

УДК 69:551.56

Боярський М.Р. , Квасниця Б.В., Федіна Д.Ю.,  
к.т.н., доцент Пахолук О.А.,  
Луцький національний технічний університет

## РОЗРАХУНОК БУДІВЕЛЬ НА ВІТРОВЕ НАВАНТАЖЕННЯ

*Проаналізовано задачі по розрахунку будівлі чи споруди на вітрове навантаження. Розглянуто методику розрахунку та експерименту в аеродинамічній трубі.*

**Ключові слова:** вітрові навантаження, аеродинамічний коефіцієнт, висотні будівлі.

Умови сучасного великого міста, його інтенсивна забудова, унікальні архітектурні рішення, освоєння підземних просторів для підземного транспорту та ін. - все це створює умови для того, щоб попередньо використовувати ефективні розрахункові методики при проектуванні й реконструкції промислових і цивільних будівель та споруд.

В даний час у Києві, Львові, Миколаєві, Харкові, Дніпропетровську та в інших містах та прилеглих до них територій нашої держави окреслюється тенденція до збільшення обсягів будівництва в цілому. Будуються нові приватні будинки, громадські, промислові за різним своїм призначенням будівлі та споруди.

Із плином часу, розвитком новітньої науково-технічної бази, впровадженням нових технологій, засобів та матеріалів побудувати будь-яку споруду можна за короткий проміжок часу. Але основною задачею будівельника не є лише звести із купи матеріалів ту чи іншу будівлю, задача будівельника - побудувати безпечну, міцну, надійну, яка прослужить не рік-два, а цілих 50-100 років споруду та витративши при цьому мінімум капіталовкладень.

Економічна ефективність та надійність будівельних конструкцій формується на усіх етапах їх життєвого циклу, але визначальною є стадія проектування. Точне урахування у проектних розрахунках властивостей конструкцій та впливів експлуатаційного середовища дозволяє забезпечити достатній рівень надійності несучих конструкцій при мінімальних витратах на їх виготовлення та зведення. Одним з найбільш мінливих та невизначених факторів є навантаження від тиску вітру на поверхні будівель та споруд, а тому його вивчення та уточнення може відіграти важливу роль у підвищенні ефективності будівельних конструкцій.

Будівництво висотних будівель в Україні, особливо в мільйонних містах, як і у всьому світі, пов'язано з гострим дефіцитом міської землі, що викликає масове ущільнення забудови. На сьогодні таких будівель в країні налічується більше 50. За ступенем складності зведення висотні будівлі перевершують мости і тунелі, головним чином за рахунок багатократного переважання висоти над площею основи, що створює значні навантаження на несучі конструкції. Велика висота будівлі приводить до значного збільшення відносно типової для середньоповерхової забудови величини вітрового навантаження, яке часто перевищує сумарну вагу споруди.

Перехід до нових, більш міцних матеріалів, привів до зменшення маси будівель і споруд, а це висунуло на передній план проблему викликаних вітром деформацій конструкцій. Вітрові дії на висотні будівлі, що розташовуються в низькій забудові або в їх комплексі, в будівельних нормах не представлені і до цього часу достатньо не вивчені, також нормами не регламентуються правила випробування таких забудов на вітрові дії.

Експериментальні і чисельні дослідження є, як правило, досить складними, дорогими і трудомісткими, що не завжди дозволяє відобразити повну картину аеродинамічних процесів. Оперативне виконання таких розрахунків для будівель в умовах навколишньої забудови ставить в ряд першочергових вирішення науково-технічної проблеми визначення вітрових дій на висотні будівлі для вдосконалення засобів їх проектування. У таких випадках доцільно використовувати порівняно прості наближені методи і програми розрахунку, що забезпечують достатню для інженерної практики точність при мінімальних витратах часу.

Задачі по розрахунку будівлі чи споруди на вітрове навантаження слід приділяти особливу увагу, бо саме від її вирішення напряду залежить безпека і собівартість цих комплексів. При заниженому значенні вітрового навантаження будівельні конструкції володіють недостатньою міцністю, а при завищеному – відбувається одночасно подорожчання будівництва. Слід також відзначити різноманітність форм, конструктивних рішень, багатоповерховості, різноманітність місць проектування будівлі та навколишнього середовища, особливості рельєфу - все це істотно впливає на подальшу нормальну експлуатацію будівлі за вітровим навантаженням.

