

## **КВАЗИСТАЦІОНАРНИЙ ТЕПЛОВИЙ РЕЖИМ ПРИМІЩЕННЯ ПРИ НИЗЬКОТЕМПЕРАТУРНОМУ ПОВІТРЯНОМУ ОПАЛЕННІ ФАНКОЙЛОМ**

Новіцька М.П., Ткаченко М.В., Недбайло О.М., Божко І.К.

Інститут технічної теплофізики Національної академії наук України  
м. Київ, Україна

**АНОТАЦІЯ:** На основі проведених експериментальних досліджень квазістаціонарного теплового режиму окремого приміщення при опаленні фанкойлом виконано верифікацію теплофізичної моделі теплопереносу в приміщенні при використанні настінного корпусного фанкойлу. Відзначається задовільна кореляція розрахункових значень із експериментальними даними. Наведені поля температур та швидкостей у кімнаті.

**АННОТАЦІЯ:** На основе проведенных экспериментальных исследований квазистационарного теплового режима отдельного помещения при отоплении фанкойлом выполнено верификацию теплофизической модели теплопереноса в помещении при использовании настенного корпусного фанкойла. Отмечается удовлетворительная корреляция расчетных значений с экспериментальными данными. Приведены поля температур и скоростей в комнате.

**ABSTRACT:** Verification thermo physical model of indoors heat transfer using wall corps fan coils for heatingasere made on the basis of experimental studies quasistationary thermal regime of single room with heating fan coil. A satisfactory correlation between calculated values with experimental data is founded. A temperature field and velocity in the room was determined.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** Фанкойл, тепломасообмін, мікроклімат приміщення, моделювання.

Підвищення ефективності використання теплової енергії в житлово-комунальному господарстві практично неможливо без переходу на використання низькотемпературних систем опалення. Одним із прикладів енергоефективного підходу до підтримання параметрів оптимального мікроклімату в приміщенні є застосування універсальних повітряно-рідинних теплообмінників з примусовим обдувом поверхні теплообміну (фанкойлів) в системах опалювання і кондиціонування повітря.

При цьому в проектно-конструкторській практиці на сьогоднішній день як і раніше переважають традиційні спрощені інженерні методи розрахунку, використання яких регламентується відповідними галузевими нормативами. Однак добре відомо, що застосування таких методів обмежено найпростішими типовими об'єктами, для яких накопичений досить великий обсяг експериментальних даних, необхідних для підбору

емпіричних констант і функцій, що входять у відповідні розрахункові методики [1]. Стосовно процесів теплопереносу в приміщенні, що розглядаються в даній роботі, не менш істотним недоліком інженерних методів є те, що вони не дають практично ніякої інформації про локальні характеристики: поля швидкості, температури. В результаті, навіть у тому випадку, коли спроектована на основі таких методів система загалом задовольняє необхідним вимогам, немає ніякої гарантії, що вона забезпечує виконання санітарно-гігієнічних норм по параметрах повітряного середовища в окремих областях приміщення. В основному це справедливо для нетипових об'єктів: великих кіноконцертних залів, виробничих приміщень на фармацевтичних, мікроелектронних виробництвах та в медичних установах.

На відміну від інженерної практики, методи математичного моделювання в прикладних програмних пакетах базуються на суворих фундаментальних законах гідродинаміки і тепломасопереносу і дозволяють отримати детальну і досить точну кількісну інформацію про локальні характеристики мікроклімату об'єкта. У роботах [1, 2] наведені результати подібного застосування комп'ютерних програм обчислювальної гідродинаміки і масопереносу для аналізу процесів опалення та кондиціонування повітря.

