

ДВА ПОГЛЯДИ НА СУЧАСНУ АЕРОДИНАМІКУ ОПОР ЗВ'ЯЗКУ

У статті наведено дві точки зору на шлях подальшого розвитку аеродинаміки опор зв'язку. Перший шлях пов'язується із класичними модельними випробуваннями аеродинамічних труб, другий – з методами обчислювальної аеродинаміки. Проаналізовано переваги та недоліки під-ходів і визначено сферу раціонального застосування кожного з них.

Ключові слова: аеродинаміка, опори зв'язку, аеродинамічні труби, обчислювальна аеродинаміка, антеннофідерне обладнання.

Постановка проблеми. Аеродинамічний розрахунок моностовбурних і гратчастих опор зв'язку пов'язаний із визначенням аеродинамічних сил та моментів, що діють на них. У ряді випадків ця задача може бути вирішена теоретичним шляхом, але теоретична схема явищ в аеродинаміці не завжди точно описує їх, тому експериментальний шлях виявляється у більшості випадків більш обґрунтованим і достовірним.

Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. У сучасній науково-технічній спільноті існують дві діаметрально протилежні точки зору на аеродинаміку будівельних конструкцій у цілому й опор зв'язку зокрема. Перша з них виходить з того, що адекватне вирішення задач аеродинаміки може виконуватися тільки за допомогою модельних випробувань в аеродинамічній трубі; інша, навпаки, пропагує перехід виключно на методи комп'ютерних симуляцій, на кшталт скінченноелементного аналізу. Проте така кардинальна постановка питання є неправильною, тому що обидва підходи повинні не конкурувати, а доповнювати один одного.

Аналіз останніх досліджень. Зіставлення результатів продувок моделей в аеродинамічних трубах із даними комп'ютерних симуляцій – відносно нова проблема, як і сама галузь обчислювальної аеродинаміки. Назвемо у зв'язку із цим роботи [1 – 7], які не тільки сформулювали сучасний апарат обчислювальної аеродинаміки, але й окреслили вектор її подальшого розвитку. Однак ці роботи надто перебільшували роль та можливість комп'ютерного моделювання, не беручи до уваги класичні аеродинамічні процедури, які в багатьох випадках залишаються незамінними.

Формулювання цілей статті. У межах цієї роботи зроблена спроба поглянути на проблему узгодженості двох, на нашу думку, рівноправних підходів по-новому; проаналізувати їх переваги та недоліки й окреслити галузь їх раціонального застосування.

Виклад основного матеріалу. Необхідна експериментальна інформація про аеродинамічні сили і моменти може бути отримана за допомогою методів фізичного (аеродинамічні труби) або математичного (комп'ютерного) моделювання. Перший метод є класичним для будівельної аеродинаміки, і саме йому завдячують усі світові стандарти за первинну інформацію про вітрові впливи на будівлі та споруди. Проте результати випробувань в аеродинамічній трубі надзвичайно залежать від «чистоти» дослідної моделі й можливості відтворення аеродинамічних ефектів у заданому масштабі. Це обумовлює високу вартість таких досліджень, яка додатково зростає внаслідок довготривалого періоду підготовчих робіт.

Методи комп'ютерного моделювання менш трудомісткі й дорогі та з властивою їм математичною точністю дотримуються наперед заданої програми експерименту. Однак задачі комп'ютерного обтікання пов'язані з підвищеними вимогами до потужності обчислювальних платформ, зокрема переходом на високопродуктивні багатопроесорні системи кластерного рівня. Крім цього, особливості «комп'ютерної аеродинаміки» такі, що практично на всіх етапах роботи: при підготовці геометричної моделі, постановці контактних і граничних умов, виконанні дискретизації, налаштуванні параметрів розв'язуючих процедур, відображенні та інтерпретації результатів і т.п. – наявний фактор неоднозначності. Недарма чимала кількість публікацій, головним чином виданих за кордоном, у своїй назві містить слово

