

УДК 536.24

Денисенко О.І.¹, Земляна А.В.²

1 канд. техн. наук, доц. НУ «Запорізька політехніка»

2 студ. гр. НТ-811 НУ «Запорізька політехніка»

ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОФІЗИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СКЛОПАКЕТІВ

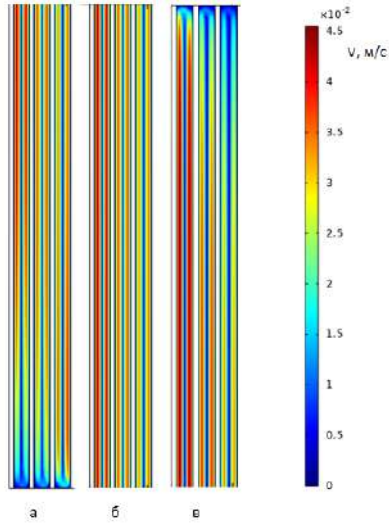
Використання енергозберігаючих технологій останнім часом набуло особливого значення. Суттєва доля втрат теплової енергії в житлових приміщеннях відбувається через вікна. Прості одновимірні або балансові моделі не враховують ефекти конвективного руху повітря в камерах склопакетів. В роботах [1-4] чисельно аналізуються задачі сполученої теплопередачі через вікна з однокамерним склопакетом зі шторками, та досліджуються характеристики двокамерних склопакетів.

Для оцінки теплотозберігаючих властивостей багатокамерних склопакетів розглядається двовимірною математичною моделлю, яка враховує конвективний рух повітря в камерах та неоднорідний розподіл температури по висоті склопакету. Модель містить систему диференціальних рівнянь вільної конвекції для камер склопакету, та рівняння теплопровідності для скла. Задача розглядається в спряженій постановці. Чисельна реалізація моделі відбувалася методом скінченних елементів за допомогою програмного комплексу COMSOL Multiphysics. Задача вирішувалася в квазістаціонарній постановці. Ітерації проводились до повного встановлення. В деяких режимах не вдавалось отримати повне встановлення ітераційного процесу у зв'язку з наявністю конвективних флуктуацій. В таких випадках розглядалась нестационарна постановка задачі, а час розрахунку визначався стабілізацією інтегральних характеристик процесу теплообміну.

Проведена серія чисельних експериментів для різних конструктивних параметрів склопакетів. Розглядалися однокамерні, двокамерні та трикамерні склопакети з наповненням камер інертними газами або повітрям для різних кліматичних умов. Проведені розрахунки дозволили візуалізувати структуру конвективних потоків в камерах склопакету та визначити їх вплив на розподіл температури та ефективність теплотозбереження. Деякі результати розрахунків представлені на рис.1-рис.2. На рис.1 наведено розподіл швидкостей конвективних потоків для трикамерного склопакету в умовах $T_{\text{зовн.}} = -20^{\circ}\text{C}$ та $T_{\text{внутр.}} = 20^{\circ}\text{C}$. На рис.2 наведені температурні профілі для шарів скла, які формуються в результаті вільної конвекції повітря в камерах склопакету.

Профіль 1 на рис .2 відповідає листу скла, який контактує з зовнішнім середовищем, 2,3,4 – послідовно наступні листи скла. Враховуючи високу теплопровідність скла температурні профілі поверхонь скляного листа практично співпадають. Максимальні швидкості локалізуються в центральному фрагменті склопакету. В приграничних шарах біля поверхні скла формуються висхідний та низхідний потоки, а в центральній області в деяких режимах спостерігаються циркуляційні комірки. Отримані температурні режими дозволяють обчислити інтегральні характеристики, які визначають загальний тепловий опір віконних систем.

Досліджувався також вплив співвідношення розмірів камер на теплофізичні характеристики склопакетів. Для двокамерних склопакетів отримана залежність теплового опору від розташування внутрішнього листа скла. Подібні залежності отримані також для випадків заповнення камер склопакету аргоном або криптоном. Чисельні експерименти проводились для зовнішньої температури в діапазоні від -20°C до 0°C . Розглядалися також конструкції з комбінацією різних наповнювачів камер.



а – нижній фрагмент; б – середній фрагмент; в – верхній фрагмент.
 Рисунок 1 – Розподіл швидкостей конвективних потоків в трикамерному склопакеті.

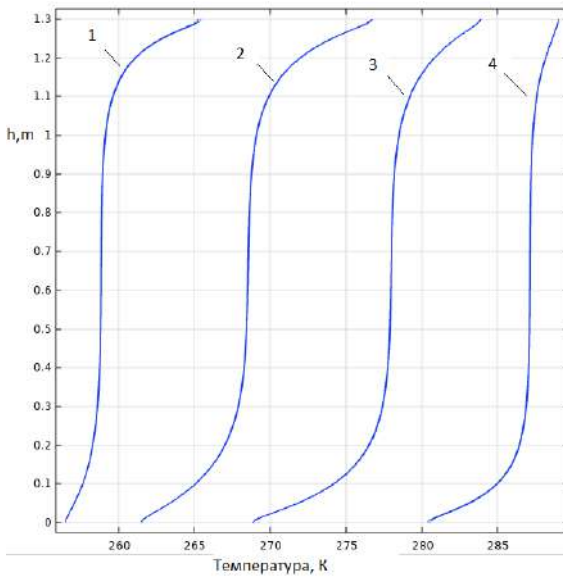


Рисунок 2 – Розподіл температури на поверхні скляних листів по висоті трикамерного склопакету

Використання чисельних методів дозволяє досліджувати складні багатовимірні моделі в мультифізичній постановці, а також на стадії проектування заощаджувати на проведенні коштовних натурних експериментів та прогнозувати поведінку віконних систем в різних кліматичних умовах в залежності від обраних конструктивних рішень.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Orhan Aydın. Conjugate heat transfer analysis of double pane windows. //Building and Environment. Volume 41, Issue 2, February 2006, Pages 109-116.
2. R. Dalal, D. Naylor, D. Roeleveld. A CFD study of convection in a double glazed window with an enclosed pleated blind// Energy and Buildings. Volume 41, Issue 11, November 2009, Pages 1256-1262
3. S.Z. Movassag, K. Zamzarian, Numerical investigation on the thermal performance of double glazing air flow window with integrated blinds// Renewable Energy, 148 (2020), p. 852-863.
4. Denisenko O. Numerical simulation of convective heat transfer in glass units / O. Denisenko // Norwegian Journal of development of the International Science. – Oslo, Norway, 2024. – Vol. 133. – P. 71-75.