

АЕРОДИНАМІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТРИПОВЕРХОВИХ ГРОМАДСЬКИХ БУДІВЕЛЬ

$C_\mu, C_1, C_2, \sigma_k, \sigma_\varepsilon$ – емпіричні константи моделі турбулентності;

H – висота над поверхнею даху споруди;

K_p – аеродинамічний коефіцієнт;

k – енергія турбулентності;

p_0 – атмосферний тиск;

p – тиск;

S – узагальнена швидкість деформації потоку;

U_0 – швидкість незбуреного вітрового потоку;

u, v, w – проекції швидкості вітрового потоку на осі Ox, Oy, Oz , відповідно;

x, y, z – прямокутні координати;

ε – швидкість дисипації енергії турбулентності; ν – кінематичний коефіцієнт молекулярної в'язкості;

ν_t – кінематичний коефіцієнт турбулентної в'язкості;

ρ – густина.

Індекси нижні:

t – турбулентний;

ef – ефективний.

У зв'язку зі зростанням світових цін на енергоносії та загостренням ряду екологічних проблем важливими для кожної країни стають заходи щодо енергозбереження. Ця проблема безпосередньо стосується комунального господарства, зокрема в частині експлуатації житлових приміщень та промислових споруд. Існуючі в даний час системи опалення, а також теплоізоляційна спроможність стін та огорож у більшості будинків, що експлуатуються понад 30 років, не відповідають сучасним вимогам до енергозбереження.

Для забезпечення оптимального температурно-повітряного режиму в приміщеннях необхідно підтримувати певний баланс між теплою, яка надходить в приміщення через систему опалення, та теплою, що видається в зовнішній повітряний простір. Внаслідок того, що тепловтрати в значній мірі залежать від погодних умов, система теплопостачання, що працює в оптимальному регульованому режимі, повинна забезпечувати приміщення лише такою кількістю теплоти, яка відповідає конкретним умовам тепловтрат в даний період.

Для визначення оптимального рівня теплонадходжень, який би забезпечував сталий повітряно-температурний режим в приміщенні, необхідно розв'язати задачу теплопереносу від опалювального пристрою до навколишнього

повітряного середовища, враховуючи циркуляцію нагрітого повітря в кімнатах, конвективні потоки теплоти, що переносяться внутрішніми повітряними течіями, теплопровідність через перекриття та стіни, сонячну радіацію, конвективну тепловіддачу з поверхонь огорож у зовнішній простір та ін. Рівень тепловіддачі з зовнішньої поверхні огорож залежить від аеродинамічних характеристик вітрового потоку, що омиває споруду. Кількість припливного повітря, що надходить до приміщення через вентиляційну систему та нещільності у огорожах, також залежить від характеру полів швидкості і тиску у вітровому потоці навколо будівлі. В зв'язку з цим, в даній роботі пропонуються результати дослідження аеродинамічної взаємодії будинку з зовнішнім вітровим потоком. Як приклад розглядається типовий триповерховий корпус наукової установи, подібний до корпусу ІТТФ НАН України, що знаходиться по вул. Булаховського, 2 в м. Києві Для цього випадку методом числового моделювання визначається структура та динамічні характеристики повітряної течії, що омиває споруду, при різних по відношенню до будівлі напрямках незбуреного вітрового потоку.

Динаміка повітряної течії описується системою рівнянь турбулентного переносу імпульсу, яка разом з рівнянням нерозривності має вигляд:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} + \frac{\partial(u^2)}{\partial x} + \frac{\partial(uv)}{\partial y} + \frac{\partial(uw)}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + 2 \frac{\partial}{\partial x} \left[\nu_{\text{эф}} \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\nu_{\text{эф}} \left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\nu_{\text{эф}} \left(\frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \right];$$

$$\frac{\partial v}{\partial \tau} + \frac{\partial(vu)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(vw)}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\nu_{\text{эф}} \left(\frac{\partial v}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \right) \right] + 2 \frac{\partial}{\partial y} \left[\nu_{\text{эф}} \frac{\partial v}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\nu_{\text{эф}} \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \right];$$

$$\frac{\partial w}{\partial \tau} + \frac{\partial(wu)}{\partial x} + \frac{\partial(wv)}{\partial y} + \frac{\partial(w^2)}{\partial z} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial x} \left[\nu_{\text{эф}} \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\nu_{\text{эф}} \left(\frac{\partial w}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial z} \right) \right] + 2 \frac{\partial}{\partial z} \left[\nu_{\text{эф}} \frac{\partial w}{\partial z} \right],$$

де $\nu_{\text{эф}} = \nu + \nu_t$.