На сьогодні в Україні створена на основі попередніх наукових надбань нормативна база для розрахунку будівель та споруд на дію того чи іншого навантаження, одним з яких є вітрове. Вимоги нормативу по розрахунку на вітрове навантаження поширюються на будівлі і споруди простої геометричної форми, висота яких не перевищує 200 метрів. Розрахунок конструкцій звичайних і висотних будівель на вітрові навантаження виконуються за тією ж

методикою, але є певні відмінності, які й розглянемо далі.

Вітрове навантаження на звичайні будівлі у загальному випадку складається із статичної і пульсаційної складових. Пульсаційну складову, що обумовлюється пульсаціями вітрового потоку, при розрахунку будівель необхідно враховувати тільки для високих будівель (понад 36 м) при відношенні висоти до прольоту понад 1,5, а також для будівель, що розміщені у міських районах із забудовою будівлями висотою понад 25м. Статичну складову необхідно враховувати у всіх випадках.

Спершу розглянемо випадок дії вітру на будівлю із двосхилим дахом. При дії на звичайну будівлю, крім руйнувань, вітрові навантаження ще й можуть зірвати зовнішню огорожувальну частину - дах за рахунок того, що діє аеродинамічна сила. Вітрове навантаження на дах при боковому тиску потоку повітря несе за собою зіткнення із дахом і стіною споруди. Завихрення потоку, яке виникає біля стіни, майже повністю доходить у зону фундаменту, а друга частина потоку по дотичній стіни здійснює удар по скату даху. Атака вітрового потоку огинає по дотичній коньок даху із захватом спокійних молекул повітря з підвітряної сторони і проходить далі. Виходячи з цього, сил, які можуть зірвати покрівлю і перекинути її виникає відразу 3 :

- перша – сила підйому, яка утворюється при різниці тисків повітря із підвітряної сторони споруди;
- інші дві – дотичні з навітряної сторони.

Виникає ще одна сила, яка здатна вдавнити схил даху і яка діє перпендикулярно схилу. Дотичні і нормальні сили можуть змінювати свої значення в залежності від кута нахилу схилу. При пологих дахах приймають більше значення дотичні сили, які збільшуються в своїй підйомній силі із підвітряної сторони, таким чином зменшується нормальна сила з навітряної сторони. Тому ще далеких часів для забезпечення загальної стійкості при вітровій дії каркасу даху використовують систему підкосів, розкосів, розтяжок та ін. зв'язків по діагоналі, систему обрешітки для кров'яного каркасу.

Вітрове навантаження є змінним навантаженням, для якого встановлені два розрахункові значення:

- граничне розрахункове значення;
- експлуатаційне розрахункове значення.

Граничне розрахункове значення вітрового навантаження визначається за формулою :

$$W_m = \gamma_{fm} W_0 C,$$

де  $\gamma_{fm}$  – коефіцієнт надійності за граничним розрахунковим значенням вітрового навантаження, який визначається залежно від заданого середнього періоду повторюваності  $T$ .

$T$ , років	5	10	15	25	40	50	70	100	150	200	300	500
$\gamma_{fm}$	0,55	0,69	0,77	0,87	0,96	1,00	1,07	1,14	1,22	1,28	1,35	1,45

Для об'єктів масового будівництва допускається середній період повторюваності  $T$  приймати таким, що дорівнює встановленому терміну експлуатації конструкції  $T_{ef}$ . Проміжні значення коефіцієнта  $\gamma_{fm}$  визначають лінійною інтерполяцією.

$W_0$  – характеристичне значення вітрового тиску. Воно дорівнює середній (статичній) складовій тиску вітру на висоті 10 м над поверхнею землі, який може бути перевищений у середньому один раз за 50 років. Характеристичне значення вітрового тиску  $W_0$  визначається залежно від вітрового району за картою або за додатком Е [1]. Наприклад, для Волинської області становить :

Міста обласного підпорядкування	$W_0$ (Па)	$S_0$ (Па)	$b$ (мм)	$W_B$ (Па)
Волинська область				
Луцьк	480	1240	17	210
Володимир-Волинський	500	1200	17	160
Ковель	460	1200	13	160
Нововолинськ	500	1240	15	170

$C$  – коефіцієнт, який визначається :

$$C = C_{aer} C_h C_{alt} C_{rel} C_{dir} C_d,$$

де  $C_{aer}$  - аеродинамічний коефіцієнт, який залежить від форми споруди і вибирається за додатком І [1].

