте при їх зведенні необхідно жорстко дотримуватись будівельних норм і правил, оскільки подібні об'єкти відносяться до високого класу відповідальності. В даний час активізувалося будівництво нових спортивних майданчиків і реконструкція старих стадіонів. На зміну відкритим футбольним полям і тенісним кортам приходять криті. В яких простіше забезпечити комфортні умови перебування гостей і спортсменів, що також підвищує рейтинг спортивного майданчика.

В м. Магдебург покриття трибун стадіону виконано у вигляді просторової металеві несучої системи, основу якої складають головні поперечні рами і ферми та залізобетонні балки, на яких розташовані місця для глядачів. Ширина накриття трибун в бік поля складає 32 м [1].

Основну несучу конструкцію утворюють зовнішньо статично визначені шарнірно підперті одно пролітні рами і відтяжки для кріплення даху до пілонів. Під дахом передбачені дахові ферми (решітчасті балки), які утворюють фахверк. Фахверкові ферми між пілонами і основними (внутрішніми) колонами одночасно забезпечують горизонтальну жорсткість рами. Пілон і балки шарнірно з'єднані на рівні даху. Це зумовлює необхідність бокового кріплення пілону за допомогою розтяжок (підкосів).

Проектування конструкцій здійснено у відповідності до чинних норм ФРН (DIN 1055-4) з використанням комп'ютерних програм. Оскільки такі конструкції проектуються вперше, є велика доцільність перевірити дійсний напружено-деформований стан системи і порівняти його з теоретичними розрахунками. Цю задачу можна вирішити шляхом випробувань моделей (фрагментів) накриття навантаженням.

**Конструкція моделі рамно-фермової системи та методика її випробовування.** В лабораторії Національного університету водного господарства та природокористування були випробувані три металеві ферми, які з'єднуються між собою в'язями та утворюють рамно – фермову систему. Розміри дослідних ферм та поперечний переріз елементів прийняті з урахуванням реальних розмірів металевих ферм на стадіоні в м. Магдебург (ФРН) з масштабом 1:10 (рис. 1). Поперечний переріз гребеня прийнятий із квадратних труб 40×40×3 мм, відтяжки, пілони та колона з круглих труб 40×3 мм а фахверковий диск із квадратних труб 30×30×2. Вузли з'єднання відтяжок, пілонів та колон були прийняті шарнірними (рис. 2).

Механічні характеристики зразків квадратних та круглих профілів визначали дослідним шляхом за стандартними методиками. Випробовувалось по три стержні довжиною 40 см в розривній машині УИМ 50. За результатами випробовувань визначено, що межа текучості для квадратних труб 40×40×3 мм складала  $\sigma_y = 340$  МПа, межа міцності -  $\sigma_u = 377$  МПа, для квадратних труб 30×30×2 мм -  $\sigma_y = 335$  МПа,  $\sigma_u = 368$  МПа, а круглих труб 40×3 мм -  $\sigma_y = 335$  МПа,  $\sigma_u = 365$  МПа, максимальні деформації  $\varepsilon_{SR} = 259,8 \times 10^{-5}$ .



Навантаження на ферму здійснювалося у двох напрямках: від дії вертикальних та вітрових від'ємних навантажень (рис. 3.6). Дані навантаження приводилися до зосереджених сил, що прикладалися у вузлах ферми. Вертикальні навантаження в середніх вузлах ферми були прийняті за одиницю, а на торці гребеня 0,5. Вітрові навантаження залежали від розподілу вітрового тиску по довжині ферми у відповідності до експериментальних даних отриманих в аеродинамічній трубі.

