

ПІДВИЩЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ І ТЕПЛОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОГОРОДЖУВАЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ З ВЕНТИЛЬОВАНИМИ КАНАЛАМИ

Б.Х. Драганов, доктор технічних наук
А.В. Міщенко, кандидат технічних наук

Запропоновано конструкцію стінових панелей сільськогосподарських споруд з більш досконалыми аеродинамічними і тепловими показниками. Наведено дані експериментальних досліджень та методику розрахунку огорожувальних конструкцій з вентильованими каналами.

Огороджувальна конструкція, вентиляція, турбулентні потоки, гідродинамічний розрахунок.

У багатьох регіонах України в процесі експлуатації будівель помітно підвищується ступінь вологості зовнішніх огорожувальних конструкцій, що призводить до збільшення теплових втрат під час опалювального періоду.

В існуючому житловому фонді України частка великопанельних будинків є досить суттєвою. В сучасному будівництві використання панельних огорожувальних конструкцій значно зменшилось, але вони ще займають вагомий нішу. Актуальними є дослідження огорожувальних конструкцій, спрямовані на поліпшення їх теплофізичних властивостей, зокрема на виявлення причин накопичення вологи в товщі огорожувальної конструкції в річному експлуатаційному циклі будівель [5].

Мета досліджень – встановлення взаємозв'язку змін вологості огорожувальної конструкції в зоні фазового переходу залежно від фронту розміщення фазового переходу в товщині однорідного матеріалу.

Матеріали та методика досліджень. Процеси дифузії водяної пари в огорожувальній конструкції можуть бути ускладнені молярним перенесенням вологи повітря. Параметр, який відповідає за здатність вологого повітря утримувати водяну пару – C_e являє собою аналог теплоємності повітря в процесі передачі теплоти (год/кг·Па), і визначається за формулою:

$$C_e = \frac{622P_0}{\left[P_0 - \frac{\varphi_0}{100} E_s \right]}, \quad (1)$$

де P_0 – барометричний тиск, Па; φ_0 – відносна вологість навколишнього повітря, %; E_s – тиск водяної пари при температурі навколишнього повітря, Па.

Питома відносна пароємність залежить від вологості повітря в порах матеріалу огорожувальних конструкцій і визначається диференціюванням ізотерм сорбції [2, 4]:

$$\varepsilon_0 = 1000 \frac{\partial \omega}{\partial \varphi}, \quad (2)$$

де ω – вагова сорбційна вологість матеріалу; φ – відносна вологість повітря в порах матеріалу.

Аналіз показав, що одним із перспективних методів запобігання конденсації водяної пари в товщі зовнішніх огорожувальних конструкцій є влаштування в них вентилярованих каналів. Проте існуючі моделі конструкцій вентилярованих стін мають недолік – при надходженні повітря, що використовується для рекуперації теплоти у вентилярованих конструкціях, відбувається відрив повітряного потоку від стінок каналу. Внаслідок відривних явищ лише частина живого перетину вентиляційного каналу охоплена повітряним потоком. Відрив потоку супроводжується вихровими рухами, які в основному виникають у місцях зміни напрямку каналу. У каналах зовнішніх огорожень подібної конструкції витрата повітря значно менша теоретично можливої для цієї величини площі живого перетину каналу.

Результати досліджень. Технічним рішенням задачі є поліпшення конструкцій вентиляваного каналу в аеродинамічному відношенні. Ми запропонували вентиляований канал, що відрізняється від базового тим, що підвідні та відвідні ділянки розташовують під кутом 120° – 130° до основної ділянки. Крім того, їх з'єднання з основною, вертикальною ділянкою закруглено (рис. 1), що призводить до зменшення відривних явищ і, як наслідок, до помітного зменшення аеродинамічних втрат.

