

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ ДАХУ СТАДІОНУ НА АЕРОДИНАМІЧНЕ НАВАНТАЖЕННЯ

© Кінаш Р.І., Копилов О.Є., Копилова І.В., 2007

**Експериментально досліджено розклади статичного тиску на поверхні даху моделі стадіону. Описано методику досліджень. Наведено оптимальні форми дахів з погляду величини аеродинамічного навантаження.**

**There are experimentally explored curricula of static pressure on the roof's surface of stadium model. The method of researches is described. The most optimum forms of roofs from the point of view the size of the aerodynamic loading are presented.**

**Вступ.** Великі просторові конструкції з порівняно малими висотами (торговельні зали, криті спортивно-видовищні арени) через специфіку вирішення дахів надзвичайно чутливі до дії метеорологічних навантажень: снігу, вітру, обледеніння. Нерозуміння серйозності цих навантажень може загрожувати катастрофою. За даними Управління головного будівельного надзору Республіки Польщі в 2004 році з 187 будівельних катастроф катастрофи, викликані дією природних сил (вітер, дощ, сніг, пожежа, вибух печі, удар блискавкою тощо), спричинили 94 катастрофи. Проектні помилки в комбінації з несприятливими атмосферними умовами були причинами багатьох катастроф: Катовіце 30.01.2006; Москва 23.02.2006; Бад-Рейхенхол 02.01.2006, серія катастроф у січні 2007 року в цілій Європі, зумовлених ураганами. Досить часто ці помилки були зумовлені недостатнім рівнем знань про роботу конструкції під впливом атмосферних чинників. Тому в цілому світі все частіше виконують дослідження, головною ціллю яких є поглиблення знань про поведінку конструкції під дією кліматичних факторів, між іншим вітру.

Дослідження в аеродинамічній трубі, незважаючи на постійне покращання ефективності математичних методів і тепер залишаються незамінними для отримання глибоких і усебічних знань про вплив вітру на будівельні конструкції і згідно з думкою провідних науковців належать до незамінних праць під час приготування проектів [1, 2].

**Попередники.** Подібні дослідження неодноразово виконувалися різними науковими колективами в багатьох країнах, між іншим: Р. Юзвяк, Я. Каспшик, Є.А. Журанський (Польща), К. Боррі (Італія), І. Лебедіч (Україна) і інші. У всіх цих дослідженнях визначали аеродинамічне навантаження для конкретного проекту, ми, на відміну від попередників, шукаємо для відповідних початкових вихідних умов (розміри стадіону в плані) оптимальне навантаження на дах конструкції з можливістю певної імпровізації: зміна форми даху, зовнішніх огороджувальних конструкцій (процент огороження).

**Мета роботи.** Головною метою цієї праці було поглиблення знань про вплив найчастіше використовуваних архітектурних вирішень під час проектування стадіонів (форма даху, оточення стінок по зовнішньому контуру споруди) на величину статичного аеродинамічного навантаження конструкції даху.

Праця є першою з серії статей, присвячених аналізу аеродинамічних досліджень моделі стадіону. У серії статей будуть наведені умови, в яких виконували експеримент, робочим обладнанням, моделлю. Головним результатом праць буде:

1. Знаходження оптимальних експериментальних технік під час дослідження моделей стадіонів.
2. Знаходження оптимальних спрощень під час модельних досліджень для потреб будівельно-архітектурної аеродинаміки.
3. Знаходження найкорисніших рішень форм дахів стадіонів з погляду аеродинамічних навантажень.

**Дослідницька техніка і апаратура.** Дослідження виконано в аеродинамічній трубі кафедри аеродинаміки Варшавської політехніки в грудні 2006 року. У поперечному перерізі аеродинамічна труба була квадратна зі стороною 1м. Цю аеродинамічну трубу ми неодноразово описували [3], тому у цій статті будуть подані найважливіші характеристики труби.

На підставі ескізу проекту стадіону, розробленого Національною донецькою академією будівництва і архітектури для Ф.К. “Шахтар-Донецьк”, виконано модель в масштабі 1:500. Ця модель відповідала лише геометричному критерію подібності, тому ми не ставили ціллю виконання динамічних досліджень: вимірювань аеродинамічних коливань даху та несучих конструкцій.

Дослідницький майданчик (рис. 1) було обладнано лише для вимірювання статичного тиску на поверхні даху стадіону, не досліджувався також вплив вітру на трибуни та футбольне поле.



*Рис. 1. Загальний вигляд дослідницького майданчика*

На поверхні даху стадіону були розміщені дренажні вимірювальні трубки, які були приєднані до багатоканального рідинного манометра (рис. 2, 3).

