

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 62-83-52.003

МОДЕЛЬ ОПОРУ ОГОРОДЖУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЛІ З ВРАХУВАННЯМ СИЛИ ВІТРУ

Оборонов Т.Ю., Порядіна Д.С., Федорусь Г.О.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

В статті розглядаються можливі способи розрахунку теплового навантаження на будівництво, що базується на впливі сили вітру, у формі, яку можна легко інтегрувати в алгоритм BMS реального часу. Для випробувального проекту було отримано спрощену формулу для визначення будівельного навантаження шляхом розробки та створення еквівалентної зовнішньої температури, яка базується на розрахунку охолодження вітру на будівлі.

Ключові слова: будівля, сила вітру, опір огороджуючих конструкцій, теплове навантаження, інфільтрація.

Постановка проблеми. Індивідуальні принципи цього дослідження були добре вивчені попередніми дослідниками, але поєднання цих принципів ще не розглянуто. На основі цього дослідження було поставлено та вирішено наступне питання дослідження моделі яка враховує інфільтрацію та вплив вітру на поверхневі опори будівлі.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Попередніми дослідниками були визначені вирази які описують опір конструкцій при одній силі вітру постійний час, але не врахована зміна сили вітру.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми. На основі попередніх досліджень потрібно оптимізувати та налаштувати формулу для геометрії та будівництва певної будівлі.

Мета статті. Мета роботи полягає в тому, щоб прийти до алгебраїчного наближення чисельного рішення рівнянь потоку, щоб вони могли бути застосовані до будівлі при різній швидкості вітру, так що можна визначити еквівалентні інфільтративні втрати.

Виклад основного матеріалу. Вітер впливає на споживання енергії у будівництві, впливаючи на:

- Повітряну інфільтрацію умовних приміщень. Градієнти тиску і перенесення теплоти через поверхні змінюються за швидкістю вітру;
- Швидкість передачі тепла від зовнішніх поверхонь шляхом зміни коефіцієнта теплопередачі на поверхні.

Рух повітря – це важливий вплив на втрату енергії. Зі зростанням рівня ізоляції в будівлях, рівень проникності повітря став переважаючим фактором втрати тепла.

Вітер впливає на розподіл тиску повітря над поверхнями будівлі, що приводить до масового перенесення через отвори в стінах, вікнах, дверях та даху. Розподіл тиску залежить від поля швидкості та тиску навколо всієї будівлі [1].

Коротше кажучи, на підвітряній стороні будівлі спостерігається збільшення тиску, а зниження тиску на сторонах підніжжя, де прискорений потік.

Таким чином, з відомих внутрішніх і зовнішніх умов та розрахункових значень вентиляції та інфільтрації, можна розрахувати збільшені нагрівальні навантаження на будівлю через вітер.

Втрати тепла шляхом інфільтрації прямо пропорційні кількості потоку через поверхневі отвори, що підтверджено експериментальними вимірюваннями газу в закритих резиденціях [4; 7]. Для вирішення рівняння потоку встановлюються співвідношення між потоком і швидкістю вітру, або, між потоком і підвищеним диференціалом.

Необхідний тиск, обумовлений швидкістю вітру по структурі.

У розробці вентиляційних розрахунків були використані наступні спрощувальні припущення:

- Будинок – одна змішана зона;
- Витоки стін рівномірно розподілені по чотирьох стінках;
- Течія, що проходить через всі витоки будівель, характеризуються тим же силовим показником тиску, k .

Ця модель покращує оцінку швидкості проникнення повітря, якщо в ній враховане перше припущення:

$$Q = C \Delta P k$$

Проведені випробування на вентиляційний тиск [3, 9], показали, що припущення ламінарного потоку для константи потужності “ k ”, що використовується в багатьох моделях інфільтрації є нереальним, як це зазвичай передбачається на рівні 0,5, але краще використовувати тест на герметичність, визначений ламінарним потоком.