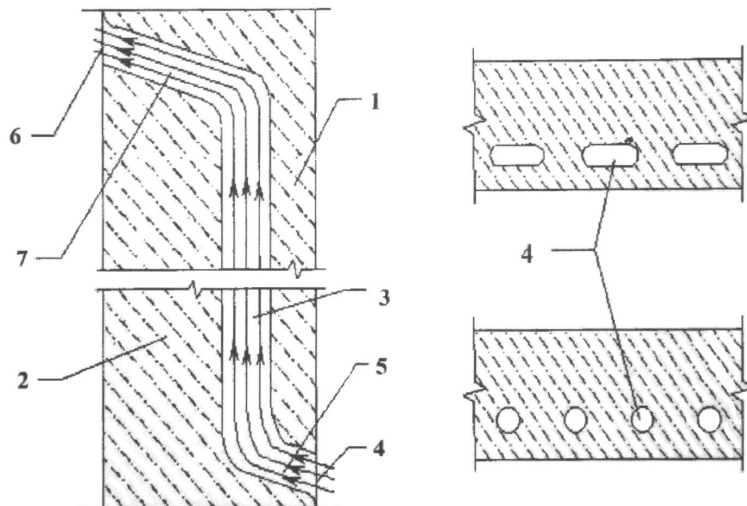


Рис. 1. Одношарова вентилявана панель зовнішнього огородження з природною і штучною (механічною) вентиляцією:

1 – зовнішній захисно-декоративний екран, 2 – внутрішній несучий шар, 3 – вентиляційний канал, 4 – припливні отвори, 5 – похила підвідна ділянка; 6 – випускний отвір, 7 – похила відвідна ділянка

Для оцінки ефективності запропонованої конструкції вентиляваного каналу були проведені експериментальні дослідження стінової панелі в спеціальному кліматичному комплексі «КИЇВЗНДІЕП».

Цей комплекс дозволяє штучно створювати зовнішні та внутрішні теплові умови приміщень. Він складається з трьох відсіків – зовнішнього, внутрішнього та операторського. У зовнішньому відсіку кліматичного комплексу відтворювались параметри зовнішнього повітря протягом опалювального сезону. У внутрішньому відсіку відтворювали температуро-вологісні параметри внутрішнього повітря тваринницького приміщення. В операторському відсіку розташовувались контрольно-вимірювальні прилади.

Зовнішній відсік кліматичної камери створений на базі термобароклава КТВВ-8000/2, який має потужну холодильну установку, спроможну забезпечити нормовані ДСТУ значення температур зовнішнього повітря протягом опалювального періоду.

Температура повітря у зовнішньому відсіку кліматичної камери підтримувалась системою автоматичного регулювання з точністю $\pm 1,5$ °C, а у внутрішньому з точністю ± 1 °C. Вологість у теплому відсіку камери підтримувалась в автоматичному режимі з точністю ± 3 %.

У теплому відсіку кліматичного комплексу підтримувалися параметри повітря, найхарактерніші для тваринницьких приміщень: температура $+14 \pm 1,0$ °C; відносна вологість $75 \pm 3,0$ %). У холодильному відсіку створювалися кліматичні умови зимового зовнішнього повітря: температура $-19 \pm 1,5$ °C; відносна вологість $79 \pm 3,0$ %).

Експеримент проводили для чотирьох варіантів огорожувальних конструкцій: суцільної стінки (А); з розташуванням каналу ближче до внутрішньої поверхні огорожі (Б); з розташуванням каналу ближче до зовнішньої поверхні огороження (В) і з розташування каналу в центрі огороження (С). Розташування вентиляваних каналів у товщі огорожувальних конструкцій показано на рис. 2.

Досліджувалися такі режими:

- вентиляція прошарків попередньо нагрітим повітрям;
- природна вентиляція зовнішнім повітрям;
- невентильовані канали (огороження з герметичними каналами).

Як контрольний режим для оцінки теплофізичних характеристик огорож приймалися дані, отримані для огорожі без каналів (варіант А).

При проведенні натурних теплофізичних випробувань використовуються прилади та обладнання згідно з ГОСТ 26254-84. Вимірювання температури проводилися за допомогою мідь-константових термопар ($-50 \dots +150$ °C, $\pm 0,2$ °C), які кріпилися до внутрішньої і зовнішньої поверхні досліджуваного огороження (рис. 3).

