УДК 711

О.І. Літвицька
Луцький національний технічний університет

ВЗАЄМОДІЯ ВІТРОВИХ ПОТОКІВ З ОГОРОДЖУВАЛЬНИМИ КОНСТРУКЦІЯМИ ВИСОТНИХ БУДІВЕЛЬ

© Літвицька О.І., 2013

Наведено формули визначення температури, швидкості та сили вітрового потоку за висотою будинку. Визначена залежність швидкості вітру і різниці температур , зображено розподіл аеродинамічних коефіцієнтів на фасаді будинку за різних напрямках вітрового потоку. Розглянуті основні огороджувальні конструкції та вплив шорсткості поверхні на обтікання будівлі.

Ключові слова: вітер, потік, конструкція, будівля, швидкість, тиск, коефіцієнт, шорсткість.

This article describes the formula determining the temperature, velocity and force of wind flow around the buildings. The dependence of wind speed and temperature difference, showing the distribution of aerodynamic coefficients on the facade of the building in different directions of wind flow. The basic building envelope and the effect of surface roughness on the flow around buildings.

Key words: wind, flow, the design, building, speed, pressure, coefficient, roughness.

Вирішення завдань аеродинаміки будівель завжди вважались доволі важливим, а деколи – визначальними для проектування і розрахунку повітряних потоків всередині будівлі, оцінки впливу будівлі на аеродинамічний режим прилеглої території, вибору огороджувальних конструкцій з необхідною повітропроникністю та обтіканням. Крім того, всередині будівель можуть виникати сильні повітряні потоки, що вимагає спеціальних рішень: шлюзування вхідних дверей, сходових секцій, герметизації сміттєпроводів і т. д. Є ще ряд питань, який пов'язаний з аеродинамікою будівель, зокрема розсіювання шкідливих речовин, розташування пішохідних доріжок , утворення снігозаносів і т. п.

Аеродинаміка висотних будівель має свою специфіку, тому що вплив зовнішніх кліматичних факторів і переміщення повітряних потоків всередині будівлі повинно відповідати нормативним вимогам, щоб задовольнити допустимі величини прогинів верхньої частини будівлі (1/500 без урахування жорсткості заповнення і деформацій основи) і прискорення горизонтальних коливань споруди від динамічної складової вітрових впливів не більше ніж 0,1 м/с², що забезпечує нормальні умови експлуатації приміщень верхніх поверхів.

Зміна за висотою температури, швидкості вітру і барометричного тиску – це фактори , які першочергово впливають на проектування споруди. Відомо, що в холодний і теплий періоди року температура зовнішнього повітря знижується приблизно на 1 °С через кожні 150 м висоти, атмосферний тиск знижується приблизно на 1 ГПа через кожні 8 м висоти, а швидкість вітру збільшується [2]. Зміна за висотою температури та атмосферного тиску описуються формулами [2]:

$$t_h = t_o - 0.0065 \cdot h, \quad (1)$$

$$p_h = p_o(1 - 2.25577 \cdot 10^5 \cdot h)^{5.2559}, \quad (2)$$

де t_h, p_h – відповідно температура, ° С, і тиск, Па, на висоті h, м; t_o, p_o – відповідно температура, ° С, і тиск, Па, біля поверхні землі;

Для оцінювання зміни швидкості вітру за висотою використовуються різні моделі – спіраль Екмана, логарифмічний закон, степеневий закон [2,6,9]. Ці моделі дають змогу оцінити швидкість вітру v на висоті h, якщо відома швидкість вітру v_o на висоті h_o. Наприклад, степеневий закон зміни швидкості вітру за висотою має вигляд [2, 6, 9]:

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

$$v_h = v_o(h/h_0)^a, \quad (3)$$

де v_h – швидкість вітру, м / с, на висоті h, м; v_o – швидкість вітру, м / с, виміряна на висоті h_o, м (як правило, швидкості вітру вимірюються на висоті 10–15 м, і в цьому випадку h_o = 10–15 м); a – показник ступеня, що залежить від типу місцевості і встановлюється експериментально; в [2] рекомендується для центрів великих міст приймати a = 0,33.