Манометр дозволяв одночасно поміряти статичний тиск в 48 точках. Результати вимірювань зчитувалися за допомогою рухомої балки-сканера з фотоелементами, які реагували на рівень рідини в кожній трубці манометра і після перетворення сигналу пересилали дані на комп'ютер. Дослідження виконували зі швидкістю напливу повітря в аеродинамічній трубі близько 25 м/с і інтенсивністю турбуленції, показаною на рис. 4.

Модель була прикріплена до пластини, яку можна обертати довкола вертикальної осі. Модель і пластина мали спільну вертикальну вісь. Подібна конструкція дозволила нам виконати аеродинамічні дослідження для кутів напливу повітря 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225° і 270°. Середня швидкість вітру (поза пристінним шаром) становила близько  $U = 25$  м/с.

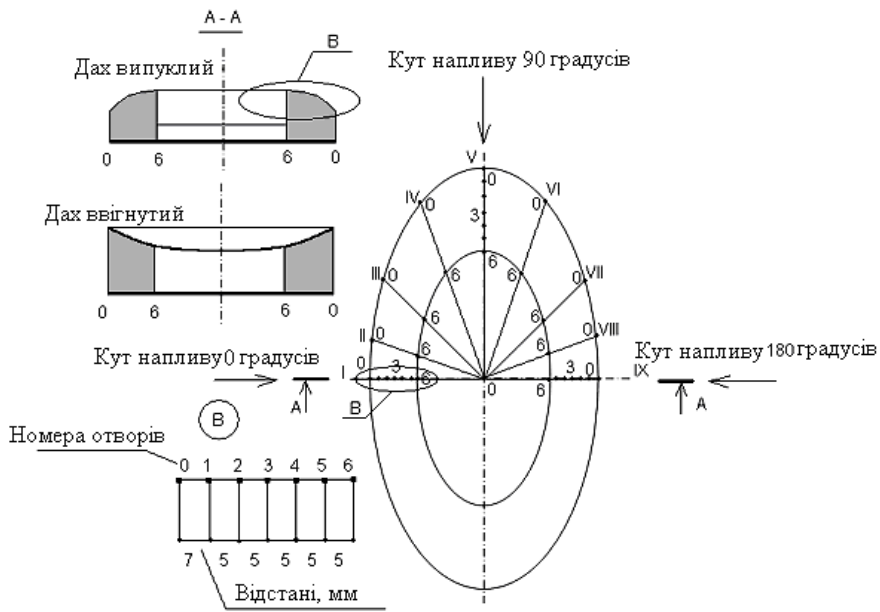


Рис. 2. Схема розміщення точок, в яких здійснювалися вимірювання. Римськими цифрами позначено перерізи, в яких виконувалися вимірювання розкладів тисків, арабськими – номери точок, в яких вимірювався тиск



Рис. 3. Багатоканальний рідинний манометр

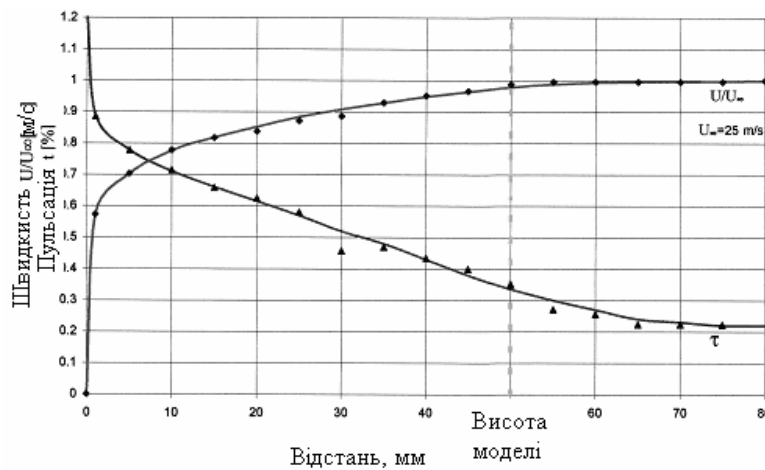


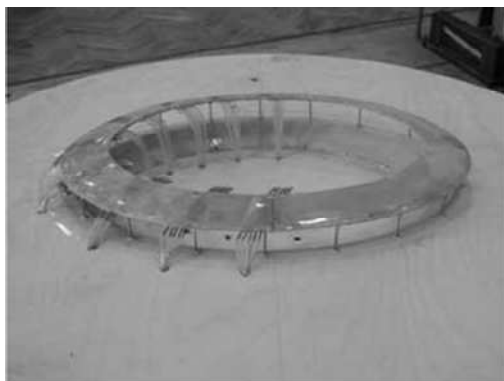
Рис. 4. Розклад інтенсивності турбуленції в аеродинамічній трубі під час виконання досліджень

Причиною певної неточності під час моделювання умов навколишнього середовища була відсутність даних по вітровій епюрі в місці будівництва.

