

**ДОСЛІДЖЕННЯ, ПРОЕКТУВАННЯ ТА ЗАПРОВАДЖЕННЯ  
РЕСУРСЕКОНОМНИХ КОНСТРУКЦІЙ, БУДІВЕЛЬ ТА СПОРУД**

**УДК 69.934.92**

**ДЕФОРМАТИВНІСТЬ МОДЕЛІ РАМНО-ФЕРМОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ  
НАКРИТТЯ ТРИБУН СТАДІОНІВ**

**THE DEFORMABILITY FRAME-FARM MODEL CONSTRUCTION THE  
STANDS OF STADIUMS**

**Бабич Є.М., доктор техн. наук, професор, Філіпчук С.В., канд. техн. наук,  
Налепа О.І., канд. техн. наук, доцент** (Національний університет водного  
господарства та природокористування, м. Рівне)

**Babich E. M., dr. professor, Filipchuk S.V., candidate of technical sciences,  
Nalepa O.I., candidate of technical sciences, associate professor** (National  
university of water management and nature resources use, Rivne)

**Наведений характер деформативності моделі рамно-фермової  
конструкції накриття трибун стадіонів під дією навантажень.**

**The above work character of frame-farm model construction deformability  
the stands of stadiums under the action of the loadings.**

**Ключові слова:**

рамно-фермова конструкція, деформативність, переміщення, схема  
навантаження

frame-farm construction, deformability, moving, chart of loading

**Вступ.** Під час реконструкції існуючих стадіонів або будівництва нових велика увага приділяється конструкціям накриття трибун для глядачів, що забезпечує їм комфортне перебування під час спортивних змагань. Найбільш поширеними є влаштування рамних систем накриття трибун, прикладами цього можуть бути стадіони в Києві, Харкові, Дуйсбурзі, Берліні, Майнці та інші. В м. Магдебург накриття 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 [1].

Основну несучу конструкцію утворюють зовнішньо статично визначені шарнірно підперті одно пролітні рами і відтяжки для кріплення даху до пілонів (рис. 1). 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). Верхня і нижня частини пілону розглядаються як опорні стійки. Для нижньої частини відношення висоти перерізу пілона до довжини (гнучкість) є