Разом з тим часто відома швидкість вітру, виміряна на метеорологічній станції, яка розташовується, як правило, на відкритій місцевості. В умовах щільної міської забудови швидкість вітру на тій самій висоті буде нижчою. Швидкість вітру v на висоті h залежно від типу місцевості в моделі статичного закону розраховується за формулою [2, 8]:

$$v_h = v_o(\delta_0/h_0)^{a_0} \cdot (\delta/h)^a, \quad (4)$$

де v_h – швидкість вітру, м / с, на висоті h, м, на місцевості, тип якої характеризується показником ступеня a і товщиною прикордонного шару d; v_o – швидкість вітру, м / с, виміряна на висоті h_o, м, на місцевості, тип якої характеризується показником ступеня a_0 і товщиною прикордонного шару d_0; a – показник ступеня, що залежить від типу місцевості і встановлений експериментально; d – товщина прикордонного шару, м, для розглянутого типу місцевості; в роботі [2] рекомендують такі значення a і d:

– для центрів великих міст a = 0,33, d = 460 м;

– для умов передмістя (в даному випадку під передмістям розуміється місцевість, в якій в радіусі 2 000 м розташована малоповерхова забудова або лісопаркові масиви) a = 0,22, d = 370 м;

– для відкритої місцевості a = 0,14, d = 270 м;

a_0, d_0 – показник ступеня і товщина прикордонного шару для місцевості, на якій зафіксовано швидкість вітру v_o; як правило, швидкості вітру вимірюються на метеорологічних станціях, розташованих на відкритій місцевості на висоті 10-15 м, і в цьому випадку h_0 = 10–15 м, a_0 = 0,14, d_0 = 270 м.

Під прикордонним шаром розуміють приземний шар атмосфери, в якому поверхня землі пригальмовує дію рушійної маси повітря. Зростає швидкість вітру в межах прикордонного шару, вище прикордонного шару (у вільній атмосфері) швидкість вітру постійна (градієнтна швидкість). Товщина прикордонного шару в загальному випадку залежить від стану атмосфери, типу місцевості, широти місцевості і сили вітру.

Високі значення швидкості вітру на великих висотах, як правило, змінюють кут падіння дощових крапель, так що збільшується кількість дощу, падаючого на вертикальні поверхні будівлі. Це може призвести до перезволоження вертикальних огороджувальних конструкцій. Дослідження залежності кута падіння атмосферних опадів різної інтенсивності від швидкості вітру було проведено А. І. Кругловою і викладено в [5].

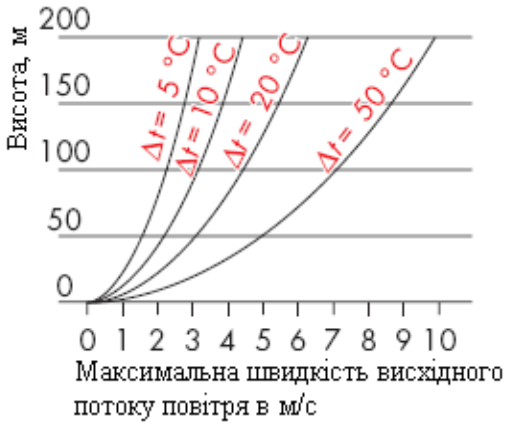

Рис. . 1. Максимальні значення швидкості висхідних повітряних потоків біля зовнішньої поверхні будівлі

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Потрібно також зазначити, що у теплий період року, в сонячні дні, через опромінення зовнішніх поверхонь будівлі сонячною радіацією їх температура різко зростає і значно відрізняється від температури навколишнього повітря. В результаті різниці температур утворюється конвективний тепловий потік, спрямований догори будівлі, і утворюється так званий приповерхневий (прикордонний) шар нагрітого повітря. Різниця температур зовнішньої поверхні будівлі і навколишнього повітря залежить від величини сонячної радіації і коефіцієнта поглинання сонячної радіації матеріалом зовнішньої поверхні огороджувальних конструкцій будівлі.

Велике значення для проектування повітрозабірних пристроїв і визначення повітропроникності огороджувальних конструкцій мають значення швидкості повітряних потоків біля зовнішньої поверхні будівель, зумовлені зазначеною вище різницею температур. На графіках

(рис. 1) наведено залежності швидкостей повітря біля зовнішніх поверхонь будівлі, отримані зарубіжними дослідниками [6].

При вивченні аеродинаміки будівель в [2] висотною вважають таку будівлю, висота якої перевищує ширину підвітряного фасаду в три і більше разів. На рис. 2 наведено дані про розподіл аеродинамічних коефіцієнтів на фасаді квадратного в плані висотного будинку при різних напрямках вітру [2].