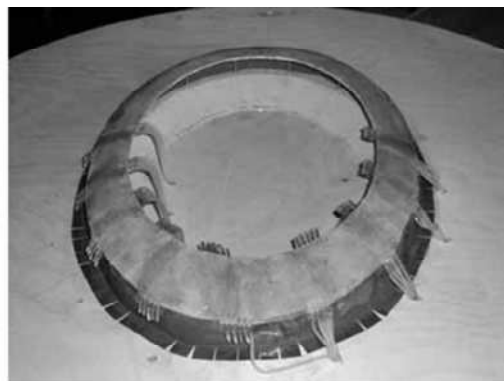
**Модель стадіону.** У плані стадіон являв собою еліпс з розмірами осей 246×170 м. Проект передбачував, що футбольне поле буде зі всіх сторін оточене трибунами. Прийнято, що трибуни будуть перекриті легкими сталевими конструкціями, з використання прозорих покрівельних матеріалів (наприклад, поліуглецевими плитами). Моделювалися дві форми даху: ввігнутий і випуклий (рис. 5, *a* і *в*) причому вертикальні несучі конструкції даху (колони) були без огороження або з огороженням (рис. 5).



а



б



в

Рис. 5. Досліджувані варіанти дахів стадіонів:  
а – ввігнутий дах; б – випуклий дах; в – випуклий дах з огороженням

Одночасно вимірювалися розклади тисків на зовнішній (верхній) і зовнішній (нижній) поверхнях моделі з застосуванням 48 дренажних трубок вмонтованих в 9 характерних розрізах (рис. 2). Дослідження виконували в 2 етапи: 1етап – вимірювання розкладів тиску на зовнішній поверхні даху; 2 етап – вимірювання тисків на внутрішній стороні.

Огороження колон стадіону виконували за допомогою клейкої стрічки. Пануючі аеродинамічні умови на ігровому полі не досліджувалися.

**Аналітична обробка результатів вимірювань.** У серії запланованих статей результати досліджень будуть подані у вигляді графіків розкладів тисків на верхній і нижній сторонах конструкції в осях: релятивний тиск – відстань між точками вимірювання.

Релятивний тиск  $P_{rel}$  визначали з залежності

$$P_{rel} = (\Delta p_{st} - \Delta p_{\infty}) / \Delta p_{\infty}, \quad (1)$$

де  $\Delta p_{st} = (p_{st} - p_a)$  – вимірний тиск;  $\Delta p_{\infty} = (p_{\infty} - p_a)$  – статичний тиск незбуреного напливу повітря.

На рис. 6 показані результати вимірювань розкладів релятивного тиску на поверхні ввігнутого даху для кута атаки повітря  $0^\circ$ , одержаного на зовнішній (рис. 6, а) та внутрішній поверхнях (рис. 6, б) даху стадіону без застосування зовнішнього огородження.

Приймаючи реальні розміри даху стадіону, використовуючи результати досліджень, можемо легко одержати величину аеродинамічного навантаження, що діє на покрівлю та складові частини конструкції даху.