Для замикання система рівнянь турбулентного переносу імпульсу використовується k-ε модель турбулентності, що описується системою рівнянь:

$$\frac{\partial k}{\partial \tau} + \frac{\partial uk}{\partial x} + \frac{\partial vk}{\partial y} + \frac{\partial wk}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial z} \right] + \nu_t S^2 - \varepsilon;$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} + \frac{\partial u\varepsilon}{\partial x} + \frac{\partial v\varepsilon}{\partial y} + \frac{\partial w\varepsilon}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} \right] + C_1 \frac{\varepsilon}{k} \nu_t S^2 - C_2 \frac{\varepsilon^2}{k},$$

де

$$S = \left[\left(\frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right)^2 + \left(\frac{\partial w}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial z} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial v}{\partial y} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial w}{\partial z} \right)^2 \right]^{0,5},$$

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}; \quad C_1 = 1,44; \quad C_2 = 1,92; \quad \sigma_k = 1; \quad \sigma_\varepsilon = 1,3.$$

Триповерховий корпус, що розглядається, складається з двох однакових за формою секцій прямокутної форми, які з'єднані прямокутним коридором. Геометричні розміри даної споруди наведено на рис. 1.

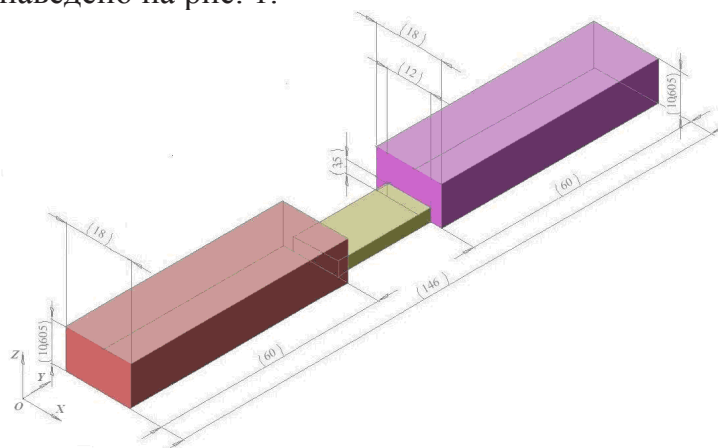


Рис. 1. Модель будівлі.

Прямокутна розрахункова область, нижня грань якої розташовується на земній поверхні, будується так, щоб її верхня та бічні грані були паралельними до поверхонь даху та огорож споруди і знаходилися від них на певних відстанях. Ці відстані мають бути такими, щоб на гранях розрахункової області вітрова течія умовно вважалася незбуреною. Швидкість повітряної течії на земній поверхні, а також на поверхнях огорож споруди, дорівнює нулю. На верхній та бічній гранях розрахункової області задається швидкість незбуреної течії U_0 , яка вважається рівномірно розподіленою за висотою. На верхній та бічних гранях розрахункової області відомими також вважаються значення кінетичної енергії турбулентності k та швидкості її дисипації ε , що також відповідають умовам незбуреної вітрової течії. На твердих поверхнях $k=0$.

Система вихідних рівнянь турбулентного переносу розв'язується методом скінчених різниць. Числові дослідження виконуються для двох характерних напрямків незбуреної вітрової течії:

вздовж осі OX (перший напрямок) та вздовж осі OY (другий напрямок). В результаті визначаються поля швидкості та тиску в повітряному потоці навколо споруди. Розподіл тиску у просторі навколо будівлі доцільно відображати за допомогою ізоліній аеродинамічних коефіцієнтів $K_p = \frac{p - p_0}{\rho U_0^2 / 2}$. Величина K_p за фізичним змістом є безрозмірним надлишковим тиском, а значення p_0 відповідає тиску у незбуреному потоці [1]. Структуру течії та розподіл аеродинамічних коефіцієнтів у вертикальному перерізі, паралельному координатній площині ZOX , що проходить через середину першої секції, наведено на рис. 2. Розподіл аеродинамічних коефіцієнтів в горизонтальній площині, що знаходиться на висоті 0,5 м над дахом будинку, відображено на рис. 3.