«мистецтво» або похідне від нього. Насправді природа цього «мистецтва» цілком аналогічна до тієї, що присутня у багатьох сферах діяльності: при однорідних умовах кінцеві результати, отримані різними виконавцями, можуть відрізнятись. Тому комп'ютерні моделі, починаючи з деякого рівня складності, потребують як певного рівня формальних знань у конкретних галузях, так і деякої частки творчості, вміння відчутти грань між допустимою й прийнятною точністю, відокремити проблеми, що породжуються недосконалістю програми, від результатів своєї діяльності. Звичайно, більшість питань розв'язуються за допомогою «об'єктивних» інструментів, однак випадків, коли вимагається експертний, суб'єктивний за характером аналіз, більш, ніж достатньо.

Доволі часто останнім часом одним із факторів, який стимулює впровадження розрахункових програм, називають можливість заміни або скорочення фізичних експериментів за рахунок комп'ютерної симуляції. Проте, як показує життя, пов'язана із численними відмовами складних сучасних систем на етапах фінальних випробувань наявна колись ейфорія, заснована на помилковому розумінні універсальності та самодостатності комп'ютерного моделювання, є неактуальною. Звичайно, суть проблеми не тільки в недосконалості інструментів, але й у людському факторі. Він, у свою чергу, складається з нестачі знань у предметній сфері, а також із нерозуміння (недомислення) особливостей реалізації знань у конкретних програмах. Ці складові, навіть при наближенні якості й функціональності програм до ідеалу, непереборні в принципі. Тому експериментальне відпрацювання (також, до речі, невідне від потенційних методичних помилок) залишається та залишатиметься обов'язковим.

Будучи об'єктивно зацікавленим у всьлякому поширенні методів комп'ютерної аеродинаміки, автор вважає, що слід раціонально поєднувати фізичні та комп'ютерні методи інженерного аналізу. Для деяких задач краще використовувати аеродинамічну трубу, для деяких методи комп'ютерного моделювання. Перевага моделювання у тому, що можна перевірити, як буде себе поводити споруда ще до детальної проробки її конструктивних особливостей, адже для продувки макета споруди в аеродинамічній трубі необхідно підготувати точну модель, яку кожного разу необхідно робити знову, якщо вносяться деякі корективи. Крім цього, за допомогою комп'ютерної аеродинаміки вигідно розглядати споруду в її взаємодії з повітряним потоком, отримувати уявлення про незначні подробиці та виявляти проблеми на ранній стадії досліджень. Проте комп'ютерний аналіз є доволі довготривалим процесом, а в аеродинамічній трубі багато речей стають зрозумілими буквально за кілька хвилин, тому навіть тоді, коли комп'ютери стануть на порядок потужнішими, для звичних інструментів завжди знайдеться місце.

Опори зв'язку, як і переважна більшість будівельних конструкцій, належать до тіл, погано обтічної форми. Для однозначного визначення вітрового впливу на них необхідно встановити силу лобового опору, підйомну (бокову) силу та аеродинамічний момент. Аеродинамічний вплив на тіло можна також представити через складові результуючої сили на координатні осі системи координат, пов'язаної з тілом. У загальному ви-падку величина аеродинамічних сил та моменту залежить від тіла (форма, розміри, стан поверхні, орієнтація в потоці повітря і т.п.) та параметрів повітряного потоку (швидкості вітру, інтенсивності турбулентності).

Аеродинамічні властивості суцільностінчастих опор трубчастого та полігонального поперечного перерізу на даний момент досліджені досить детально, а тому питань щодо опису спектра вітрових впливів на них, як правило, не виникає. Про гратчасті просторові системи такого сказати не можна, тому що наявних результатів модельних аеродинамічних випро-бувань у край мало. Крім цього, навіть такі поодинокі дослідження не пов-ною мірою враховують сучасну специфіку конструювання та експлуатації цих споруд. Так, наприклад, відсутні результати продувки просторових секцій із великим коефіцієнтом суцільності, комбінованих секцій, коли пояси та решітка виконані з елементів різного профілю, секцій із різними коефіцієнтами суцільності граней, секцій із локальним екрануванням (наприклад, антенним обладнанням) несучих елементів. Проте очевидно, що сучасним гратчастим опорам зв'язку характерні ці специфічні особ-ливості. На підтвердження висловлених зауважень на рис. 1 зображена баштова опора телевізійного та мобільного зв'язку в м. Умань, із чого можна бачити, що існуючими нормативними підходами просто неможливо обмежитися, щоб адекватно охарактеризувати вітрові впливи на башту.