Отримані при обробці результатів експерименту середні за період спостереження значення температури округляються до $0,1$ °C. Заміри щільності теплового потоку проводилися датчиком перетворювача теплового потоку ПТП-0.11.13.14.00 (до 20000 Вт/м², ± 5 %). Результати вимірянних значень теплових потоків округлювались до $0,1$ Вт/м².

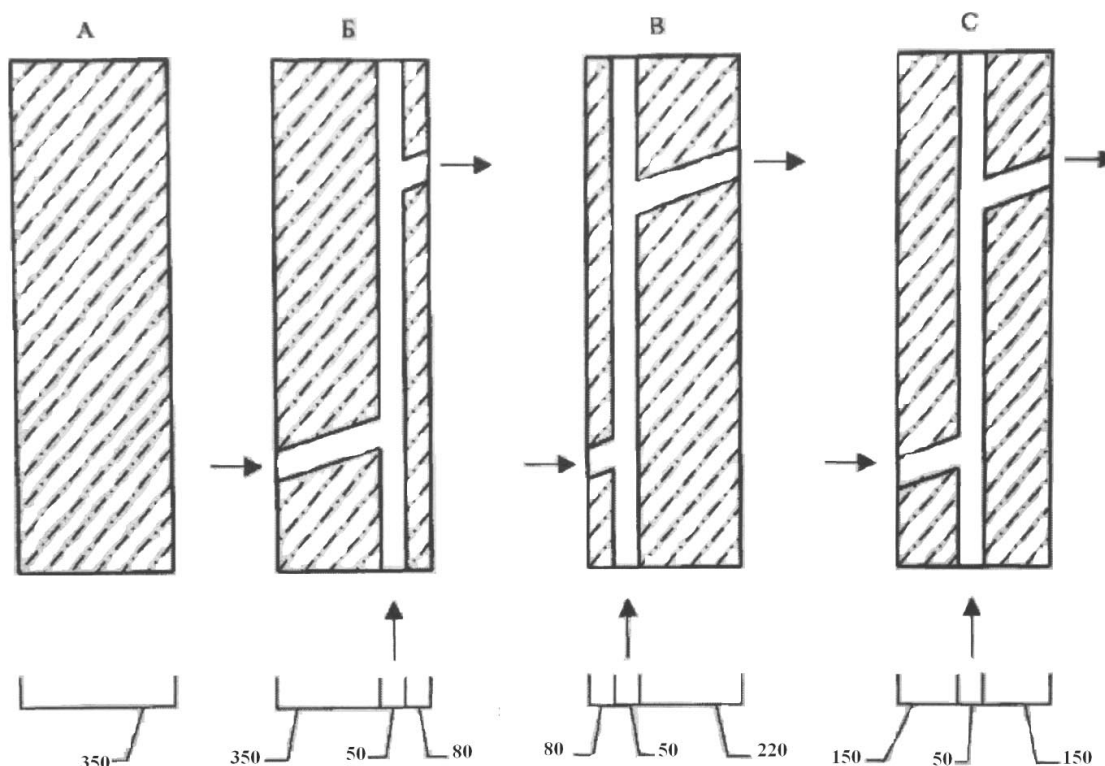


Рис. 2. Конструкції досліджуваних фрагментів огорожувальних конструкцій:
 А – контрольна ділянка; Б – з каналами, наближеними до внутрішньої поверхні огороження; В – з каналами, наближеними до зовнішньої поверхні огороження; С – з каналами в центрі огороження