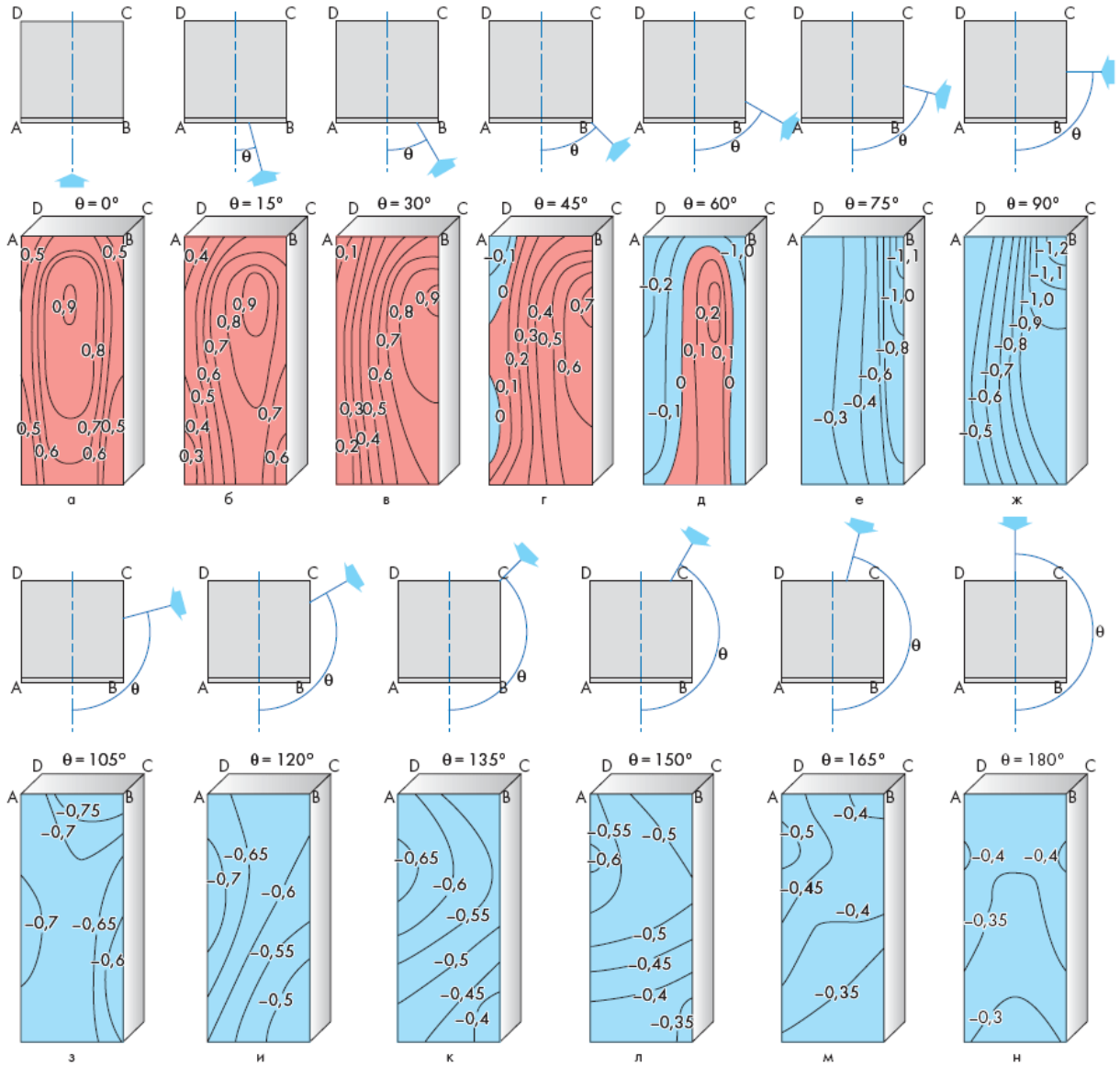

Рис. 2. Значення аеродинамічних коефіцієнтів на фасаді квадратного в плані висотного будинку при різних напрямках вітру