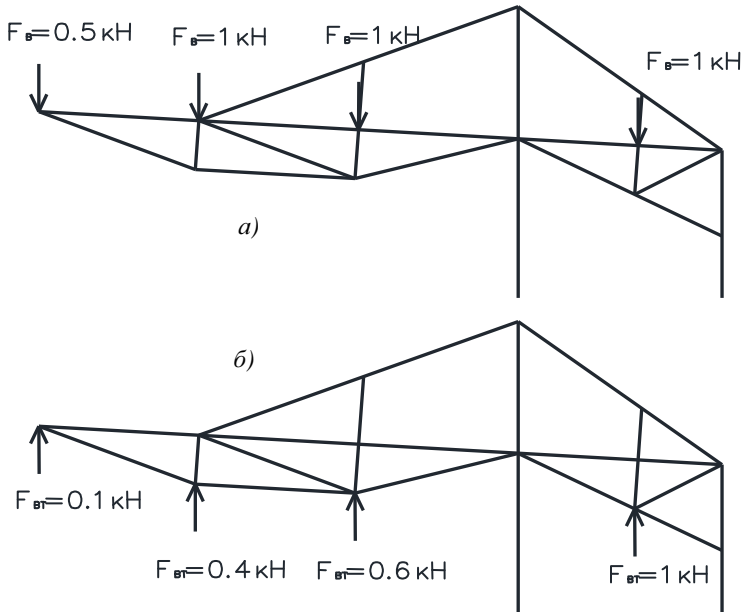


Рис. 3. Схеми навантаження дослідної ферми від одиничних сил: а – від дії вертикальних навантажень (власна вага, сніг), б – від дії вітрових навантажень

**Порівняння теоретичних і експериментальних значень повздовжніх зусиль в окремих елементах рамно-фермової системи.** В ПК “Лира” була змодельована робота дослідної рамно – фермової системи від дії одиничних навантажень. Жорсткості елементів були прийняті у відповідності з жорсткостями елементів дослідної конструкції. В результаті розрахунку від двох навантажень ми отримали відповідні епюри повздовжніх зусиль. Як в першому навантаженні так і у другому найбільші напруження виникали в пілонах ферми. Зусилля від вертикального навантаження складо 6,4 кН, а від вітрового – 2,86 кН. Також треба відмітити, що зусилля у відтяжках та

гребені є значними і склали відповідно 96,4% та 91% відносно зусилля в пілонах.

Також розрахунки проводилися за допомогою програми Balcad, яка була розроблена професором Фішером з інженерного факультету Університету Магдебурга, призначена для виконання розрахунків плоских і просторових статично визначених та статично невизначених фермових конструкцій при статичних і динамічних навантаженнях (табл. 1).

Таблиця 1

Теоретичні зусилля від одиничних навантажень  
в ПК “Ли́ра” та ПК “Balcad”

№ елемента	Зусилля в ПК “Ли́ра”		Зусилля в ПК “Balcad”	
	$N_B$ , кН	$N_{BT}$ , кН	$N_B$ , кН	$N_{BT}$ , кН
1	1,328	-0,259	1,408	-0,281
2	-1,441	0,281	-1,525	0,305
3	-1,232	0,228	-1,440	0,314
4	0,538	-0,518	0,499	-0,499
5	-5,104	2,373	-5,506	2,554
6	-5,309	2,430	-5,574	2,554
7	-0,834	-0,073	-1,004	-0,003
8	1,659	-0,828	2,292	-1,105
9	0,499	-0,605	0,769	-0,730
10	5,183	-1,982	5,190	-1,986
11	5,211	-1,994	5,189	-1,986
12	0,066	-0,028	0,001	-0,000
13	-5,826	2,245	-5,765	2,207
14	3,127	-0,967	2,925	-0,773
15	2,903	-0,756	2,925	-0,773
16	-6,403	2,856	-6,425	2,873
17	6,172	-2,370	6,163	-2,359
18	6,135	-2,335	6,160	-2,358
19	0,631	-0,753	0,977	1,022
20	0,048	-0,068	0,000	0,000
21	-5,372	2,498	-5,691	2,750
22	-5,039	2,068	-5,758	2,750
23	-0,536	-0,432	-0,995	-0,001
24	0,064	-0,060	0,005	-0,002