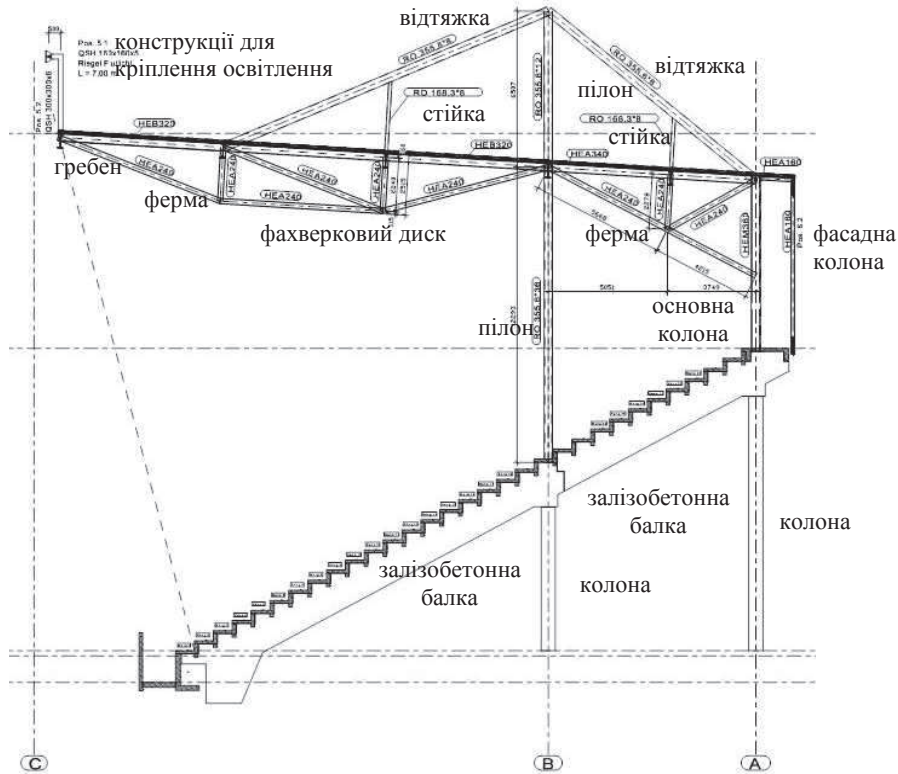


Рис. 1. Основна рамно – фермова система накриття трибун стадіону особливо важливим, так як пілони знаходяться в полі зору нижніх рядів трибун. Відтяжка над дахом тримає шарнірно приєднану частину даху від пілону до гребня і сприймає велику розтягуючу силу. При дії вітрового відсмоктування змінюється знак зусилля, а тому у відтяжці потрібно забрати значну силу стискання. 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) 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) в масштабі 1:10 (рис. 2). 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 виконано шарнірними (рис. 3).

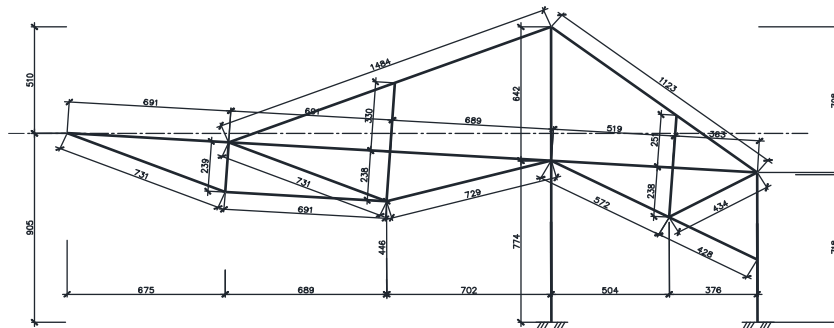


Рис. 2. Геометричні розміри моделі ферм

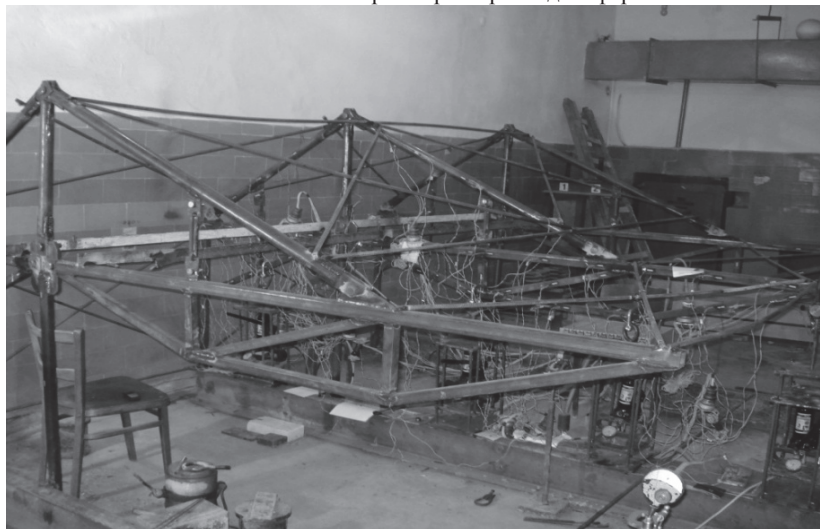


Рис. 3. Загальний вигляд дослідної конструкції

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  $40 \times 40 \times 3$  мм складала  $\sigma_y = 340$  МПа, межа міцності -  $\sigma_u = 377$  МПа, для квадратних труб  $30 \times 30 \times 2$  мм -  $\sigma_y = 335$  МПа,  $\sigma_u = 368$  МПа, а круглих труб  $40 \times 3$  мм -  $\sigma_y = 335$  МПа,  $\sigma_u = 365$  МПа, максимальні деформації  $\varepsilon_{sR} = 259,8 \times 10^{-5}$ .