Параметр “ k ” зазвичай виявляється за допомогою тестів вентиляційного тиску самого будинку. Для типового житлового будинку $k \approx 0,67$, приблизно на півдорозі в межах від $k = 0,50$ для ламінарного потоку до $k = 1,0$ для повністю розвиненого ламінарного потоку.

Дослідження Акіна та співавторів [2] показали, що коефіцієнт тиску для чотирьох стін будинку може бути спрощеним до алгебраїчного середнього коефіцієнта тиску стін і був досить точний для визначення тиску, що діє на будівлю в цілому, так що можливо виконати тепло розрахунки збитків. Акінс серед інших прийшов

до цього висновку за допомогою польових досліджень, а не теоретичних розрахунків.

Для визначення ультразвукової втрати інфільтрації повітряна проникність будівлі обчислюється випробуванням повітряного тиску $p = 50$ Па.

Це є репрезентативним для умов випробувань, але може використовуватися для визначення потоку повітря через структуру при будь-якій різниці тиску.

Використовуючи наступне рівняння, яке базується на співвідношенні енергетичного потоку, можна визначити об'ємний потік інфільтрації та ексфільтрації:

$$Q = U \cdot S \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta P}{\rho} \right)^k$$

де, Q – об'єм потоку ($\text{м}^3/\text{с}$); S – площа витоків (м^2); ΔP – перепад тиску (Па); U – коефіцієнт викидів при випробуванні ρ – щільність повітря ($\text{кг}/\text{м}^3$); k – коефіцієнт потужності потоку від випробувань.

Для визначення витоків повітря при різниці тиску, відмінної від значення випробувального значення 50 Па, площа витоків не зміниться, якщо $S_1 = S_2$:

$$\frac{Q_1}{U \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta P_1}{\rho} \right)^k} = \frac{Q_2}{U \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta P_2}{\rho} \right)^k},$$

і тоді:

- Q_1 та ΔP_1 відповідають потоку повітря та тиску в умовах дослідження;

- Q_2 та ΔP_2 відповідають потоку повітря, який повинен визначатися при фактичному перепаді тиску, що виникає через вітер.

Оскільки повітряний потік потрібен при фактичному перепаді тиску, що відбувається, то це рівняння можна представити таким чином:

$$Q_2 = \frac{U \cdot Q_1 \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta P_1}{\rho} \right)^k}{U \cdot \left(\frac{2 \cdot \Delta P_2}{\rho} \right)^k}$$

При подальшому обчисленні рівняння скоротивши загальні константи коефіцієнта розряду (U) та щільності повітря (ρ) і скоротивши загальну потужність, що застосовується до витрат отримаємо:

$$Q_2 = Q_1 \cdot \left(\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} \right)^k$$

Остаточне рівняння дає фактичну швидкість інфільтрату Q_2 або Q_v ($\text{м}^3/\text{с}$) від співвідношення між досягнутою герметичністю будівлі при її перепаді тиску на час випробування проти поточного тиску, обумовленого швидкістю вітру на будівлю (тобто фактичний тиск).

Для розрахунку варто зазначити, що повітряна інфільтрація може бути розрахована за наступним рівнянням:

Вимірювання тиску в повній мірі базуються на тому ж принципі, що і в аеродинамічному тунелі. Диференціальні перетворювачі тиску можуть бути використані для вимірювання різниці між тиском на поверхні будівлі та опорним тиском,

або внутрішнім тиском будівлі. Датчик тиску повинен бути встановлений на кожному фасаді [5].

На кожному фасаді використовується манометр, здатний вимірювати дуже низький тиск повітря та диференціальний тиск, щоб досягти середньої різниці тиску.

Встановлено, що тискові перетворювачі часто не використовуються в системах управління будівництвом, і з практичних причин потрібно визначити швидкість вітру для виявлення тиску, особливо якщо система використовується на менших, простих будівлях. З цієї причини потрібно використовувати наступне емпіричне визначення дійсного ΔP завдяки швидкості вітру:

Середній тиск, що діє на будь-яку точку на поверхні будівлі, може бути представлений таким рівнянням:

Враховуючи кількість втрат теплоти (Вт) отримаємо:

$$Q_v = C_p \cdot \rho \cdot V_v \cdot (t_a - t_c),$$

де Q_v – втрати тепла на вентиляцію (Вт); C_p – питома теплоємність повітря (Дж/кг·К); ρ – щільність повітря ($\text{кг}/\text{м}^3$); V – об'єм потоку повітря ($\text{м}^3/\text{с}$); t_b – внутрішня температура повітря ($^{\circ}\text{C}$); t_a – зовнішня температура повітря ($^{\circ}\text{C}$).

