

КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

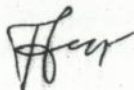
На правах рукопису

ДМИТРИЄВ  
Георгій Леонідович

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВЗАЄМОДІЇ ПРОСТОРОВИХ  
КОНСТРУКЦІЙ З ВІТРОМ

Спеціальність 05.23.17 - Будівельна механіка

АВТОРЕФЕРАТ  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук



Київ - 1996

AB 35.192

Дисертацією є рукопис.  
Роботу виконано на кафедрі  
дослідному інституті будівництва  
України при Київському державному  
університеті будівництва і архітектури.

ЛНБ України ім. В. Стефаника



00754026 (O)

Науковий керівник -

кандидат технічних наук,  
ст. наук. сп. Кислюк  
Володимир Микитович

Офіційні опоненти -

доктор фіз.-мат. наук,  
професор Літвінов  
Вільям Григорович

доктор технічних наук,  
ст. наук. сп. Снявський  
Олександр Леонідович

Провідна організація -

Науково дослідний інститут  
будівельних конструкцій  
(НДБК) Державного комітету  
України у справах місто-  
будування і архітектури,  
м. Київ

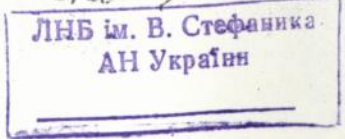
Захист відбудеться "21" ЧЕРВНЯ 1996 р. о 13 годині  
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 10.18.05 Київського  
державного технічного університету будівництва і архі-  
тектури за адресою: 252037, м. Київ, Повітрофлотський пр., 31.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Київського  
державного технічного університету будівництва і архітектури  
за адресою: 252037, м. Київ, Повітрофлотський пр., 31.

Автореферат розісланий "21" ТРАВНЯ 1996 р.

Вчений секретар  
спеціалізованої вченої ради  
кандидат технічних наук,  
старший науковий співробітник

В.Г. Кобієв



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми і ступінь дослідженості тематики дисертації. Ефективність використання сучасних легковагових тонкостінних конструкцій загальновідома. Проте, впровадження таких конструкцій стримується рядом причин. Однією з таких причин є їх розрахунок на вітрове навантаження. Висока кінематична рухомість та несприятливі динамічні властивості цих конструкцій роблять традиційні засоби обчислення вітрових навантажень малоєфективними. Тому дослідження взаємодії з вітром тонкостінних просторових конструкцій уявляється актуальною та перспективною задачею будівельної механіки.

Мета і основні завдання наукового дослідження полягають в розробці методики та алгоритмів чисельного моделювання взаємодії тонкостінних просторових конструкцій з вітровим потоком; реалізації розроблених алгоритмів на ЕОМ у вигляді програмно-обчислювального комплексу; використанні програмного комплексу для дослідження класу задач, що розглядаються.

Методи досліджень. У виконаних дослідженнях застосовано чисельне моделювання фізичних процесів шляхом чисельного дослідження відповідних математичних моделей.

Особливий внесок дисертанта у розробку наукових результатів полягає в наступному:

- запропоновано методику дослідження взаємодії тонкостінних конструкцій з вітровими потоками;
- створено програмно-обчислювальний комплекс, в якому реалізовано запропоновану методику;
- розв'язані нові задачі дослідження взаємодії просторових споруд з вітровими потоками.

Обґрунтування теоретичної і практичної цінності досліджень та їхньої наукової новини. Наукова новина та теоретичне значення результатів роботи полягають у наступному:

- розроблена нова методика дослідження взаємодії тонкостінних конструкцій з вітром на основі чисельного моделювання сумісної роботи несучих поверхонь і повітряного середовища;

- розроблена єдина система математичних моделей несучих поверхонь та вітрових потоків;

- розроблена уніфікована система скінченних елементів для чисельної реалізації різних математичних моделей, що використовуються в задачах, які розглядаються;

- розроблена методика застосована у розв'язанні нових задач дослідження взаємодії тонкостінних споруд з вітром.

Практична цінність дисертаційної роботи полягає в тому, що розроблена методика та програмно-обчислювальний комплекс, реалізований на її основі, можуть використовуватися при розрахунках та проектуванні споруд, для яких вітрове навантаження відіграє суттєву роль; результати досліджень можуть використовуватися в інших галузях (машинобудування, автомобілебудування, авіа- та суднобудування).