Випробовування ферм виконувалися в спеціальній змонтованій установці, завантажуючи чотирма зосередженими силами по нижньому поясі фахверкового диску. [3]. Прогини ферм вимірювали прогиномірами 6ПАО ЛИСИ на торці гребеня та по його середині, а також визначали переміщення крайніх ферм відносно середньої. Деформації металу вимірювали тензометрами Гугенберга та електричними тензорезисторами, що наклеювалися на елементи ферми. Фіксування показників тензорезисторів здійснюватиметься за допомогою приладу СИИТ.

Навантаження на ферму здійснювалося у двох напрямках: від дії вертикальних та вітрових від'ємних навантажень (рис. 4). Дані навантаження приводилися до зосереджених сил, що прикладалися у вузлах ферми.

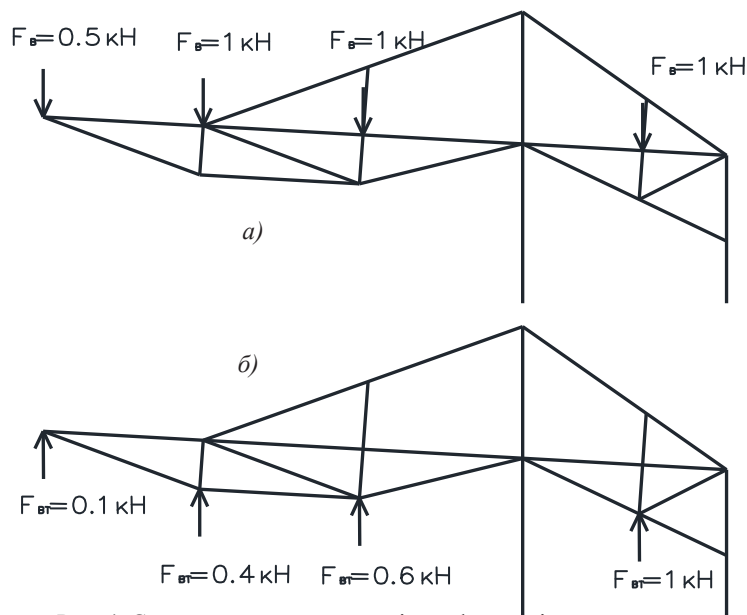


Рис. 4. Схеми навантаження дослідної ферми від одиничних сил: а – від дії вертикальних навантажень (власна вага, сніг), б – від дії вітрових навантажень

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.

**Деформативність рамно-фермової системи.** Не менший інтерес, ніж визначення реального напруженого стану, в експериментальних дослідженнях представляли переміщення гребеня ферми у вертикальному напрямку в площині ферми. Вимірювання переміщень виконувалося як посередині гребеня так і на його грані. Крім того визначалося і переміщення центральної ферми рамно-фермової системи відносно крайніх ферм, що враховувалося при обрахунку переміщення гребеня.

На рис. 5 та 6 зображені графіки залежності переміщень середини та краю гребеня від вертикального навантаження по ступенях завантаження. Можна відмітити про фактичне співпадання переміщень ферм, що свідчить про їх однорідність. Так при навантаженні  $F = 10$  кН переміщення в середині гребеня для РФ-1 склало  $\Delta = 21,23$  мм, а для РФ-3 -  $\Delta = 19,39$  мм. При цьому ж навантаженні переміщення на краю гребеня для РФ-2 склало  $\Delta = 27,19$  мм, а для РФ-3 -  $\Delta = 27,37$  мм.

Залежність переміщення від навантаження до  $F = 10$  кН була майже пропорційною, а при наступному поступовому збільшенні навантаження крива починала викривлятися. Про це свідчить і збільшення приросту переміщень по ступенях завантаження. Так згідно рис. 6 до навантаження  $F = 10$  кН приріст в середньому склав 2,79 мм, а при перевищенні цього рівня - 7,51 мм.

