

УДК 624.042.4

ЗУСИЛЛЯ В ЕЛЕМЕНТАХ РАМНО-ФЕРМОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ НАКРИТТЯ ТРИБУН СТАДІОНІВ ВІД ДІЇ ВІТРОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

WORK FEATURES OF FRAME-FARM MODEL CONSTRUCTION COVERING THE STANDS OF STADIUMS UNDER WIND VERTICAL LOADINGS ACTION

*Д.т.н., проф. Бабич Є.М., к.т.н. Філіпчук С.В., аспірант Ревінкель Й.
– П. (Національний університет водного господарства та
природокористування)*

*Dr. Professor Babich E. M., candidate of technical sciences Filipchuk
S.V., graduate student Rewinkel J. – P. (Nationall university of water
management and nature resources use)*

Наведений характер роботи основних елементів рамно-фермової конструкції накриття трибун стадіонів під дією дійсних вітрових навантажень, експериментально встановлено напружено-деформований стан елементів при випробовуванні моделі накриття.

The above work character of basic elements frame-farm model construction covering of stadiums tribunes under the action of the vertical wind loadings, it is experimentally set intense - deformation the state of elements at the test of covering model.

В даний час активізувалися зведення нових і реконструкція існуючих стадіонів. На зміну відкритим трибунам, футбольним полям і тенісним кортам приходять криті спортивні комплекси, в яких забезпечуються належні комфортні умови перебування глядачів і спортсменів, що значно підвищує їхній рейтинг. Прикладом цього є зведення нових стадіонів в містах Донецьку і Львові, реконструкція існуючих в Києві, Харкові, Одесі, Москві та інших містах. Значна кількість стадіонів з накритими трибунами в останні роки зведені в Польщі, Німеччині, Греції, Португалії.

Накриття над трибунами стадіонів уявляють собою складні просторові системи з великим вильотом консольного звису козирка над трибунами. Такі системи мають велику площу накриття, внаслідок чого вітрові навантаження суттєво впливають на їхню роботу. Залежно від швидкості вітру, щільності повітря форми споруди тиск вітрового

потоків на окремі елементи споруди може бути різний, що враховується аеродинамічними коефіцієнтами [1].

Аналіз значень аеродинамічних коефіцієнтів, визначених за нормативними документами різних країн для односхилих окремо стоячих конструкцій покриття показав [2], що відомості як про значення, так і про напрямок дії аеродинамічних сил на поверхні покриття дуже суперечливі. В усіх нормах, в тому числі і в ДБН В.1.2-2:2006 [3] та Е-DIN 1055 Teil 4 [4], не наводяться схеми вітрових навантажень та аеродинамічні коефіцієнти, за якими можливо було б їх визначити для накриття трибун стадіонів. Тому встановлення дійсних навантажень на такі конструкції та виявлення особливостей роботи під ними конструкцій покриття є складною і важливою задачею.

Розглянемо ці питання на прикладі стадіону в м Магдебург (Німеччина), де покриття трибун стадіону виконано у вигляді просторової металевої 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 (рис. 1) [5].



Рис. 1. Загальний вигляд стадіону

Основну несучу конструкцію утворюють зовнішньо статично визначені шарнірно підперті однопролітні 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 (рис. 2). Елементи 1-3, 3-13, 1-2 та 1-4 виконані із труб RO355.6, а інші елементи з прокатного профілю HEA 220, HEB 300, HEM 360. У вузлі 3 всі елементи з'єднані шарнірно. У вузлах 12 і 13 з'єднання стояків (пілонів) з залізобетонними балками трибун виконані жорсткими [6].

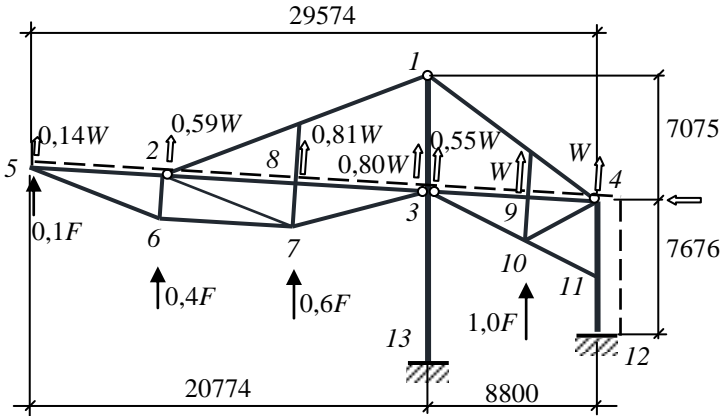


Рис. 2. Геометрична схема рамно-фермової системи накриття трибун та схема дії вузлового вітрового навантаження W та випробувального навантаження F

Області ФРН залежно від швидкості вітру розділені на чотири зони. Місто Магдебург розташоване в другій зоні, в якій рекомендований швидкісний напір на висоті 10 м становить $q_{ref} = 0,39 \text{ кН/м}^2$ (кПа). Тиск вітру для будь-якої заданої висоти z розраховується за формулою

$$q_{b,z} = 1,7q_{ref}(z/10)^{0,37}. \quad (1)$$

Карниз накриття трибун знаходиться на висоті $z = 21$ м, а тому для нього $q_{b,21} = 0,87 \text{ кН/м}^2$.