**Рівень реалізації, впровадження наукових розробок.** Дисертаційна робота виконана відповідно до загального плану досліджень, що проводяться на кафедрі будівельної механіки Київського державного технічного університету будівництва та архітектури і в НДІВМ при КДТУВА, під керівництвом кандидата технічних наук ст.наук.сп. В.М. Кислюка.

**Апробація роботи.** Результати роботи були викладені та обговорені на конференції Краснодарського краевого правління Всесоюзної агропромислової науково-технічної спілки "Мягкие и гибкие оболочки в народном хозяйстве" (Краснодар 1990), 53-54 науково-практичних конференціях Київського державного університету будівництва та архітектури (Київ, 1993-1994).

**Публікації.** По темі дисертації опубліковано 5 наукових праць, в яких викладено основний зміст дисертації.

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається з вступу, трьох розділів, заключення, списку літератури та містить 167 сторінок машиниписного тексту, у тому числі 102 сторінки основного тексту і 65 рисунків.

#### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі міститься огляд існуючих методів рішення задач аеропружності, побудовано основні концепції, зроблено вибір та обґрунтування системи математичних моделей та

розрахункових схем.

Клас задач, що розглядаються, обмежується дослідженням невисотних наземних споруд. Напружено-деформований стан несучих поверхонь описується трьома групами рівнянь: а) рівняння рівноваги; б) кінематичні рівняння; в) рівняння стану. Зовнішнім навантаженням для несучих поверхонь є реакція повітряного середовища. Сукупність зазначених рівнянь та математичних моделей повітряного середовища, з урахуванням спільних межових умов, складають загальну розрахункову модель задачі взаємодії несучих поверхонь з вітровим потоком.

Для опису повітряного середовища застосовується зональний підхід, який базується на використанні неоднакових математичних моделей для різних зон потоку. Розподіл потоку на зони здійснюється по характерному для цих зон впливу інерційних та в'язких сил, за наявності виділених напрямків руху і вимагає індивідуального підходу у кожному окремому випадку. Використовуються такі моделі: математична модель в'язкої рідини, що описується повною системою рівнянь Нав'є-Стокса; потенційна модель рідини, що описується рівнянням Пуассона; модель ідеальної рідини в формулюванні методу дискретних вихрів.

В першому розділі описується система математичних моделей, що використовується в роботі, а також методи чисельної реалізації математичних моделей.

Основним методом чисельної реалізації математичних моделей несучих поверхонь і повітряного середовища є метод скінчених елементів. Запропоновано 6-гранний скінченний елемент (СЕ), що складається з п'яти сімплексних тетраедрів. Розподіл СЕ на тетраедри здійснюється двома способами (рис. 1) з наступним осередненням.

Шукані функції апроксимуються в межах тетраедра лінійним інтерполяційним поліномом. Матриця коефіцієнтів системи алгебраїчних рівнянь (МКСАР) 6-гранного СЕ отримується шляхом "склеювання" МКСАР тетраедрів у вузлах 6-гранного СЕ.

Використання запропонованого СЕ дозволяє уникнути чисельного інтегрування, як у випадку нелінійного 6-гранного СЕ, та забезпечує відсутність орієнтації та більшу точність

в порівнянні із звичайним сімплексним тетраедром. Довільна скалярна функція інтерполюється у межах тетраедра лінійним поліномом:

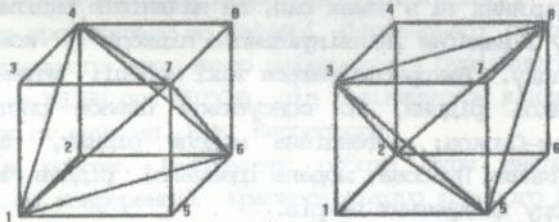
$$f(x^1, x^2, x^3) = f_0 + \sum_{j=1}^3 (f_j - f_0)x^j. \quad (1)$$

Вирази для похідних інтерполяційного полінома по глобальних координатних напрямках мають вигляд:

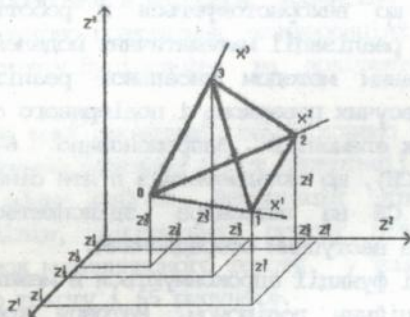
$$\frac{\partial f}{\partial z^i} = \frac{1}{|J|} \sum_{k=0}^3 D_{ik} f_k, \quad i=1,2,3, \quad (2)$$

де  $D_{ik}$  - лінійні коефіцієнти, які включають алгебраїчні доповнення якобіана ( $J$ ) локальної системи координат.