Розміри елементів рамно - фермової системи та жорсткості елементів були прийняті такі, як і при розрахунку в ПК "Ли́ра". Порівнюючи результати розрахунку за цими програмами можна дійти висновку, що зусилля в елементах рамно - фермової сиситеми при розрахунку від одиничних навантажень для найбільш завантажених елементів майже співпадали. Так при розрахунку в ПК "Ли́ра" значення зусилля в нижній відтяжці від дії вертикальних навантажень склало  $N_b = 5,039$  кН, а в ПК "Balcad" це значення було рівним  $N_b = 5,758$  кН. При дії вітрових навантажень значення зусиль відповідно були рівні  $N_{вт} = 2,068$  кН в ПК "Ли́ра" та  $N_{вт} = 2,750$  кН в ПК "Balcad". У верхньому пілоні ферми розходження між розрахунками склало 0,14%. Значення зусиль в ПК "Ли́ра" склало  $N_b = 6,172$  кН,  $N_{вт} = 2,370$  кН а відповідні значення в ПК "Balcad" -  $N_b = 6,163$  кН,  $N_{вт} = 2,359$  кН. В табл. 1 наведені значення зусиль для всіх елементів рамно - фермової сиситеми розрахованих в ПК "Ли́ра" та ПК "Balcad".

Отримані значення повздовжній зусиль ми порівняли з розрахунковими значення - розраховуючи відтяжку як стиснутий, а нижній пілон як розтягнутий елементи.

Порівнюємо теоретичні значення зусиль з експериментальними значеннями від вітрового навантаження у найбільш напружених елементах ферми (табл. 2). На початкових ступенях навантаження до  $F = 4$  кН експериментальні значення зусиль у нижньому, верхньому пілонах та у відтяжці були дещо більші за теоретичні. Так для нижнього пілону експериментальне зусилля склало  $N = 12,43$  кН, а теоретичне -  $N_e = 11,42$ кН.

Таблиця 2

Порівняння теоретичних та експериментальних повздовжніх зусиль в елементах ферми від вітрового навантаження

Навантаження $F$ , кН	Нижній пілон		Верхній пілон		Відтяжка	
	Теоретичне $N_e$ , кН	Експериментальне $N$ , кН	Теоретичне $N_e$ , кН	Експериментальне $N$ , кН	Теоретичне $N_e$ , кН	Експериментальне $N$ , кН
0	0	0	0	0	0	0
1	2,86	3,45	2,25	2,27	2,37	3,02
2	5,71	6,72	4,49	5,38	4,74	6,59
3	8,57	10,02	6,74	8,08	7,11	10,14
4	11,42	12,43	8,98	9,36	9,48	12,12
5	14,28	15,53	11,23	10,89	11,85	14,14
6	17,14	17,97	13,47	12,90	14,22	16,60
7	19,99	20,28	15,72	15,07	16,59	19,33
8	22,85	22,52	17,96	17,08	18,96	21,64
9	25,70	25,61	20,21	19,17	21,33	24,43
10	28,56	27,95	22,45	21,16	23,70	26,74

При наступному поступовому збільшенні навантаження в нижньому пілоні та у відтяжці значення експериментальних зусиль залишалися більшими від теоретичних. Натомість, у верхньому пілоні ферми вже при навантаженні  $F = 5$  кН теоретичне значення повздовжньої сили  $N = 11,23$  кН стало переважати над експериментальним значенням  $N_e = 10,89$  кН.

При навантаженні  $F = 10$  кН теоретичне повздовжнє зусилля в нижньому пілоні склало  $N_e = 28,56$  кН, а розрахункове  $N = 27,95$  кН. Тобто різниця між теоретичним значенням зусилля та експериментальним склала 2,1%. Аналогічна ситуація спостерігалася і при порівнянні повздовжніх зусиль у верхньому пілоні та відтяжках ферм. Так при навантаженні  $F = 10$  кН теоретичне значення у верхньому пілоні та відтяжці відповідно склало  $N_e = 22,45$  кН та 23,70 кН, а відповідні експериментальні зусилля  $N = 21,16$  кН та 26,74 кН. Тобто тут різниця була дещо більшою ніж у нижньому пілоні ферми і склала відповідно 5,7% та 11,36%. Треба відмітити, що експериментальні значення повздовжніх зусиль в елементах ферм при вертикальному вітровому навантаженні були майже однакові з теоретичними значеннями порохованими в ПК "Лира".