Для визначення дійсного вітрового навантаження на споруду стадіону виконані дослідження у аеродинамічній трубі його моделі [7]. Дослідження показали, що на краю покриття має місце підвищене повітряне навантаження розрідження ($w_{b,res} = -0,7 \text{ кПа}$), на іншій поверхні повітряне навантаження зменшується (рис. 3). Найбільші навантаження тиску (спрямовані всередину) для фронтального обдування фасадної стіни стадіону, а також найбільші навантаження розрідження (спрямовані назовні) мають місце при повітряному потоку, що скерований майже перпендикулярно до даної стіни. Сумарні вітрові навантаження для цих випадків дорівнюють: $w_D = 0,8 \text{ кПа}$ і $w_S = -0,5 \text{ кПа}$.

Навантаження від вітрового відсмоктування на рамно-фермову систему передається у вузлах, де кріпляться металеві прогони, розташовані вздовж периметру накриття. Якщо прийняти за одиницю вітрове навантаження W у вузлі 9, то з урахуванням розподілення відсмоктування по площині згідно з рис. 3 навантаження в інших

вузлах складе величини, показані на цьому ж рисунку. В карнизному вузлі величина навантаження практично рівна W , а на краю гребня – $0,14 W$. Якщо прийняти розподілення навантаження по трапеції, то по відношенню до дослідного значення $w_D = 0,8$ кПа, то аеродинамічні коефіцієнти відповідно складуть – $0,875$ і – $0,125$.



Рис. 3. Розподілення вітрового тиску по поверхні накриття трибун: A, B, C, D – зони поверхні накриття трибун відповідно до [6]; - 0,70 – тиск вітрового потоку в кПа

Треба зазначити, що особливістю споруди стадіону є те, що по периметру фасадного огороження під карнизом влаштовані прорізи, в які частково без перешкод проникав вітровий потік. Це вплинуло на характер розподілення вітрового тиску по поверхні накриття.

При розташуванні рам вздовж периметра через 12 м (фактично ця величина змінна [7]) значення вузлового навантаження складе $W = 31,8$ кН. За цього значення W в ПК “Лира” була змодельована робота рамно-фермової системи і отримані зусилля в її елементах (табл. 1).

Таблиця 1

Зусилля в елементах рамно-фермової системи від вітрового навантаження

Елемент	Зусилля, кН	Елемент	Зусилля, кН	Елемент	Зусилля, кН
1-2	-56,2	5-6	14,2	9-4	81,6
1-4	-66,4	2-8	62,5	9-10	31,7
1-3	62,5	6-7	13,4	4-11	13,7
3-13	107,2	8-3	63,3	11-12	-13,2
5-2	-13,1	3-9	79,6	3-10	-31,2

Найбільші зусилля розтягу виникають в елементах 3-13 (107,2 кН), 3-9 (79,6 кН), 9-4 (81,6 кН) та 8-3 (63,3 кН). Найбільш стиснутими виявилися елементи 1-2 (56,2 кН), 1-4 (66,4 кН) та 3-10 (31,2 кН).

Виконані експериментальні дослідження фрагменту накриття трибун. Розміри дослідних ферм і рам та поперечний переріз елементів прийняті з урахуванням реальних розмірів металевих ферм на стадіоні в м. Магдебург (ФРН) в масштабі 1:10 (рис. 4). Поперечний переріз елементів 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.



Рис. 4. Загальний вигляд моделі накриття трибун

Механічні характеристики зразків квадратних та круглих профілів визначали дослідним шляхом за стандартними методиками, внаслідок чого виявилось, 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 склали $\varepsilon_{sR} = 259,8 \times 10^{-5}$.

Випробовування ферм виконувалися в спеціальній змонтованій установці, завантажуючи чотирма зосередженими силами по нижньому поясу фахверкового диска (див. рис. 2). Деформації елементів вимірювали тензометрами Гугенбергера та електричними тензорезисторами, показники яких фіксувалися за допомогою приладу СИИТ [8]. Максимальне значення сили F приймали рівним 10 кН.

За виміряними деформаціями на ступенях навантаження (через $\Delta F = 1$ кН) та фактичними розмірами поперечних перерізів визначалися експериментальні значення зусиль в елементах моделі (табл. 2).