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

Значення аеродинамічних коефіцієнтів на фасаді квадратного в плані висотного будинку при різних напрямках вітру показує, що, якщо напрямок вітру перпендикулярний фасаду будівлі (рис. 4, а), аеродинамічні коефіцієнти на цьому фасаді позитивні, і їх значення зменшуються у напрямку до бічних фасадів будівлі і за напрямом до верхньої частини розглянутого фасаду. На збільшення значення аеродинамічних коефіцієнтів у верхній частині фасаду висотного будинку також впливає підвищення швидкості вітру зі збільшенням висоти. Якщо напрямок вітру відхиляється від нормалі до фасаду, область максимального тиску зміщується до навітряного рогу будівлі (рис. 4, б–в). При відхиленні напрямку вітру від нормалі на кут 45 ° тиску стають негативними у далекого (відносно напрямку вітру) кута фасаду (рис. 4, г). Якщо кут відхилення напрямку вітру від нормалі лежить в межах 60–75 °, тиску негативні по всьому фасаду (рис. 4, д–е). Максимальні негативні тиску спостерігаються в областях, розташованих на бічних (відносно до напрямку вітру) фасадах у навітряних кутів (рис. 4, ж), причому на бічних фасадах розподіл тисків істотно змінюється залежно від відносних розмірів даних фасадів (відносної висоти і ширини). Для завітрених фасадів (напрямок вітру складає з нормаллю кут понад 100 °) значення тисків у різних областях змінюються не настільки істотно (рис. 4, з–н).

Отже, якщо фасад розташований під кутом від 0 до 60 ° щодо напрямку вітру, то середній тиск на фасаді позитивний; якщо цей кут складає 60–180 °, то середній тиск негативний.

Слід зазначити, що якщо напрямок вітру складає з фасадом будівлі кут порядку 45°, у навітряних кромок покриття виникають сильні завихрення (рис. 3). Високі швидкості повітряного потоку в цих завихреннях обумовлюють доволі сильне розрідження (негативний тиск) у країв покриття, що, наприклад, у випадку сильних вітрів може бути небезпечно для інженерного обладнання, розташованого в цій зоні.

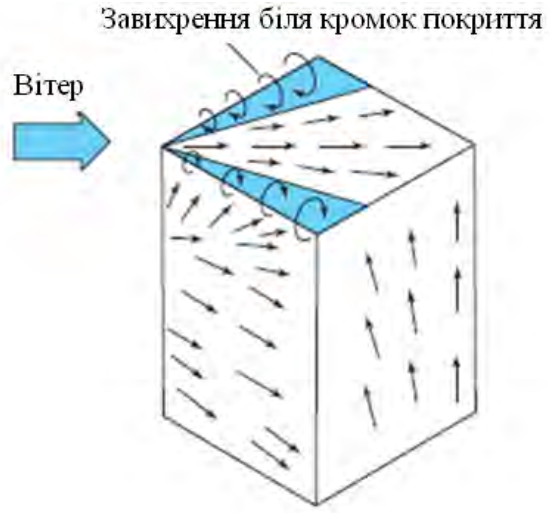

Рис. 3.Схеми повітряних потоків, що виникають внаслідок вітрового напору, спрямованого під кутом 45 ° до фасаду будівлі

Якщо форма будівлі відрізняється від прямокутної, характер розподілу аеродинамічних коефіцієнтів на його фасадах може істотно відрізнятися від наведених вище. Можливі два методи дослідження аеродинаміки будівлі: метод фізичного моделювання і метод математичного моделювання. Фізичне моделювання будівлі здійснюється в аеродинамічній трубі. Зазвичай це моделювання виконується з урахуванням існуючої забудови. Теорія фізичного моделювання розроблена значною мірою завдяки роботам вітчизняних вчених – Л. І. Сєдова, Т. А. Афанасьєвої-Еренфест, М. В. Кирпичева, А. А. Гухман, Е. І. Реттер, Ф. Л. Серебровського та ін. Ширший список джерел міститься, наприклад, у книзі Е. І. Реттер [3]. Математичне моделювання – менш надійний спосіб дослідження аеродинаміки будівлі з урахуванням забудови у зв'язку з тим, що одночасно існують ламінарні, турбулентні, вихрові і т. д. зони руху, для кожної з яких необхідно мати

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua

значення коефіцієнтів, що характеризують рух у цих зонах, зв'язок між ними і характер забудови. З появою потужної, легкодоступної комп'ютерної техніки для фахівців з математичного моделювання аеродинаміки з'явилася можливість істотно підвищити надійність розрахунків.