Оскільки зміна щільності повітря та питомої теплоємності над очікуваною різницею температур є незначною, цифри для питомої теплоємності та щільності прийняті наближено як 1052 Дж/кг·К і 1,27 $\text{кг}/\text{м}^3$

Це рівняння стає таким:

$$Q_v = 1336 \cdot V_v \cdot (t_a - t_c),$$

Остаточний вираз для втрати вентиляції від вітру наступний:

$$Q_v = 1336 \cdot (t_a - t_c) \cdot Q_1 \cdot \left(\frac{\Delta P_2}{\Delta P_1} \right)^k$$

Проведемо розрахунок зовнішнього опору через більшу швидкість вітру.

Вітер може мати значний вплив на поверхню теплопередачі. Загальна величина заскленої площі конструкції залежить від фізичних властивостей вікон, а також від умов вітру, що впливає на зовнішню стійкість вікна. Течія вітру навколо будівлі викликає турбулентну примусову конвекцію та передачу тепла від будівлі. Це призводить до збільшення споживання енергії. Вітер впливає на зовнішні опори будівлі, і, отже, значення V буде змінюватися залежно від швидкості вітру.

Опір стін з блоків чи цегляної кладки є набагато більшим, ніж скло, і тому варіація за рахунок збільшення швидкості вітру незначна у випадку зміни структури стіни.

Збільшення коефіцієнта теплопередачі було математично змодельовано кількома дослідниками, як теоретично, так і шляхом проведення польових досліджень та тестування будівель. Примусова конвекція (вітер) домінує над коефіцієнтом зовнішньої плівки. Тому даний коефіцієнт – це функція сили швидкості вітру (ω в м/с) та напрямку вітру. Кореляції [10] наближались до реальної моделі з рівняннями для вираження поверхневого опору, але багато з них стали не практичними (ненадійними) при дуже низьких швидкостях вітру, і тим більше в умовах без вітру.

Дослідження останніх років, здається, залишають деякі питання без відповіді, і автор вважає, що труднощі при визначенні такого рівняння пов'язані з багатьма існуючими змінними. Найбільш помітними з цих перешкод є:

- невідома перехідна частина між природною та примусовою конвекцією є слабо зрозумілою;
- немає теоретичної основи для їх поєднання, крім очікувань, що коефіцієнт плівки повинен постійно змінюватися між двома частинами.

Тому була обрана наступна модель, в результаті дослідження якої були сформульовані рівняння для визначення зовнішнього конвективного коефіцієнта для малоповерхових будівель.

$$R_o = \sqrt{U_r (\Delta t)^{5/3} + (\alpha \cdot V^b)^2}$$

Проста створена модель використовується для обчислення, що включає як природну, так і примусову конвекцію. Модель не відрізняє навітряний або підвітряний потік, подібний до багатьох попередніх моделей, але відрізняється наступним:

- При швидкості вітру 0-2 м/с, модель однакова для навітряних і підвітряних даних;
- Значення констант поля вимірюються і визначаються стандартними статистичними методами.

Результати були записані як дуже точні, з постійними значеннями та відхиленнями:

	Коефіцієнти		
	U, Вт/м ² · К	a	b
Навітряний потік	0.82±0.02	2.43±0.051	0.95±0.012
Підвітряний потік	0.82	2.91±0.076	0.539±0.008
Припущені значення	0.82	2.71	0.74

З метою спрощення рівняння прийнято середньозважене значення між навітряним і підвітряним потоком, дослідження показало, що

дані спрощення дають доволі точні процедури розрахунку.