Таблиця 2

Зусилля в елементах моделі при $F = 10$ кН (середні по трьом моделям)

Елемент	Зусилля, кН	Елемент	Зусилля, кН	Елемент	Зусилля, кН
1-2	-16,1	5-6	4,9	9-4	29,5
1-4	-26,0	2-8	21,4	9-10	2,9
1-3	25,9	6-7	5,5	4-11	14,7
3-13	35,7	8-3	20,6	11-12	-8,9
5-2	-6,1	3-9	27,2	3-10	-14,2

Моделі системи виявилися однорідними, про що свідчать заміряні деформації елементів (рис. 5). У всіх елементах протягом завантаження ферми по ступенях спостерігалася майже лінійна залежність між деформаціями та навантаженням. Так, для нижнього пілону при $F = 10$ кН у фермі РФ-1 відносні деформації сталі склали $\varepsilon_s = 40,36 \times 10^{-5}$, а у фермах РФ-2 і РФ-3 відповідно $\varepsilon_s = 49,65 \times 10^{-5}$ та $\varepsilon_s = 47,36 \times 10^{-5}$. При цьому ж навантаженні $F = 10$ кН відносні деформації сталі у відтяжках ферми були майже ідентичними відносним деформаціям сталі у нижньому пілоні і для ферм РФ-1 та РФ-2 відповідно склали: $\varepsilon_s = 45,86 \times 10^{-5}$, $\varepsilon_s = 45,31 \times 10^{-5}$. Тобто можна відмітити, що деформації сталі в нижньому пілоні та відтяжках при навантаженні $F = 10$ кН були майже однаковими, а різниця складала 4,3%.

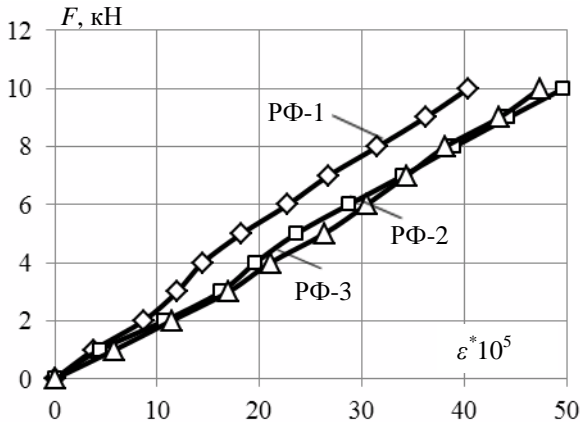


Рис. 5. Зміна деформацій в нижньому пілоні (елемент 3-13)

Як видно з табл. 2, не дивлячись на те, що відносно розподілення вузлового навантаження в реальній конструкції і моделях децю відрізнялося, досліди підтвердили як кількісно, так і якісно характер розподілу зусиль в елементах рамно-фермової системи при дії вітрового навантаження.

Список літератури:

1. Пичугин С.Ф. Ветровая нагрузка на строительные конструкции / Пичугин С.Ф., Махинько А.В. – Полтава, 2005. – 342 с.
2. Кузнецов С.Г. Особенности распределения воздушного давления на поверхности большепролетных покрытий над трибунами стадионов / С.Г. Кузнецов, Э.А. Лозинский, О.С. Мишура, А.А. Дроздов // Современные строительные конструкции из металла и древесины: Сборник научных трудов. – Одесса: ОГАСА, 2011. - № 15. – Книга 3. – С. 101 – 110.
3. Кузнецов С.Г. Определение ветровых нагрузок на конструкции покрытий над трибунами стадионов / С.Г. Кузнецов, О.С. Мишура // Містобудування та територіальне планування. – Київ: КНУБА, 2011. - № 40. – Частина I. – С. 562 – 569.
4. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування. – Київ: Мінбуд України, 2006. – 75 с.
5. E-DIN 1055/ Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 4: Windlasten, Norm – Entwurd v. Jan. 2002.
6. Ревінкель Й.-П. Конструктивні рішення покриття трибун стадіону в місті Магдебург(ФРН) /Ревінкель Й.-П.// Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2010. – Випуск 20. – С. 408 – 413.
7. Ревінкель Й.-П. Експериментальне визначення вітрових навантажень на конструкції покриття трибун стадіону /Ревінкель Й.-П // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2011. – Випуск 21. – С. 525 – 531.
8. Ревінкель Й.-П. Методика випробування моделі рамно-фермової конструкції накриття трибун стадіонів / Ревінкель Й.-П., Філіпчук С.В.// Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди: Збірник наукових праць. – Рівне: НУВГП, 2011. – Випуск 22. – С. 716 – 721.