Для 2-вимірних задач 6-гранний СЕ перетворюється у відповідний плоский 4-кутний СЕ.



(a)



(б)

рис.1.

Для моделювання обдування наземних споруд використовується, в основному, метод дискретних вихрів.

Поверхні тіла та вихревого сліду апроксимуються безперервним вихревим шаром. Для визначення напрути вихревого шару використовується: а) межева умова непротікання поверхні тіла, б) постулат Чаплигіна-Жуковського про скінченність швидкостей на рогах поверхонь тіла, в) теорема про незмінність циркуляції по будь-якому замкненому рідинному контурі. Структура вихревого сліду визначається за відомою інтенсивністю вихревого шару на кожному кроці за часом.

В чисельних розрахунках здійснюється перехід від безперервно розподілених по простору параметрів та процесів їх зміни по часу до дискретних. Нестационарний вихревий шар на тілі та за ним моделюється системою дискретних вихрів, що становлять собою прямолінійні чи кільцеві нитки, залежно від форми тіла.

В другому розділі описується програмно-обчислювальний комплекс, що реалізує запропоновану методику.

Базовим чисельним методом, що використаний при розробці та реалізації програмно-обчислювального комплексу є метод скінчених елементів.

Алгоритми формування та рішення систем розв'язуючих рівнянь побудовані на основі блочного підходу. Елементами матриць коефіцієнтів та векторів правих частин, що формуються, використовуються квадратні матриці, розмірність яких визначається кількістю невідомих функцій у вузлі скінченного елемента.

Застосування методу скінчених елементів на основі блочного підходу дає можливість використання різноманітних математичних моделей з різним числом невідомих функцій, а також рішення задач різноманітної вимірності у рамках єдиного обчислювального алгоритму.

Характерною особливістю більшої частини задач аеропружності є суттєва нелінійність математичних моделей, що застосовуються, та високий порядок систем розв'язуючих рівнянь. Цим зумовлюються високі вимоги до використовуваних обчислювальних спромож. Розроблений комплекс прикладних програм, орієнтований на IBM сумісні комп'ютерні системи з процесорами типу Intel 386, 486.

Програмно-обчислювальний комплекс розділений за

функціональними ознаками на блоки, і оформлений у вигляді програмних функцій, написаних на С.

Для візуалізації результатів розрахунків використані графічні функції із стандартної бібліотеки Borland C++ та графічного пакету програм РСХ. Застосування динамічного розподілу оперативної пам'яті забезпечує вигоду завдання вхідних даних. Реалізована можливість чисельного моделювання у діалоговому режимі.

Спрощена блок-схема програмно-обчислювального комплексу представлена на рис. 2.

Програмний комплекс має дві основні незалежні гілки. Перша гілка призначена для програмної реалізації різноманітних математичних моделей, для чисельної реалізації яких використовується метод скінчених елементів. Ця частина обчислювального комплексу є найбільш програмоземкою, включає у себе близько двох сотен програмних функцій та має відносно складну алгоритмічну структуру.

В другій гілці програмного комплексу реалізовано метод дискретних вихрів.

При розробці комплексу програм передбачена можливість його поширення шляхом включення у структуру комплексу програмно реалізованих математичних моделей та алгоритмів, для чисельної реалізації потрібних задач.

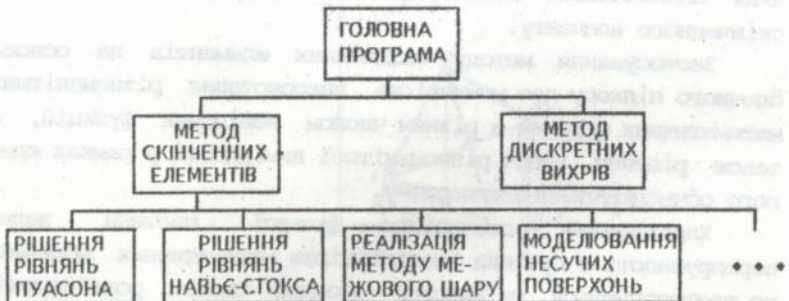


рис. 2.