$C_h$  - коефіцієнт висоти споруди, що враховує збільшення вітрового навантаження залежно від висоти споруди або її частини, що розглядається, над поверхнею землі ( $Z$ ), типу навколишньої місцевості.

$C_{alt}$  – коефіцієнт географічної висоти, що враховує висоту  $H$  (в кілометрах) розміщення будівельного об'єкта над рівнем моря:

$$C_{alt} = 4H - 1 \quad (H > 0,5 \text{ км}); \quad C_{alt} = 1 \quad (H < 0,5 \text{ км}).$$

$C_{rel}$  - коефіцієнт рельєфу, що враховує мікрорельєф місцевості поблизу площадки розташування будівельного об'єкта. Приймається таким, що

дорівнює одиниці, за винятком випадків, коли об'єкт будівництва розташований на пагорбі або схилі.

$C_{dir}$  - коефіцієнт напрямку, що враховує нерівномірність вітрового навантаження за напрямками вітру. Як правило, приймається таким, що дорівнює одиниці.

$C_d$  - коефіцієнт динамічності, що враховує вплив пульсаційної складової вітрового навантаження і просторову кореляцію вітрового тиску на споруду. Для основних типів будівель і споруд значення  $C_d$  визначаються за графіками відповідного додатку.

Експлуатаційне розрахункове значення вітрового навантаження визначається за формулою :

$$W_e = \gamma_{fe} W_0 C,$$

де  $\gamma_{fe}$  – коефіцієнт надійності за експлуатаційним розрахунковим значенням вітрового навантаження. Визначається за таблицею залежно від частки часу  $\eta$ , протягом якого можуть порушуватися умови другого граничного стану. Значення  $\eta$  приймається за нормами проектування конструкцій або встановлюється завданням на проектування залежно від їхнього призначення, відповідальності та наслідків виходу за граничний стан. Для об'єктів масового будівництва допускається приймати  $\eta = 0,02$ . [1]

Не дивно, що кожне місто-мільйонник світу прагне перевершити інше тією чи іншою грандіозною будівлею, а особливо висотною, яка заввишки досягає сотні метрів. Світова практика має досвід у проектуванні таких споруд, використовуючи найновіші різноманітні науково-технічні можливості й втілюючи у реальність просто дивовижні будівельні творіння.

Перші хмарочоси не були вразливі з точки зору наслідків горизонтальних вітрових навантажень. Досить велика вага несучих стін з кладки не дозволяла вітровим навантаженням перевершити врівноважуючі сили тяжіння. Навіть коли наприкінці 1800-х років система несучих стін була замінена жорсткою каркасною конструкцією, сили тяжіння залишалися основним визначальним фактором проектування. Важкі фасади з каменю з невеликими прорізами, близько розташованими колонами, масивними конструкціями каркаса і важкими стінами-перегородками володіють такою вагою, що вітрові навантаження поки не представляють великої проблеми. При цьому покрівля повинна бути міцною. Хмарочос зі скла і сталі 1950-х років з його оптимальним внутрішнім відкритим простором і відносно невеликою вагою першим зіткнувся з усією складністю вітрових навантажень. Із застосуванням легкого сталевих каркасу вага перестала бути чинником, що обмежує можливу висоту будівель. Ера висотного будівництва пов'язана з новими проблемами. Для

зниження постійних навантажень і створення великих, більш гнучких просторових рішень були введені балки великого прольоту, пересувні ненесучі внутрішні перегородки і ненесучі огорожувальні конструкції. Всі ці заходи суттєво зменшили жорсткість будівель. Тепер горизонтальна жорсткість споруди стає більш важливим фактором проектування, ніж міцність. Вітрові навантаження для проектувальника висотних будівель перетворилися в більш важливу проблему. Вплив вітру на будівлю є динамічним і визначається такими факторами навколишнього середовища, як рельєф і форма території, гнучкість і особливості фасаду самої будівлі, розташування сусідніх будівель.