В Інституті технічної теплофізики НАН України було створено лабораторію (описано у роботі [3]) для проведення досліджень теплового стану приміщення при опаленні різними системами, в якій було проведено серію експериментальних робіт щодо дослідження квазістаціонарного теплового режиму приміщення при опаленні корпусним настінним фанкойлом. На опалювальний прилад (фанкойл) подавався теплоносій (вода) з фіксованим значенням температури, що забезпечувалось завдяки проточному електроводонагрівачу, ввімкненому в електромережу через стабілізатор напруги та автотрансформатор. Експеримент тривав досить довгий проміжок часу (до 4 тижнів) для подальшого визначення найбільш сприятливіших умов навколишнього середовища. Квазістаціонарність теплового стану приміщення визначалась незмінними тепловтратами через зовнішні огорожувальні конструкції, що забезпечувалось мінімальними коливаннями температури зовнішнього повітря та максимальною хмарністю (для зменшення впливу розсіяної сонячної радіації через вікно). Протягом проведення експерименту автоматично реєструвались температури повітря ззовні (на відстані 30 см від стіни) і в приміщенні по вертикалі в 16 точках із частотою вимірювання кожні 15 хвилин за допомогою попередньо проградуєваних термометрів опору мідних ТСМ-205 (похибка вимірювання  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ). Також проводились вимірювання швидкості та температури повітря на виході з фанкойла термоанемометром testo 405-V1 (похибка вимірювання температури  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ ; швидкості  $\pm 0,3$  м/с) та температури поверхні стін, стелі, підлоги та вікна пірометром testo 845 (похибка вимірювання  $\pm 0,75^{\circ}\text{C}$ ). За допомогою лічильника теплоти, що встановлений в гідравлічному контурі експериментальної установки, автоматично реєструвались: накопичувальне значення теплової енергії, що передана в приміщення через фанкойл; потужність; середньогодинні значення витрати теплоносія в контурі, а також температури теплоносія на вході і виході з фанкойлу. Вентиляційний отвір приміщення був герметично закритий для запобігання припливно-витяжної вентиляції (спрощення експерименту). Всі пристрої, що виділяють додаткову теплоту в приміщення лабораторії, були видалені або вимкнені.

В роботі [4] наведені результати верифікації математичної моделі складного теплообміну між теплоносієм в системі підлогового опалення і повітрям в приміщенні. У продовження досліджень особливостей експлуатації енергоефективних низько температурних систем опалення було проведено чисельне моделювання теплового стану приміщення при експлуатації корпусного фанкойла в якості єдиного опалювального

приладу для підтримки заданого теплового стану лабораторного приміщення площею  $18 \text{ м}^2$ . Побудована розрахункова сітка являє собою паралелепіпед із розмірами  $6,1 \times 2,9 \times 2,9 \text{ м}$ . Фанкойл розташований на внутрішній боковій стіні на висоті  $2,43 \text{ м}$  до нижнього зрізу корпусу і на відстані  $0,2 \text{ м}$  від бічної поверхні фанкойла до зовнішньої стіни з вікном розмірами  $2,40 \times 1,65 \text{ м}$ . Всі геометричні розміри були побудовані у відповідності з існуючим лабораторним приміщенням. На виході з фанкойла задавались: температура повітря  $31,0^\circ\text{C}$  і витрата повітря –  $0,175 \text{ кг/с}$ . Кут нахилу плоского повітряного струменя по відношенню до стіни становив  $45^\circ$ . Забір повітря фанкойлом здійснювався через верхню і фронтальну площини корпусу (рис. 1). В якості граничних умов використовувались умови першого роду, тобто задавались постійні значення температури на внутрішніх поверхнях підлоги, стелі, стін і вікна, що визначались експериментально.

Моделювання квазістаціонарних процесів тепломасопереносу всередині об'єму приміщення проводилося в прикладному програмному пакеті Ansys Fluent 14. Чисельно методом контрольного об'єму вирішувалась система диференціальних рівнянь, що включала рівняння нерозривності, збереження кількості руху (або рівняння Нав'є-Стоксу) і енергії. Для врахування турбулентності використовувались стандартна  $k$ - $\epsilon$  модель, її ренормгрупова модифікація RNG та модель  $k$ - $\omega$ . Тобто додатково вирішувались ще два рівняння для кінетичної енергії  $k$  та швидкості дисипації  $\epsilon$  специфічної  $\omega$ . У розрахунках густина повітря залежала від температури згідно наближенню Буссінеска.