У третьому розділі приведено чисельні рішення тестових задач і задач взаємодії деяких просторових споруд з вітром.

Розглянуто клас задач обдування вітровим потоком на-

земних споруд, поперечний розріз яких має форму, близьку до прямокутної. Обдування вітровим потоком споруд цього класу моделювалось як відривне обтікання прямокутного, розміщеного на непроникній площині, профілю методом дискретних вихрів. Експериментальні дані обдування тіл подібної форми свідчать про наявність трьох точок відриву вихревої заони. Дві точки відриву розташовуються на гострих рогах обтічного профілю, третя точка розміщена на поверхні землі перед обтічним тілом. Приєднаний вихревий шар, що замінює несучі поверхні обтічної споруди, моделювався прямолінійними, зеркально відображеними щодо поверхні землі, дискретними вихрами. Перші дискретні вихри вільних вихревих заон, які відірвалися з гострих рогів споруди, розташувалися в кутах обтічного профілю. Інтенсивність цих вихрів визначалася із розрахунку задачі на кожному кроці за часом. Інтенсивність першого вихору вільної вихревої заони, який відірвався від поверхні землі, на кожному часовому кроці визначалася за формулою

$$\omega = \frac{V_s^2 \Delta t}{2}, \quad (3)$$

де  $V_s$  - швидкість потоку на поверхні землі у точці відриву;  $\Delta t$  - розмір часового кроку. Формулу (3) одержано із припущення про квадратичність профілю швидкості на поверхні землі.

Результати розрахунків оцінювалися шляхом їх порівняння з даними, приведеними у СНІП II-6-82 "Нагрузки и воздействия", для відповідних споруд.

На рис. 3 представлено миттєве векторне поле швидкості потоку біля обтічного прямокутного профілю ( $H/L=1$ ) на мить безрозмірного часу  $t=10$ . Швидкості одержано з чисельного рішення задачі. На рис. 4 (а) показано епюри тиску, приведені у СНІП II-6-82 для споруд, які мають прямокутну форму поперечних розрізів, з відношенням  $H/L=2,1$  і  $0,5$ . На рис. 4 (б) показано осереднені за період безрозмірного часу  $t = 5-15$ , епюри тиску, одержані з чисельного рішення задачі обтікання прямокутних ( $H/L = 2, 1, 0,5$ ) профілів. Числа, які стоять поруч з епюрами, позначають величини безрозмірних аеродинамічних коефіцієнтів для кожної із сторін профілю.

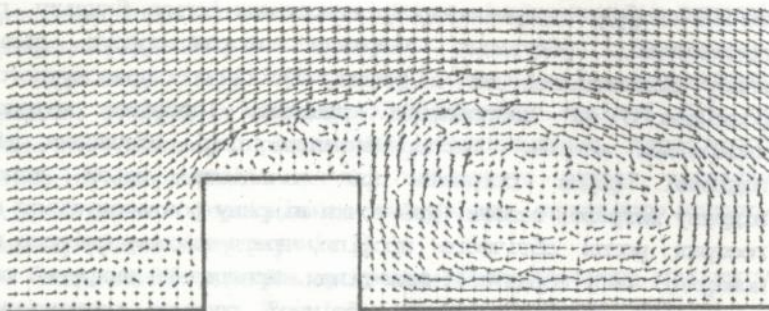


рис. 3.