Оберти українського будівництва не такі, як за кордоном, та й досвіду у проектуванні висотних будівель зовсім небагато, хоча час не стоїть на місці й окремі проекти таки втілюються в реальність і прикрашають українські великі міста. Однією із проблем, з якою можуть зустрітись будівельники на стадії втілення – це те ж саме вітрове навантаження. Особливо для висотних споруд воно відіграє значущу роль. Нормативом і методикою розрахунку для висоток є та ж сама, вище описана, як і для звичайних споруд. Для висотних будинків простої геометричної форми аеродинамічні коефіцієнти визначаються згідно з додатком В [2]. При проектуванні таких споруд співвідношення висоти до мінімального розміру поперечного перерізу будинку не повинно перевищувати  $h/d = 7$  (де  $h$  - висота будинку,  $d$  – мінімальний розмір поперечного перерізу, розташованого на рівні  $2/3 h$ ). Якщо вищезазначене співвідношення  $h/d > 7$ , необхідно:

- виконувати перевірочний розрахунок на вихрове збудження (вітровий резонанс);
- враховувати можливість появи аеродинамічно нестійких коливань типу галопування.

Для визначення вітрового навантаження на будівлі та споруди складної конструктивної чи геометричної форми, а також для будівель та споруд висотою більш 200 метрів слід виконувати спеціальні динамічні розрахунки з використанням прикладних пакетів чи проводити експериментальні дослідження на моделях будівель та споруд в аеродинамічній трубі. В одному і у другому методах є ряд проблем адекватного моделювання натурних явищ. При математичному моделюванні коректний вибір методу моделювання, завдання початкових умов складають основу точності отриманих результатів. Тому до сьогоднішнього часу найбільш ефективним методом, що використовується для отримання результатів, є фізичне моделювання процесів в аеродинамічних трубах.

Фізичне моделювання процесів обтічності будівель та споруд базується на проведенні двох типових експериментів в аеродинамічній трубі. Коли

необхідно визначити сили та моменти, що виникають в основі будівлі від вітрової дії, використовується ваговий експеримент. За його результатами визначаються інтегральні аеродинамічні характеристики об'єкту (безрозмірні аеродинамічні коефіцієнти сил та моментів), які у подальшому використовуються для розрахунку навантажень на фундамент при вітровій дії.

Сам експеримент полягає у тому, що, виходячи з геометричних характеристик робочої частини аеродинамічної труби, у відповідному прийнятому масштабі виготовляють геометрично подібну модель споруди, яку досліджуватимуть, піддаючи дії вітру різної швидкості під різним кутом до будівлі. Отримавши за допомогою експерименту дані – аеродинамічні коефіцієнти, які відрізняються від коефіцієнтів для звичайних будівель і які в подальшому використовують для розрахунку граничних та експлуатаційних значень навантажень на фундамент від вітрової дії на споруду, яка проектуватиметься в майбутньому на будівельному майданчику.

Отже, провівши складні розрахунки на міцність для будівлі, яка в майбутньому височітиме на сотні метрів над іншими, нижчими, а також для звичайних на вітрове навантаження, ми тим самим з легкістю запевнятимемо себе у тому, що люди, перебуваючи у них, будуть у повній безпеці й ніякий «вітерець» їм не страшний.

### **Список використаних джерел**

1. ДБН В.1.2-2:2006. Навантаження і впливи. Норми проектування.
2. ДБН В.2.2-24:2009. Будинки і споруди. Проектування висотних житлових і громадських будинків.

### **АННОТАЦІЯ**

Проанализированы задачи по расчету здания или сооружения на ветровую нагрузку. Рассмотрена методика расчета и эксперимента в аэродинамической трубе.

Ключевые слова: ветровые нагрузки, аэродинамический коэффициент, высотные здания.

### **ANNOTATION**

Analyzed the problem by calculating the building or buildings to wind load. Considered the method of calculation and experiment in a wind tunnel.

Keywords: wind loads, aerodynamic coefficient, high-rise buildings.