Порівняємо теоретичні значення зусиль з експериментальними значеннями від вертикального навантаження. Характер роботи всіх елементів ферм при вертикальному навантаженні був ідентичний характеру роботи при вітровому навантаженню. Тобто теоретичні значення повздовжніх сил в елементах ферм майже співпадали з експериментальними значеннями (табл. 3).

До навантаження  $F = 4$  кН експериментальні значення зусиль у нижньому, верхньому пілонах та у відтяжці були дещо більші за теоретичні значення. Найбільше значення зусилля було в нижньому пілоні  $N_e = 26,59$  кН, а у верхньому пілоні та у відтяжці значення були незначно меншими і відповідно склали  $N_e = 24,58$  кН та 25,84 кН.

При навантаженні  $F = 10$  кН максимальне розходження між експериментальним та теоретичним значенням повздовжнього зусилля виявилось у верхньому пілоні ферми і склало 3,67 %, а у нижньому пілоні та у відтяжці різниця була ще меншою і відповідно склала 1,62 % та 1,06 %. При цьому навантаженні теоретичні значення повздовжніх зусиль в нижньому пілоні та у відтяжці були вищі за експериментальні значення, а у верхньому пілоні навпаки - менші.

Надалі при збільшенні навантаження до руйнування ферми розходження між теоретичними та експериментальними значення повздовжніх зусиль в пілонах збільшувалася на користь останніх. Експериментальні ж зусилля у відтяжках ферм були меншими від теоретичних значень. Проте характер розподілу зусиль в елементах рамно-фермової системи, як при теоретичному розрахунку, так і при експериментальному дослідженні збігався.

Таблиця 3

Порівняння теоретичних та експериментальних повздовжніх зусиль  
в елементах ферми від вертикального навантаження

Навантаження $F$ , кН	Нижній пілон		Верхній пілон		Відтяжка	
	Теоретичне $N_0$ , кН	Експериментальне $N$ , кН	Теоретичне $N_0$ , кН	Експериментальне $N$ , кН	Теоретичне $N_0$ , кН	Експериментальне $N$ , кН
0	0	0	0	0	0	0
1	6,40	7,70	5,83	6,54	2,37	8,28
2	12,81	14,17	12,23	13,53	8,77	11,60
3	19,21	19,55	18,63	18,99	15,18	19,24
4	25,61	26,59	25,04	24,58	21,58	25,84
5	32,02	32,30	31,44	30,47	27,98	31,75
6	38,42	38,44	37,84	36,15	34,39	37,44
7	44,82	44,28	44,24	42,71	40,79	43,35
8	51,22	51,58	50,65	49,81	47,19	49,32
9	57,63	57,21	57,05	54,75	53,59	55,17
10	64,03	65,09	63,45	61,12	60,00	59,36
11	70,43	73,12	69,86	67,09	66,40	64,76
12	76,84	82,47	76,26	73,91	72,80	68,84
13	83,24	92,94	82,66	82,42	79,21	73,44
14	89,64	106,77	89,07	92,71	85,61	75,58

**Висновки.** Експериментальні значення повздовжніх зусиль в елементах ферм при вертикальному вітровому навантаженні були майже однакові з теоретичними значеннями порохованими в ПК "Лира", а характер розподілу зусиль в елементах рамно-фермової системи, як при теоретичному розрахунку, так і при експериментальному дослідженні збігався.

1. Ревінкель Й.-П. Конструктивні рішення покриття трибун стадіону в місті Магдебург(ФРН) / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2010. – Випуск 20. – С. 408 – 413.
2. Ревінкель Й.-П. Експериментальне визначення вітрових навантажень на конструкції покриття трибун стадіону / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2011. – Випуск 21. – С. 525 – 531.
3. Ревінкель Й.-П., Філіпчук С.В. Методика випробування моделі рамно-фермової конструкції накриття трибун стадіонів / Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2011. – Випуск 22. – С. 716 – 721.