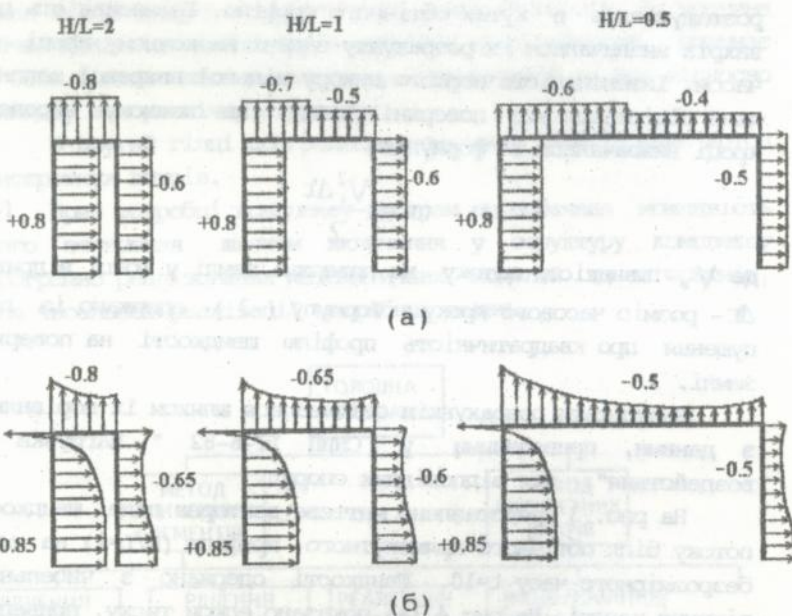


рис. 4.

Розглянуто задачу взаємодії циліндричної повітряно-опорної оболонки (рис. 5,6) з поперечним потоком вітру. Основною метою проведених розрахунків була оцінка

впливу на НДС оболонки урахування деформацій при визначенні вітрового діяння, а також оцінка ефективності запропонованої методики шляхом порівняння результатів розрахунку з відповідними даними, наведеними у літературі.

Задача вирішується за двома етапами. На першому етапі моделюється сумісна робота оболонки і вітрового потоку на кожному кроці за часом. Вітровий потік моделюється за допомогою методу дискретних вихрів спільно з методом прикордонного шару. Для опису повітряноопорної оболонки використовується 2-вимірний модель гнучкої нитки. Динамічні властивості оболонки не враховувалися, бо вітровий вплив на даний клас споруд не набуває коливального характеру. Моделювання взаємодії проводиться до моменту, доки процес не набуває стаціонарного характеру (деформації оболонки та вітрове навантаження не змінюються за часом).

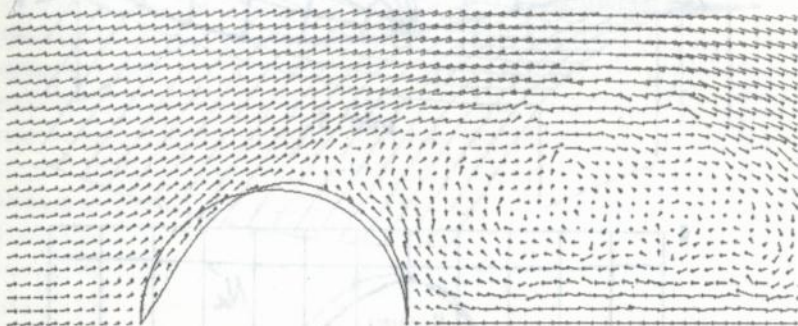


рис. 5.

На другому етапі визначається напружено-деформований стан споруди за допомогою 3-вимірної моделі м'якої оболонки. Епіора тиску у середньому перетині оболонки приймається з чисельного розрахунку взаємодії з вітром гнучкої нитки. Через те, що деформації бокової частини оболонки малі, у порівнянні з деформаціями середнього перетину (рис. 6), тиск вітру у боковій частині прийнято на основі експериментальних даних, одержаних при обдуванні сфери для відповідного

числа Рейнольдса. Розподіл тиску по всій поверхні оболонки визначається інтерполяцією тиску у середньому перетині та на боках.

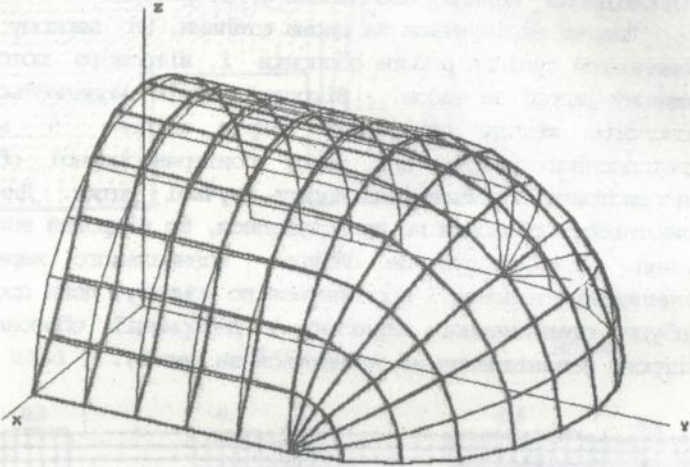


рис. 6.