З метою спрощення рівняння прийнято середньозважене значення між навітряним і підвітряним потоком, дослідження показало, що дані спрощення дають доволі точні процедури розрахунку.

Зверніть увагу, що зовнішній опір моделі на 2 м/с приблизно дорівнює 0.045 м² · К/Вт.

Як ми бачимо діапазон значень опору простий за рахунок примусової конвекції є великим. Відомості про швидкість вітру показують, що швидкість вітру зазвичай становить 5 м/с, але може досягти 58 м/с. Це вкладає в контекст широкий діапазон, через який може змінюватися поверхневий опір будівлі.

Остаточне рівняння зовнішнього опору вікна за законами індексів стає таким:

$$R = \sqrt{0.82(\Delta t)^{7/3} + (2.71 \cdot V^{0.74})^2}$$

Висновки і пропозиції. Для перевірки прогнозів рівняння були виміряні нагрівальні навантаження та записані внутрішні температури просторів. Порівнюючи ефективність цього розрахунку з вимірними даними, можна зробити наступні спостереження:

- Обчислення охолодження вітром будівлі, яке спочатку використовувалося для компенсації впливу швидкості вітру на температуру, виявило невисоку точність, вимагаючи більшого або меншого рівнів нагрівання, ніж потрібно, оскільки в повній мірі всі інші зовнішні змінні не використовувались;

- Типові відмінності між вимірюванням опалення та реальним попитом на будівництво будуть значно покращені за рахунок включення всіх погодних параметрів, що можуть вимірюватися на місці. Визначаючи повні переваги такого підходу, буде потрібно повноцінний моніторинговий аналіз для вивчення всіх форм крайніх погодних умов.

Список літератури:

1. Atkins, Nolan T. "Damaging Surface Wind Mechanisms" / Atkins, Nolan T., Christopher S. Bouchard, Ron W. Przybylinski, Robert J. Trapp, Gary Schmoc // *ker*, 10 June 2003 Saint Louis Bow Echo during BAMEX. *Mon. Wea. Rev.*, 133, 2275-2296.
2. Geurts C. Wind effects on buildings and design of wind-sensitive structures / Geurts C., Van Bentum C. // *Dept. of Building, civil and Environmental Engineering, Concordia University, Montreal Canada, (2007), pp. 58.*
3. Ross H. Infiltration Pressurisation Correlation: Simplified Physical Modeling / Ross H., Grimsrud, D. *ASHRAE Transactions*, Vol. 86, (1980), pp. 778-807.
4. Sulatisky Warren. Field Validation of Algebraic Equations for Stack and Wind Driven Air Infiltration Calculations / Sulatisky Warren and Webb, Wilson and Sherman // *Published in ASHRAE HVAC&R Research Journal*, Vol. 4, No. 2, April 1998.

Оборонов Т.Ю., Порядина Д.С., Федорусь А.О.

Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

МОДЕЛЬ СОПРОТИВЛЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ЗДАНИЯ С УЧЕТОМ СИЛЫ ВЕТРА

Аннотация

В статье рассматриваются возможные способы расчета тепловой нагрузки на строительство, которая основана на воздействии силы ветра, в форме, которую можно легко интегрировать в алгоритм BMS реального времени. Для испытательного проекта было получено упрощенную формулу для определения строительной нагрузки путем разработки и создания эквивалентной внешней температуры, которая основана на расчете охлаждения ветром здания.

Ключевые слова: здание, сила ветра, сопротивление ограждающих конструкций, тепловая нагрузка, инфильтрация.

Oboronov T.Yu., Poriadina D.S., Fedorus H.O.

National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

MODEL BUILDING RESISTANCE TAKING INTO ACCOUNT WIND POWER

Summary

The article discusses possible ways of calculating the thermal load on a building based on the influence of wind power, in a form that can be easily integrated into the real-time BMS algorithm. For the test project, a simplified formula for determining the building load was obtained by developing and creating an equivalent external temperature based on the calculation of wind cooling for the building.

Keywords: building, wind force, resistance of enclosing structures, thermal load, infiltration.