Як було зазначено вище, режим обтікання будівлі повітряним потоком, крім форми самої будівлі, розташованих поруч інших будівель і споруд та особливостей рельєфу місцевості, істотно залежить від зовнішніх огороджувальних конструкцій, найпоширеніші з яких:

Термопанелі. Термопанель є навісним або вбудованим огороджувальним елементом в каркасно-монолітному будинку. Термопанелі сприймають вітрове навантаження, що діє на фасад, і переносять його на основний несучий каркас будівлі.

Подвійні фасади. Як правило, вони мають зовнішню нитку з одинарного ламінованого загартованого скла, що сприймає вітрові та зливові навантаження, а також вентиляційні решітки (горизонтальні ламелі) для забору зовнішнього повітря. Подвійні фасади можуть пом'якшити коливання тиску, що виникають, наприклад, при сильних поривах вітру.

Навісні вентильовані фасади – це конструкція з металу, утеплювача і спеціальних панелей, яка кріпиться на стіні будівлі. Елементи системи навісних фасадів універсальні, що дозволяє вирішувати складні архітектурні завдання – від класичних до сучасних.

Скляні фасади. Використання скла при оздобленні фасадів дозволяє надати їм особливого вигляду, який відповідає уявленню про ідеальний зовнішній вигляд сучасної будівлі.

Кожен з вищезазначених видів оздоблення фасадів відповідає конструктивним вимогам, але крім цього використовуються матеріали, які забезпечують цілісність будівлі та захист її від вітрового потоку. Головною їх особливістю є шорсткість. За ГОСТ 2789 «Шорсткість поверхні» встановлено 14 класів чистоти поверхні. Класи чистоти з 6-го по 14-й можуть бути розділені додатково на розряди а, б, в. Критерієм для віднесення поверхні до того або іншого класу чистоти є величина висоти нерівностей або середнє арифметичне відхилення профілю.

Скляні фасади відносяться до 14 класу (шорсткість 0,0001–0,0015мм [12]), що забезпечує їх легке обтікання без можливого руйнування конструкцій. Чим більша шорсткість поверхні, тим більша вірогідність їх швидкого руйнування, оскільки в малих порах утворюється мікровихор, який зсередини руйнує огороджувальну конструкцію. Це, відповідно, зменшує довговічність та погіршує експлуатацію всієї будівлі.

Зміна температури, тиску , швидкості вітру за висотою, аеродинамічних коефіцієнтів при різних напрямках потоку – ці, і багато інших факторів впливають на огороджувальні конструкції будівель. Доповнюючи це власними характеристиками конструкцій, такими як , наприклад, шорсткість, кожна споруда створює свій «силует» обтікання, який буде змінюватись при зміні будь-якого з вищезгаданих параметрів, навіть за однакової форми самої будівлі. Ось чому кожен випадок потребує індивідуального підходу і не може бути вирішений за загальною схемою.

1. ДБН В.2.2-24:2009. Проектування висотних житлових і громадських будинків. 2. ASHRAE Handbook. Fundamentals. SI Edition. 1997. 3.ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи "Норми проектування". 4. Реттер Э. И. Архитектурно-строительная аэродинамика. – М., 1984. 5. Круглова А. И. Климат и ограждающие конструкции. – М., 1964. 6. Daniels K. The Technology of Ecological Building. – Birkhauser, 1997. 7. Тарабанов М. Г. Опыт проектирования систем вентиляции и кондиционирования воздуха высотных зданий // АВОК. 2004. – № 6. 8. Симиу Э., Сканлан Р. Воздействие ветра на здания и сооружения. М., 1984. 9. Реттер Э. И. Аэродинамика зданий. – М., 1968. 10. Табунщиков Ю. А., Бродач М. М., Шилкин Н. В. Энергоэффективные здания. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2003. 11.Пичугин С.Ф., Махинько А. В. Ветровая нагрузка на строительные конструкции . Полтава . Издательство " АСМИ ".2005 – 342 с. 12.Инженерний справочник. Типичные значения шероховатости. Режим доступу до журн.: http://www.dpva.info/Guide/ GuideTechnologyDrawings/DrawingsSigns/SomeTypicalRoughness/

Lviv Polytechnic National University Institutional Repository http://ena.lp.edu.ua