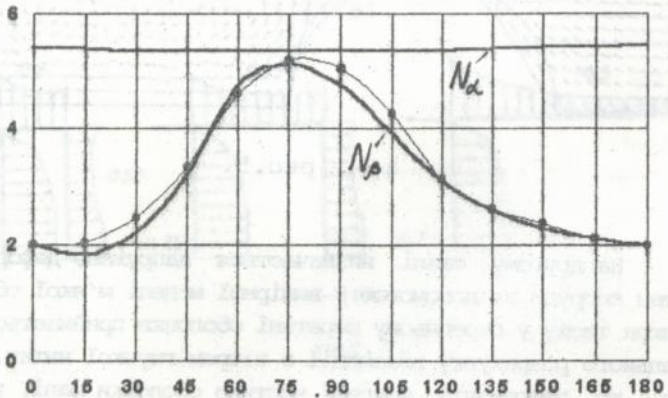


рис. 7.

На рис. 6 показано, одержаний розрахунком, деформований

стан скінченно-елементної моделі оболонки (тонкими лініями показано недеформований стан). На рис. 7 показано одержані розрахунком графіки кільцевих  $N_\theta$  та подовжніх  $N_x$  зусиль у середній частині оболонки. Тонкою лінією показана крива подовжніх зусиль в оболонці під дією вітрового навантаження, одержаного без обліку деформацій.

Результати розрахунку порівнювалися з відповідними експериментальними даними.

На основі запропонованої методики досліджені коливання переднапруженого вантового навісу, що перебуває під впливом поперечного потоку вітру (рис. 8).

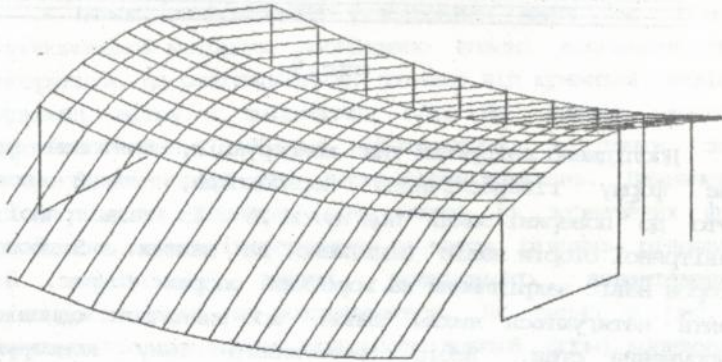


рис. 8.

Вітровий потік моделюється за допомогою методу дискретних вихрів у 2-вимірній постановці. Для опису вантового навісу використовується математична модель переднапруженої м'якої оболонки. Коливання оболонки моделюється прямим інтегруванням за часом рівнянь рівноваги методом Ньюмарка за неявною схемою.

Загальний алгоритм моделювання задачі пропонується наступний. Вплив вітру на навіс визначається із розрахунку обдування плоского профілю (рис. 9) на кожному кроці за часом. Профіль має форму середнього перетину навісу і моделюється дискретними вихрями з урахуванням близькості

твердої поверхні (землі). Вітрове тиснення, одержане із розрахунку обдування профілю, використовується як зовнішнє навантаження при моделюванні коливань вантового навісу на кожному кроці за часом.

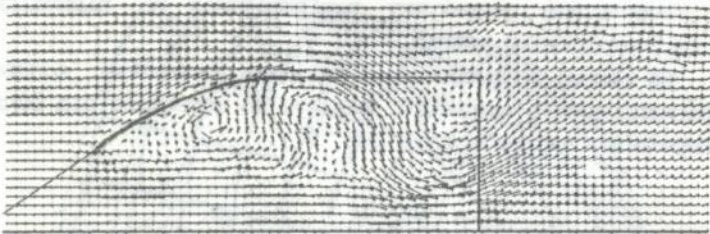


рис. 9.

Досліджено наступний тип конструкцій. Вантовий навіс має форму гіперболічного параболоїда, який повернуто до поверхні землі под кутом  $25^\circ$ . Із підвітряної та навітряної сторін навіс підвішено на вантах. З бокових сторін навіс закріплений на жорстких опорах (рис. 8). Ванги натягуються таким чином, щоб виключити одновісний напружений стан. Вибір зазначеного типу конструкцій зумовлений тим, що з одного боку подібні споруди зручно використовувати для перекриття великих площ (наприклад, трибун спортивної арени), з іншого боку періодичний характер вітрового навантаження, властивий даному типу споруд, може викликати небезпечні резонансні явища.