Звичайно, можна погодитися, що не кожній опорі притаманні такий ступінь захарашування антеннофідерним обладнанням, але й універсального критерію щодо необхідності врахування чи можливості нехтування цим обладнанням немає. Тому очевидно, що збирання даних про вітрове навантаження на цей клас висотних споруд повинне виконуватися, виходячи не тільки з аеродинаміки несучих конструкцій, але й урахувати негативний вплив допоміжних елементів. Тільки при такому комбінованому підході можна претендувати на об'єктивну оцінку напружено-деформованого стану опор.

Таким чином, аеродинамічні властивості опор зв'язку повинні характеризуватися такими параметрами: конструктивними особливостями опор (обрисом у плані, взаємним розташуванням конструкцій, скісністю по висоті несучого стовбура і т.п.), формою поперечного перерізу несучих елементів, кількістю фідерів антенного обладнання та способом їх прокладання по суцільностінчастому або гратчастому стовбуру опори (кількість граней, по яких прокладаються фідери, віддаленість від поясів опор, кількість «шарів» фідерів у межах одного кабель-росту і т.п.), типом, кількістю та взаємним розташуванням антенного обладнання взагалі й у межах одного висотного рівня, місцем розташування опори: окремо стояча в умовах відкритої рівнинної місцевості або влаштована на покрівлі існуючої будівлі зі щільною міською забудовою, де можливі складні інтерференційні ефекти. Як можна бачити, факторів впливу доволі багато і всі вони суттєво впливають на загальну аеродинамічну реакцію опор в умовах змінного та «непередбачуваного» вітрового потоку.

Цілком логічно вважати, що врахувати всі описані фактори в рамках норм проектування неможливо, тому що для цього необхідно виконати не одну сотню акуратних, дорогих і «повільних» експериментальних досліджень. Навіть якщо припустити, що такі дослідження будуть виконані, то неважко уявити, яким за кількістю сторінок буде нормативний документ із розрахунку опор. І все одно, яким би «всеосяжним» він не був, завжди знайдеться така розрахункова ситуація, яка не передбачена цим нормативом. Виконувати індивідуальний підхід до кожної опори також недоцільно, тому що, по-перше, це не такий відповідальний клас споруд, щоб витратити на нього багато часу та коштів, по-друге, в кожному проекті наявні немало однотипних розрахункових положень, які можна об'єднати загальними вказівками.

Ураховуючи висловлені зауваження, можна погодитися із двояким підходом до оцінювання аеродинамічних характеристик опор. У рамках норм проектування наводяться конкретні вказівки з оцінювання аеродинамічного опору споруд та процедури отримання його числового еквівалента для найбільш типових ситуацій і ситуацій, які за певних обмежень можуть бути зведені до типових. Для інших ситуацій, що зустрічаються рідко чи не досліджені на стадії підготовки нормативного документа, регламентується або груба оцінка зверху аеродинамічного опору, або даються детальні рекомендації щодо його оцінювання методами обчислювальної аеродинаміки (саме обчислювальної, а не фізичної, тому що автор не може собі уявити, щоб на стадіях проектування опор виготовлялися їх макети та продувки при різноманітній конфігурації антеннофідерного обладнання). При цьому такі два підходи для інженера повинні мати однакову юридичну силу, тому що тільки конкретна проектна задача може обґрунтувати доцільність застосування «грубої швидкої» чи «точної повільної» процедури. Зважаючи на все більшу популяризацію методів комп'ютерного аналізу й удосконалення технології розрахунків вітрових впливів на будівлі та споруди при неухильно зростаючій потужності комп'ютерів, такий шлях розвитку нормативної бази здається нам доцільним та перспективним. Тим більше, що нормативні формулювання ДБН В.1.2-2:2006 «слід виконувати ... обдування моделей в аеродинамічній трубі» неважко доповнити словами «або комп'ютерними розрахунками, виконаними верифікованими програмними комплексами». Що стосується експериментальних досліджень в аеродинамічних трубах, то їх, на думку автора, доцільно виконувати для отримання загальних результатів, характерних для опор зв'язку в цілому. Наприклад, оцінювання аеродинамічних характеристик при різних коефіцієнтах суцільності граней опор і кутах атаки або визначення аеродинамічного опору ізольованих об'єктів антенного та технологічного обладнання.