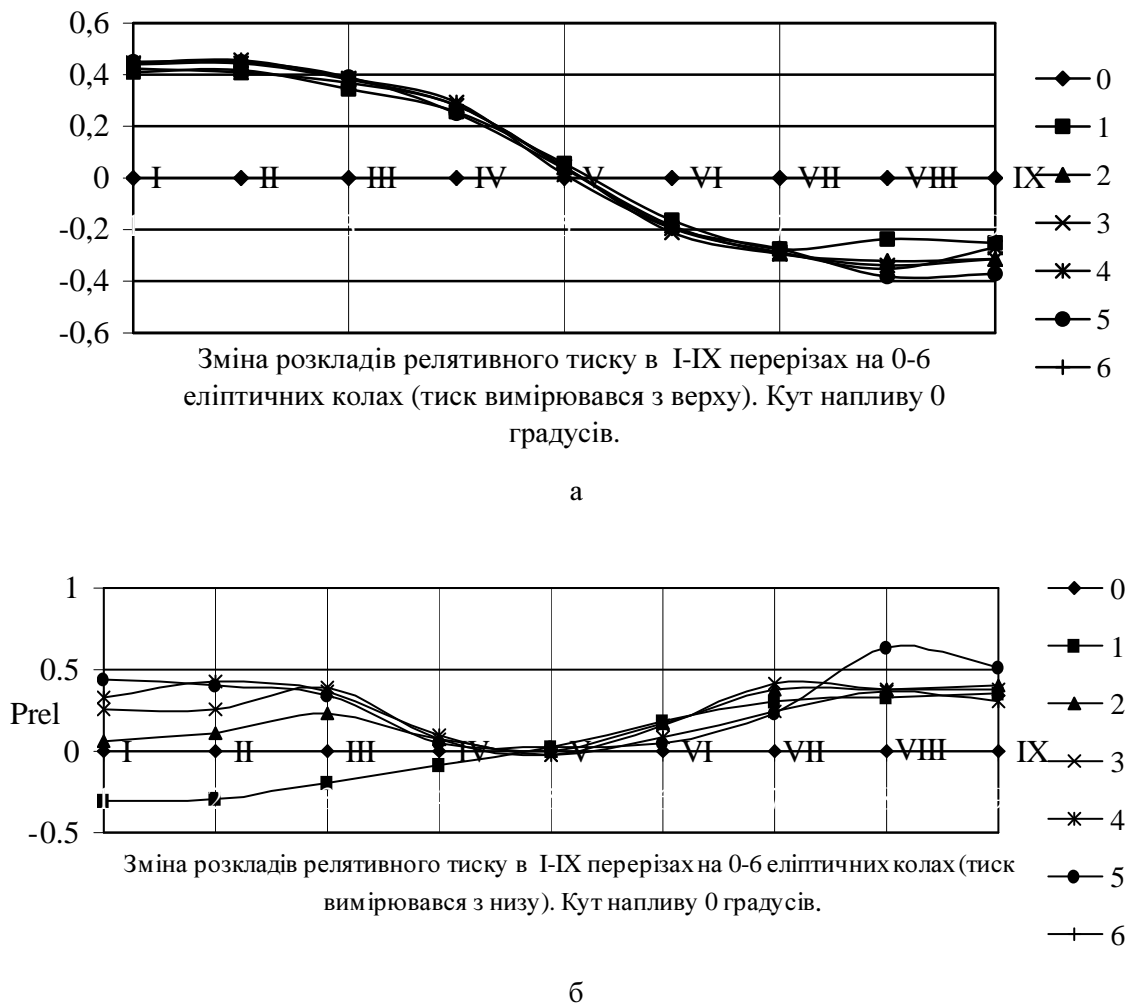


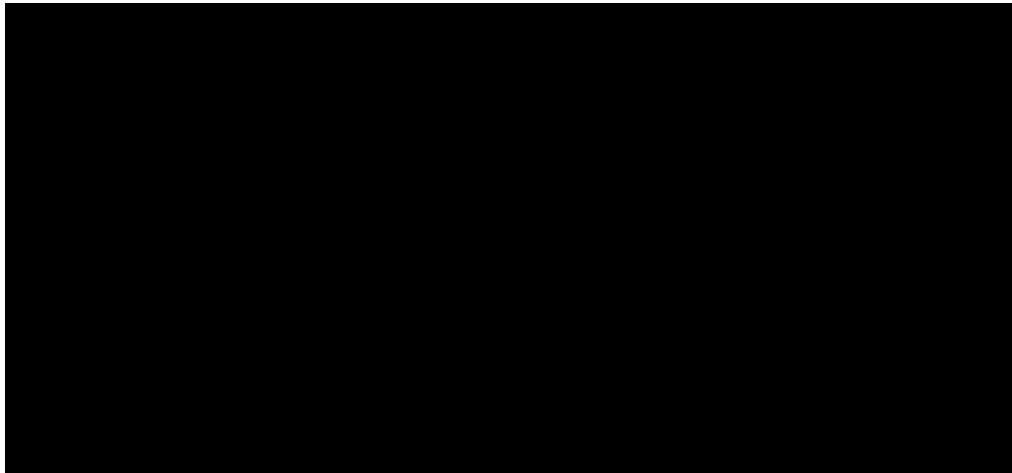
Рис. 6. Розклади релятивного тиску, одержані на поверхнях ввігнутого даху моделі стадіону: а – розклади тисків на верхній поверхні; б – знизу

Перше порівняння одержаних результатів розкладів тисків на поверхні ввігнутого і випуклого дахів (порівн. рис. 6 і 7) дає підстави ствердити, що на ввігнутий дах діятиме менше аеродинамічне навантаження.