Отримано чисельне рішення задачі моделювання коливань навісу розмірами:  $40 \times 20$  м. Навіс знаходиться під дією поперечного потоку вітру швидкістю  $30$  м/с. Навіс моделювався СЕ сіткою розмірами  $10 \times 10$  (з урахуванням симетрії задачі). Розрахунковий відрізок часу прийнятий рівним  $2T$  ( $T$ -період коливань аеродинамічного коефіцієнту навісу). З метою перевірки рішень, що отримувались, моделювання проводилося з різними кроками за часом  $\Delta t = T/100 - T/50$ . На рис. 10 показано одержані розрахунком графіки зміни за часом аеродинамічного коефіцієнту  $C_p$  і

безрозмірної координати центру тиску  $X_d$  навісу.

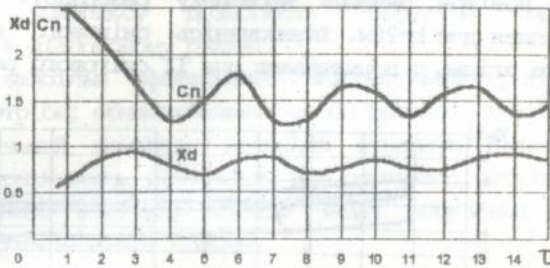


рис.10.

З метою попередження резонансних явищ на основі запропонованої методики досліджено власні коливання типу конструкцій, що розглядаються, залежно від кривизни навісу, швидкості вітру і відношення  $L/b$ . На основі аналізу вітрового впливу найбільш небезпечними, з точки зору резонансу, являються дві перші форми коливань. Визначення частот власних коливань для кожної із зазначених форм визначалось шляхом інтегрування за часом рівнянь рівноваги при початковому впливі зовнішнього навантаження, відповідної форми, що розглядається. Як видно з рис. 10 частота вітрового впливу відповідна першій формі коливань в 2 рази вище частоти, відповідної другій формі.

Внаслідок досліджень з'ясовано, що найбільш низькі власні частоти типу конструкцій, що розглядається, дець на порядок вищі найвищій частоті зміни вітрового навантаження при нормативних швидкостях вітру. Проте урахування снігового навантаження сильно знижує власні частоти, роблячи їх близькими до частот вітрового навантаження. Також з'ясовано, що при деяких кривизнах, частота другої форми власних коливань навісу може бути нижче частоти першої форми, що робить другу форму більш небезпечною, з точки зору можливості резонансу.

На рис. 11 зображено побудовані внаслідок аналізу одержаних рішень графіки небезпечних співвідношень швидкості вітру і розмірів споруди для навісів різних ступенів кривизни. Розміри конструкцій змінювались у напрямку,

перпендикулярному до напрямку вітру, бо збільшення розміру у напрямі повітря зменшує небезпеку резонансу. Дослідження проводилися для  $b=20\text{м}$ . Інтенсивність снігового навантаження прийнята згідно з нормативами для II снігового району.

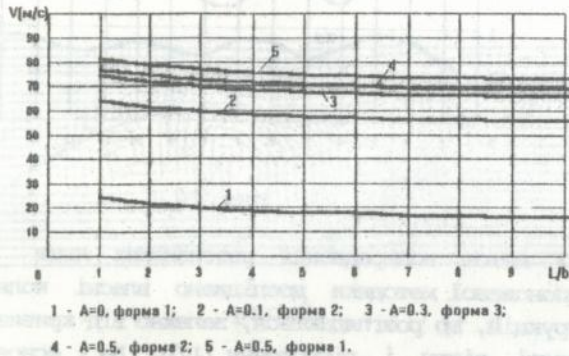


рис.11.

#### ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ РОБОТИ І ПІДСУМКОВІ ВИСНОВКИ

1. Дослідження процесів взаємодії просторових конструкцій з вітровим потоком не може бути засновано на єдиній розрахунковій схемі. Питання вибору системи математичних моделей є приватною задачею для кожного розглядаемого об'єкту.

2. Запропоновано систему математичних моделей, яка описує рух повітряного середовища та напружено-деформований стан несучих поверхонь.