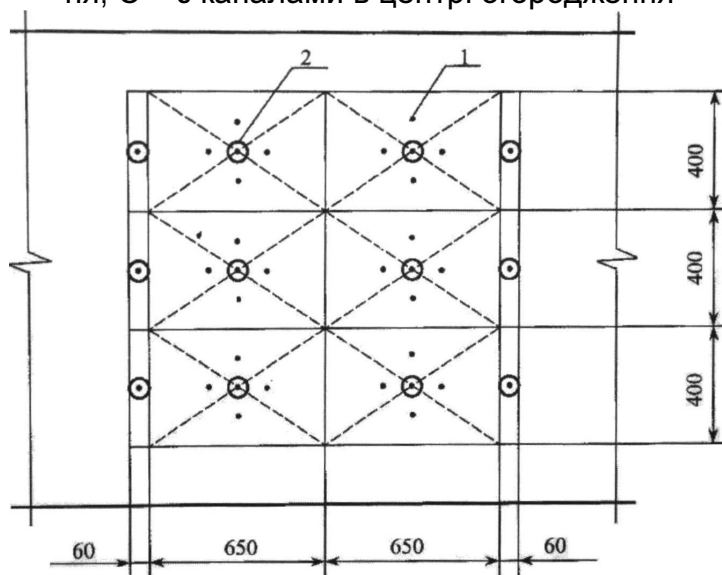


Рис. 3. Схема розташування датчиків:
 1 – датчик температури, 2 – датчик перетворювача теплового потоку

Термопари і тепломіри через багатоточкові перемикачі підключаються до електронного вольтметра В7-21А, за допомогою якого визначалася термо- е.р.с. кожного датчика. Відносну вологість повітря визначали психрометром ВМ-4М.

Для вибору оптимальної схеми розміщення датчиків, що враховують конструктивні особливості досліджуваної огорожі, проводилось попе-

реднє теплове обстеження поверхні панелі за допомогою пірометра. Це дозволило виявити термічно однорідні зони і розташування теплопровідних включень, їх конфігурацію і розміри.

На основі аналізу проведених експериментальних досліджень було встановлено, що відношення опору теплопередачі для стандартної конструкції панелі до експериментальної рівне 0,145–0,398 м²·К/Вт. Отриманий результат переконливо говорить про те, що слід віддавати перевагу вентиляційним каналам з підвищеними аеродинамічними показниками. Експериментальні дані були доповнені теоретичними розрахунками.

Якщо вважати, що вентиляційний канал має циліндричну форму – то рух в'язкого нестисливого середовища можна описати системою рівнянь:

- рівняння нерозривності потоку:

$$\frac{\partial w}{\partial z} + \frac{\partial v}{\partial r} + \frac{v}{r} = 0; \quad (3)$$

- рівняння руху рідини – рівняння Нав'є-Стокса:

$$\frac{\partial v}{\partial \tau} + w \frac{\partial v}{\partial z} + v \frac{\partial v}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial z} [v_{eff} (\frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial r})] + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (2rv_{eff} \frac{\partial v}{\partial r}); \quad (4)$$

$$\frac{\partial w}{\partial \tau} + w \frac{\partial w}{\partial z} + v \frac{\partial w}{\partial r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} (2rv_{eff} \frac{\partial w}{\partial z}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [rv_{eff} (\frac{\partial w}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial z})]; \quad (5)$$

- рівняння теплопереносу в потоці рідини:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} + v \frac{\partial t}{\partial r} + w \frac{\partial t}{\partial z} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} [r(\frac{v}{Pr} + \frac{v_t}{Pr_t}) \frac{\partial t}{\partial r}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\frac{v}{Pr} + \frac{v_t}{Pr_t}) \frac{\partial t}{\partial z}]; \quad (6)$$

- рівняння теплопровідності в стінці каналу:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a(\frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2}). \quad (7)$$

Для опису турбулентного переносу, крім рівнянь Нав'є-Стокса та теплопереносу, до рівнянь 3–7 додаються рівняння кінетичної енергії турбулентності k і швидкостей її дисипації ε , а саме:

- рівняння кінетичної енергії турбулентності:

$$\frac{\partial k}{\partial \tau} + w \frac{\partial k}{\partial z} + v \frac{\partial k}{\partial r} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r(v + \frac{v_t}{Pr_k}) \frac{\partial k}{\partial r}) + \frac{\partial}{\partial z} ((v + \frac{v_t}{Pr_k}) \frac{\partial k}{\partial z}) + G_k - \varepsilon - D_k; \quad (8)$$