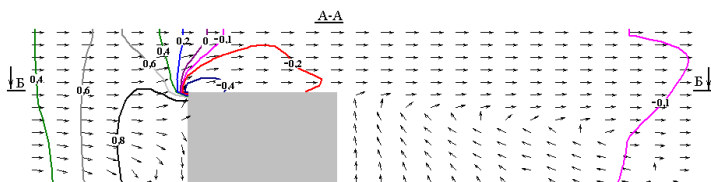


Рис. 2. Структура течії та розподіл аеродинамічних коефіцієнтів в площині, що проходить через середину першої секції при напрямку вітру вздовж осі OX .

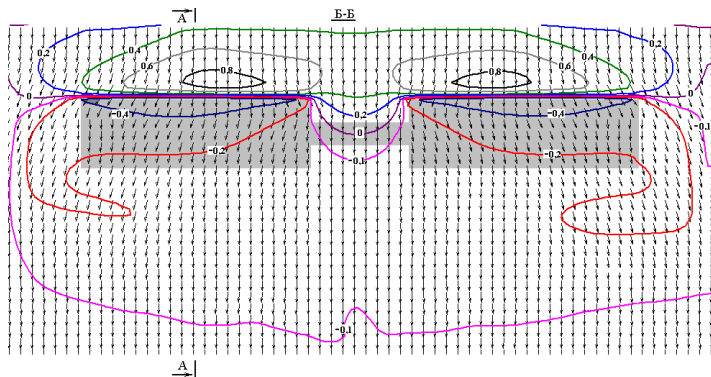


Рис. 3. Розподіл аеродинамічних коефіцієнтів в горизонтальній площині, що проходить на висоті 0,5 м над дахом при напрямку вітру вздовж осі OX .

Як видно з рисунків, в повітряній течії навколо споруди утворюються три характерні циркуляційні зони. Перша розташовується біля основи споруди з її навітряної сторони. Друга циркуляційна зона утворюється на даху будинку внаслідок відриву потоку від його передньої кромки. Третя, найбільш потужна циркуляційна зона утворюється з завітряної сторони будівлі.

З навітряної сторони споруди аеродинамічні коефіцієнти позитивні. Їх значення зростають

по мірі наближення до лівої бічної поверхні. На самій поверхні $K_p \approx +1$, що відповідає умовам гальмування потоку. В області передньої кромки даху величини K_p швидко спадають і стають негативними, досягаючи мінімальних значень $K_p \approx -0,45$. Вздовж даху величини K_p дещо збільшуються лишаючись при цьому негативними. В завітряній циркуляційній зоні аеродинамічні коефіцієнти лишаються негативними і змінюються в межах $-0,2 \dots -0,1$. Таким чином, різниця між значеннями аеродинамічних коефіцієнтів на лівій навітряній та правій завітряній поверхнях складає $\Delta K_p \approx 1,15$. Тобто перепад статичного тиску між цими поверхнями дорівнюватиме $\Delta p = 1,15 \rho U_0^2 / 2$. Внаслідок перепаду тиску між навітряною та завітряною поверхнями огорож створюються умови для проникнення зовнішнього холодного повітря в приміщення будівлі через нещільності в дверних та віконних прорізах, що займають значну частину поверхонь огорож.

Результати розрахунків полів швидкості і аеродинамічних коефіцієнтів при напрямку незбуреної вітрової течії вздовж осі OY наведено на рис. 4, 5.

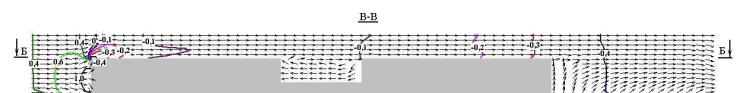


Рис. 4. Структура течії та розподіл аеродинамічних коефіцієнтів в площині, що проходить через середину споруди при напрямку вітру вздовж осі OY .

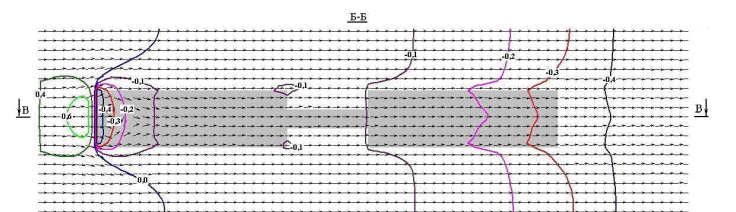


Рис. 5. Розподіл аеродинамічних коефіцієнтів в горизонтальній площині, що проходить на висоті 0,5 м над дахом при напрямку вітру вздовж осі OY .