Висновки. Висловлені міркування, на наш погляд, дозволяють правильно організувати дослідження в галузі будівельної аеродинаміки опор зв'язку. Рационально поєднуючи класичні прийоми модельних випробувань в аеродинамічних трубах із

сучасними досягненнями обчислювальної аеро-динаміки, можна досягти набагато більших і точніших результатів, ніж при диференціації цих двох напрямів експериментальних досліджень.

Література

1. Mehta, K.C. *Field experiments for building aerodynamics* / K.C. Mehta // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*; – 1993. Vol. 50. – P. 213-224.
2. *Wind Loading on Tall Buildings* / P. Mendis, T. Ngo, N. Haritos // *EJSE. Special Issue: Loading on Structures*, 2007.
3. Menter, F.R. *Ten years of industrial experience with the SST turbulence model* / F.R. Menter, M. Kuntz, R. Langtry // *Turbulence: Heat and Mass Transfer 4: Proc. Intern. Conf. Begell House, Inc.* 2003. – 8 p.
4. Menter, F.R. *Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications* / F.R. Menter // *AIAA Journal*; – 1994. Vol. 32(8); P. 1598 – 1605.
5. Menter, F.R. *A Scale-Adaptive Simulation Model using Two-Equation Models* / F.R. Menter, Y. Egorov // *AIAA Paper, AIAA 2005*. – P. 1093 – 1095.
6. Menter, F.R. *Development and application of a zonal DES turbulence model for CFX-5* / F.R. Menter, M. Kuntz // *ANSYS CFX Validation Report*; – 2001. – Vol. CFX-VAL 17/0703; – P. 1 – 34.
7. Meroney, R.N. *Wind tunnel and numerical simulation of pollution dispersion: a hybrid approach. Working paper, Croucher Advanced Study Institute on Wind Tunnel Modeling* / R.N. Meroney // *Hong Kong University of Science and Technology*, 6 – 10 December, 2004, - 60 p.

Надійшла до редакції 28.11. 2011

© А.В. Махінько

А.В. Махінько, к.т.н.

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ДВЕ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ НА СОВРЕМЕННУЮ АЭРОДИНАМИКУ ОПОР СВЯЗИ

В статье приводятся две точки зрения на путь дальнейшего развития аэродинамики опор связи. Первый путь связывается с классическими модельными испытаниями в аэродинамической трубе, второй – с методами вычислительной аэродинамики. Проанализированы достоинства и недостатки обоих подходов и определена сфера рационального применения каждого из них.

Ключевые слова: аэродинамика, опоры связи, аэродинамические трубы, вычислительная аэродинамика, антеннофидерное оборудование.

A. Makhinko,

Poltava National Technical University named of honor Yu. Kondratyuk

TWO POINTS OF VIEW ON MODERN AERODYNAMICS OF COMMUNICATION TOWERS

In this article two points of view on progressing of aerodynamics of communication towers are resulted. The first point of view is classical – wind tunnel tests, the second – computational fluid dynamic technique. Pluses and minuses of both approaches are analyzed and the sphere of rational application of these approaches is formulated.

Key-words: aerodynamics, communication towers, wind tunnels, computational fluid dynamic, aeriels, feeders.