- рівняння для швидкості дисипації енергії:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \tau} + w \frac{\partial \varepsilon}{\partial z} + v \frac{\partial \varepsilon}{\partial r} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} (r(v + \frac{v_t}{Pr_\varepsilon}) \frac{\partial \varepsilon}{\partial r}) + \frac{\partial}{\partial z} ((v + \frac{v_t}{Pr_\varepsilon}) \frac{\partial \varepsilon}{\partial z}) + \frac{\varepsilon}{k} C_{1\varepsilon} G_k - \frac{\varepsilon}{k} f_\varepsilon - R_\varepsilon. \quad (9)$$

При турбулентному режимі течії в рівняння теплопереносу (6) вводиться число Прандтля Pr_t , яке для різних моделей турбулентної в'язкості визначається по-різному. Для стандартної k - ε – моделі турбулентне число Прандтля залишається постійною величиною, або визначається емпіричними залежностями. Для RNG k - ε – моделі турбулентне число Прандтля представлено рішенням трансцендентного рівняння [1]:

$$\left| \frac{\text{Pr}_t^{-1} - 1.3929}{\text{Pr}^{-1} - 1.3929} \right|^{0.6321} \left| \frac{\text{Pr}_t^{-1} + 2.3929}{\text{Pr}^{-1} + 2.3929} \right|^{0.3679} = \frac{\nu}{\nu_t}. \quad (10)$$

Для визначення числа Прандтля для кінетичної енергії турбулентності використовується співвідношення:

$$\left| \frac{\text{Pr}_t^{-1} - 1.3929}{0.3929} \right|^{0.6321} \left| \frac{\text{Pr}_t^{-1} + 2.3929}{3.3929} \right|^{0.3679} = \frac{\nu}{\nu_t}. \quad (11)$$

Для RNG $k-\varepsilon$ - моделі значення числа Прандтля для кінетичної енергії та для швидкості її дисипації збігаються, для інших моделей динаміки турбулентності визначається, як правило, емпірично.

Висновки

Запропоновані конструкції панелей з вентиляльованим каналом мають кращі аеродинамічні і теплотехнічні характеристики. Гідродинамічний розрахунок вентиляльованих каналів огорожувальних конструкцій слід виконувати з урахуванням турбулентності потоку та її дисипації.

Список літератури

1. Авраменко А.А. Групповые методы в теплофизике / Авраменко А.А., Басок Б.И., Кузнецов А.В. – К.: Наук. думка, 2003. – 483 с.
2. Грудзинский М.М. Оптимальные вентиляционные системы зданий / Грудзинский М.М., Ливчак В.И., Поз М.Я. – М.: Стройиздат, 1982. – 258 с.
3. Богословский В.Н. Строительная теплофизика / В.Н Богословский. – М.: Высш. шк., 1982. – 415 с;
4. Ушков Ф.В. Теплопередача через ограждения при фильтрации воздуха / Ф.В. Ушков. – М.: Стройиздат, 1969. – 144 с;
5. Черных Л.Ф. Расчет теплопередачи через трехслойную стенку при периодическом изменении температуры наружного воздуха / Черных Л.Ф., Крылова Т.Д., Дрозд Е.А. – К.: «КИЕВЗНИЭП», 1995. – С. 66–79.

Предложена конструкция стеновых панелей сельскохозяйственных сооружений с более совершенными аэродинамическими и тепловыми показателями. Приведены данные экспериментальных исследований и методика расчета ограждающих конструкций с вентилируемыми каналами.

Ограждающая конструкция, вентиляция, турбулентные потоки, гидродинамический расчет.

A design wall panels agricultural buildings with improved aerodynamic and thermal performance. Data are presented experimental studies and methods of calculating envelope with ventilated channels.

Cladding, ventilation, turbulent flow, hydrodynamic calculation.