В даному випадку крім розглянутих вище трьох характерних циркуляційних зон утворюється також додаткова вихрова область над дахом коридору, що з'єднує дві секції будівлі (рис. 4). Різниця між аеродинамічними коефіцієнтами на навітряній та завітряній поверхнях споруди збільшується в даному випадку до $\Delta K_p \approx 1,35$.

Вплив напрямку вітрової течії на аеродинамічні характеристики споруди видно

також з порівняння розподілів по висоті швидкості повітряного потоку над її дахом (рис. 6). Відповідні графіки відносяться до вертикальної лінії, що проходить через середину даху лівої секції споруди. По осі ординат відкладено значення модуля швидкості $U = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2}$, віднесеного до швидкості незбуреної течії U_0 . У випадку напрямку вітрового потоку вздовж осі OX залежність $U(H)/U_0$ має максимум при $H=5$ м. В іншому випадку швидкість $U(H)$ монотонно зростає з висотою над дахом.

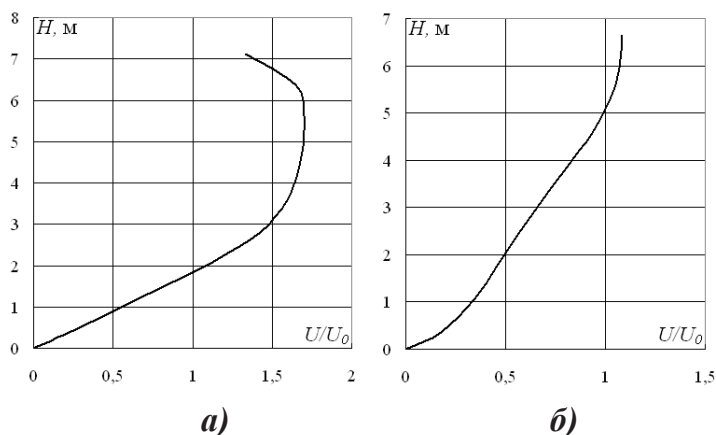


Рис. 6. Розподіл швидкості повітряного потоку по висоті над дахом споруди за напрямків вітрового потоку вздовж осі OX (а) та вздовж осі OY (б).

Дешко В.И., Шовкалюк М.М., Ленькин А.В.

Национальный технический университет Украины «КПИ»

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМНЫХ ПАРАМЕТРОВ ОТОПЛЕНИЯ ПРИ УЛУЧШЕНИИ ТЕПЛОВОЙ ЗАЩИТЫ ЗДАНИЙ

Тепловая обстановка в помещении характеризуется многими факторами. Для того, чтобы оценить соблюдение комфортных условий или эффективность введения регулирования, целесообразно иметь возможность определять тепловые потоки помещения и температуры воздуха и ограждений для каждого момента времени с учетом изменения температуры внешней среды, возможных дополнительных поступлений теплоты от бытовых приборов, людей, солнца. Эффективным способом исследования тепловых режимов зданий разных типов является математическое моделирование. Целью данной работы является разработка математической модели и анализ ее помощью тепловых режимов, распределения

Висновки

1. На конкретному прикладі числового моделювання нестационарного обтікання будинку знайдені розподіли швидкості та тиску при двох напрямках вітру. Одержані дані використовуватимуться для розрахунків полів температури у повітряному потоці, що омиває корпус, коефіцієнтів конвективної тепловіддачі з огорожі в навколишній простір, а також обсягів холодного повітря, що шляхом інфільтрації потрапляє в корпус через нещільності в огорожах.

2. Результати розрахунків свідчать про складність характеру розподілу швидкості і тиску в повітряній течії навколо будівлі. В завітреній області споруди, над коридором, що з'єднує секції будівлі та в області відриву потоку від передньої кромки споруди утворюються циркуляційні зони зі зниженим рівнем тиску, які впливають на повітрообмін споруди з навколишнім повітряним простором.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рейтер Э.И. Архитектурно-строительная аэродинамика. – М.: Стройиздат, 1984. – 293 с.

температур в ограждениях, определение тепловых потоков помещений с разной степенью тепловой защиты наружных стен.

Математической формулировкой задачи предусмотрено, что теплообмен помещения происходит через ограждение теплопроводностью, теплоотдачей на поверхности, солнечной радиацией, а также воздухообменом и благодаря отоплению и бытовым тепlopоступлениям. В ограждениях рассматривается нестационарная одномерная конечно-разностная модель кондуктивного теплообмена. Для окон задаются условия теплопередачи и проникновения солнечной радиации. Начальное распределение температур во всех узлах модели определяется после моде-