Також визначалися переміщення гребеня ферми від дії вітрового навантаження. Проте вони виявилися значно меншими за переміщення від вертикального навантаження. При  $F = 10$  кН максимальне значення

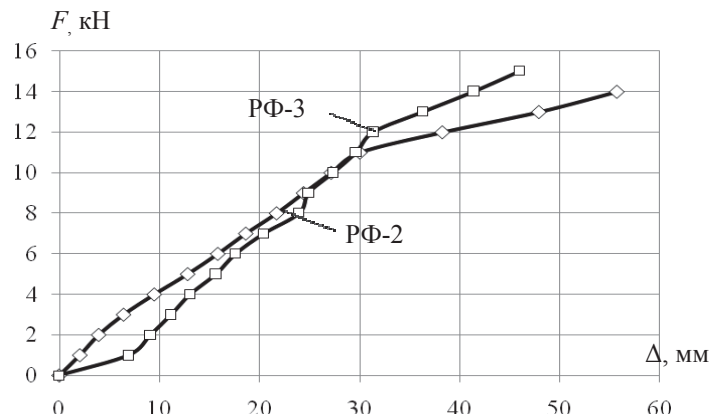


Рис. 5. Переміщення гребеня ферми в середньому перерізі при вертикальному навантаженні

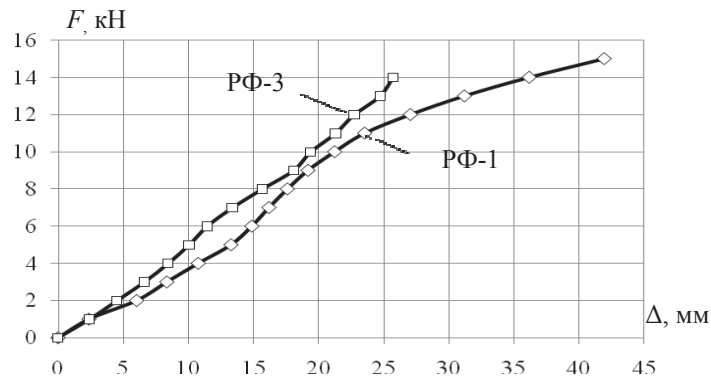


Рис. 6. Переміщення гребеня ферми в крайньому перерізі при вертикальному навантаженні

переміщення по трьом фермам склало  $\Delta = 7,89$  мм, а характер роботи був ідентичний переміщенням при постійному навантаженні.

В ПК “Лира” був виконаний розрахунок рамно – фермової системи від тих же навантажень, що були прикладені в досліді. В результаті чого були отримані переміщення вузлів рамно – фермової системи на ступенях навантаження. Так при навантаженні  $F = 10$  кН переміщення в середині гребеня склало  $\Delta = 19,34$  мм,. При цьому ж навантаженні переміщення на краю гребеня склало  $\Delta = 28,01$  мм. Тобто теоретичні значення переміщень отримані в ПК “Лира” майже співпадали з дослідними, а середня різниця склала: для переміщення на краю гребеня 4,8%, для переміщення в середині гребеня 3,5%.

**Висновок.** Жорсткість дослідної рамно – фермової системи відповідає жорсткості елементів змодельованих в ПК “Лира”, а максимальна різниця переміщень вузлів рамно – фермової системи складає 4,8%.

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. Rewinkel J.-P. Stadionsdacher - eine Betrachtung von Sanierung und Neubau. // Deutsches Ingenieurblatt: Sanierung & Instandsetzung, 3 - 2014 Marz. - S. 30 -33.
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.
4. Бабич Е.М., Ревінкель Й. – П., Філіпчук С.В. / Экспериментальное определение ветровой нагрузки на покрытие стадиона в г. Магдебурге / Строительство и архитектура: Весник Белорруско - Российского университета – Могилев: Белорруско - Российский университет, 2014. – Випуск 1 (42). – С. 126 – 135.