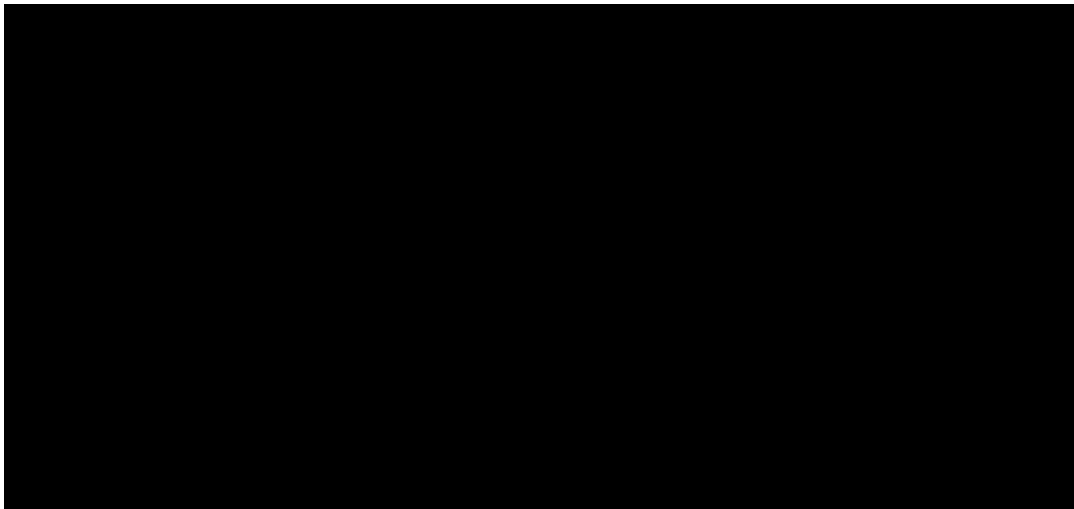
Зміна форми даху (з ввігнутої на випуклу) істотно змінює характер навантаження конструкції. Більша частина даху (і верхня і нижня частина) перебувають в зоні всмоктування.

Незалежно від форми даху найбільше навантаженими були перерізи, розміщені паралельно до напрямку напливу повітря.

**Заплановані дослідження.** Дослідження моделі даху з огороженим простором між колонами показали істотну різницю порівняно з варіантом без огородження. Для точнішого визначення аеродинамічних сил, що діють на модель з зовнішнім огородженням, прийнято рішення виконати дослідження наприкінці 2007 року.



а



б

Рис. 7. Розклади релятивного тиску, одержані на поверхнях випуклого даху моделі стадіону:  
а – розклади тисків на верхній поверхні; б – знизу

**Висновки.** Виконано аеродинамічні дослідження моделі стадіону. Описано модель, дослідницький майданчик, а також умови, в яких виконувалися дослідження.

Виконані дослідження були необхідним вступом, підготовкою, виконувалися передусім з метою оцінки можливості виконання в майбутньому докладніших досліджень, виявлення кола проблем при виконанні подібних праць. Разом з тим відточувалася технологія вимірювань, вибрано оптимальні моделі. У досліджуваній моделі застосовані дренажні трубки розміщувалися несиметрично, тому виконано вимірювання для взаємодоповнюючих кутів напливу повітря:  $0^\circ$  і  $180^\circ$ ,  $45^\circ$  і  $225^\circ$ ,  $90^\circ$  і  $270^\circ$ . Через це результати досліджень відрізнялися в межах 10%.

Одержані результати досліджень дозволяють обрати найефективнішу форму даху. Серед досліджуваних форм, найефективнішою з погляду величини аеродинамічного навантаження була ввігнута форма, але ця форма є мало використовувана через експлуатаційні труднощі. Найбільше навантаження, незалежно від форми даху, спостерігалися в перерізах, паралельних до напрямку напливу повітря.

1. Żurański J.A. *Wpływ warunków klimatycznych i terenowych na obciążenie wiatrem konstrukcje budowlane* // *Prace Naukowe ITB*. – Warszawa: Wydawnictwo ITB, 2006. 2. Borri C., Biagini P. *Wind response of large roofs of stadiums and arena* // *EACWE4 – The Fourth European & African Conference on Wind Engineering, Prague, 2005*. 3. Kopylov O., Wojciechowski J. *Aerodynamic interference of a set of circular cylinders* // *EACWE4 – The Fourth European & African Conference on Wind Engineering, Prague, 2005*.