3. Запропонована система моделей дозволяє застосовувати декомпозицію задач з метою побудови ефективних алгоритмів.

4. Запропонована єдина система скінчених елементів та використання блочного підходу, що реалізовані в програмно-обчислювальному комплексі, дозволяють використовувати різні математичні моделі на основі єдиного обчислювального алгоритму.

5. Розглянуто розрахункові схеми стаціонарних та нестаціонарних задач обдування споруд з поверхнями різних

ступенів кривизни.

6. Інтерактивні та графічні засоби розробленого програмного комплексу дозволяють керувати процесом моделювання в діалоговому режимі.

7. Для найбільш ефективного використання програмного комплексу потрібні обчислювальні засоби високої потужності, проте зазначений комплекс дозволив отримати цікаві, з практичної точки зору, рішення на ЕОМ середньої потужності.

8. Отримано чисельні рішення задач обдування вітром деяких жорстких наземних споруд.

9. Досліджено взаємодію циліндричної пневматичної оболонки з поперечним потоком вітру.

10. Досліджено коливання вантового навісу під впливом вітрового навантаження.

11. Для моделювання взаємодії з вітровим потоком конструкцій, які мають гострі ребра, хороші результати дає метод дискретних вихрів.

12. Для розрахунків поверхонь великої кривизни додатково до методу дискретних вихрів потрібно застосовувати метод межового шару.

13. Чисельні рішення задач взаємодії з вітровим потоком жорстких конструкцій можуть бути використані для уточнення даних СНИП "Нагрузки и воздействия".

14. При обдуванні гнучких конструкцій потрібно ураховувати взаємний вплив деформацій конструкцій і вітрового навантаження.

Основний зміст дисертації відображений в наступних публікаціях:

1. О моделировании потока воздуха в условиях городской застройки // Прикладная информатика в архитектуре и градостроительстве. - К.: КиевВНИИТАГ, 1990.

2. Численное моделирование отрывного обтекания наземных сооружений идеальной жидкостью. - Деп. в ГНТБ України: N 2399-Ук93, 06.12.93.

3. Численное решение уравнений Навье-Стокса методом конечных элементов. - Деп. в ГНТБ України: N 2400 - Ук93, 06.12.93.

4. Численное моделирование потока воздуха при обтекании

гибких конструкций//Тез. докл. конференция Краснодарского краевого правления Всесоюзного агропромышленного научно-технического общества "Мягкие и гибкие оболочки в народном хозяйстве".- Краснодар, 1990.- с. 141.

5. Разработка методики и численная реализация задач взаимодействия пространственных конструкций с потоком жидкости и газа//Тези доп. 54-ї науково-практичної конференції київського інженерно-будівельного інституту. - К.: Київ, 1993.- с. 157.

Dmitriev G. L. Numerical modeling of interaction on three-dimensional designs with the wind. The thesis as a manuscript for the application of the doctor of philosophy degree in structural mechanics, Kiev State Technical University of Construction and Architecture, Kyiv 1996.

A technique of research interactions of on three-dimensional designs with the wind on the basis of numerical modeling of joint work designs surfaces and air environment Offered the technique is realized as software-computing Complex, which can be used for account and designing of structures for which wind forces plays an essential role.

Дмитриев Г.Л. Численное моделирование взаимодействия пространственных конструкций с ветром. Диссертация в виде рукописи на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.17 - строительная механика, Киевский государственный технический университет строительства и архитектуры, Киев 1996.

Предложена методика исследования взаимодействия пространственных конструкций с ветровым потоком на основе численного моделирования совместной работы несущих поверхностей и воздушной среды. Предложенная методика реализована в виде программно-вычислительного комплекса, который может быть использован при расчете и проектировании сооружений, для которых ветровая нагрузка играет существенную роль.

Ключові слова: повітряне середовище, тонкостінні споруди, математичні моделі, чисельне моделювання, скінченні елементи.

ЛНБ ім. В. Стефанива  
АН України

Подп. к печ. 20.05.96 Формат 80×84<sup>1</sup>/<sub>16</sub>.  
Бумага тип. № 1 . Способ печати офсетный. Услови. печ. л. 40  
Услови. кр.-отт. 40 . Уч.-изд. л 40 .  
Тираж 100 . Зак. № 6-1884 .

---

Фирма «ВИПОЛ»  
252151, г. Киев, ул. Волынская, 60.

436512

AB 35.192