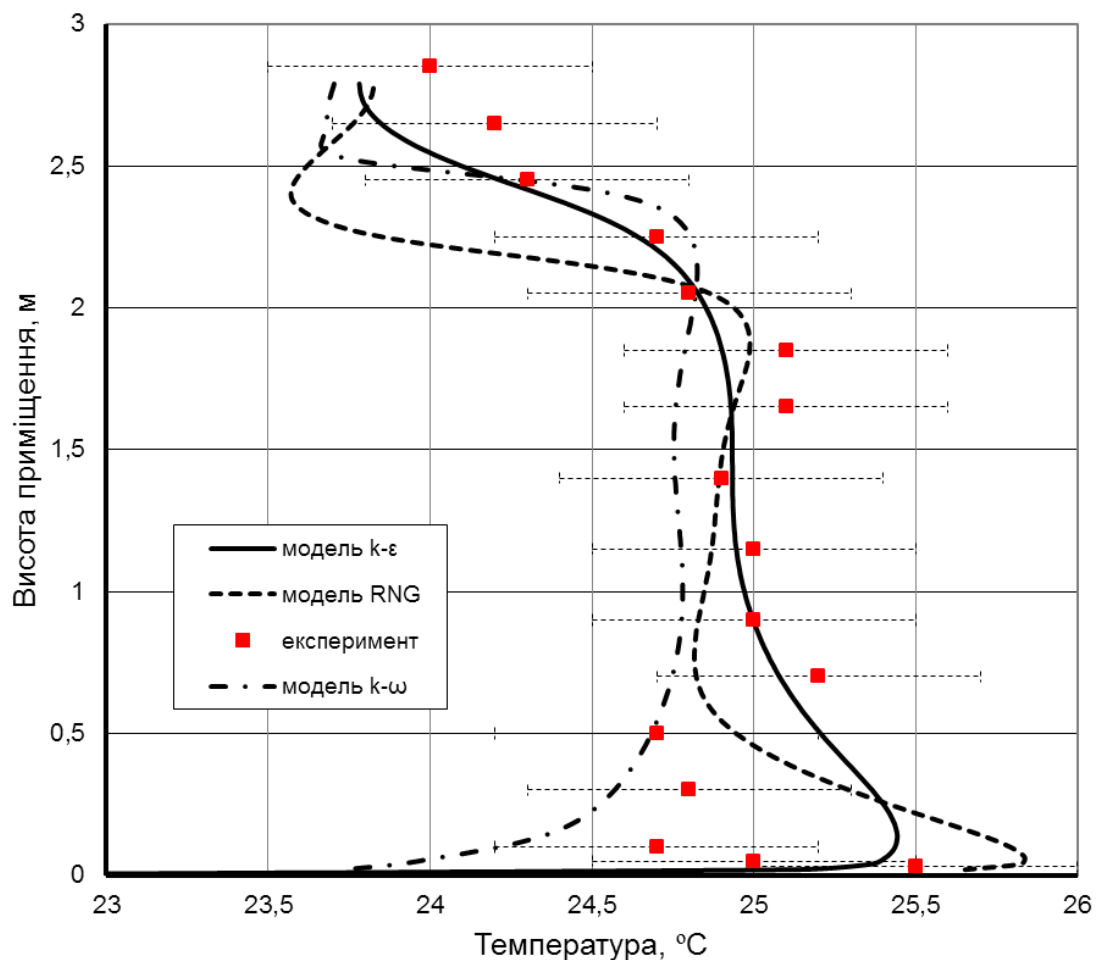


Рис. 1. Локальний розподіл температури по висоті приміщення

При зіставленні результатів розрахунків з експериментальними даними розподілу температури повітря по висоті приміщення в визначеному місці видно досить добре узгодження, з урахуванням похибки експерименту (рис. 1). Отже можна зробити висновок, що на основі розробленої математичної моделі можна з досить високою точністю визначати тепловий та аеродинамічний стан всього приміщення при низькотемпературному повітряному опаленні за допомогою фанкойла.

Результати розрахунку по  $k$ - $\epsilon$  моделі найкраще узгоджується з експериментом. В подальшій роботі дана модель може бути рекомендована для моделюванні аналогічних процесів при повітряному опаленні приміщень.

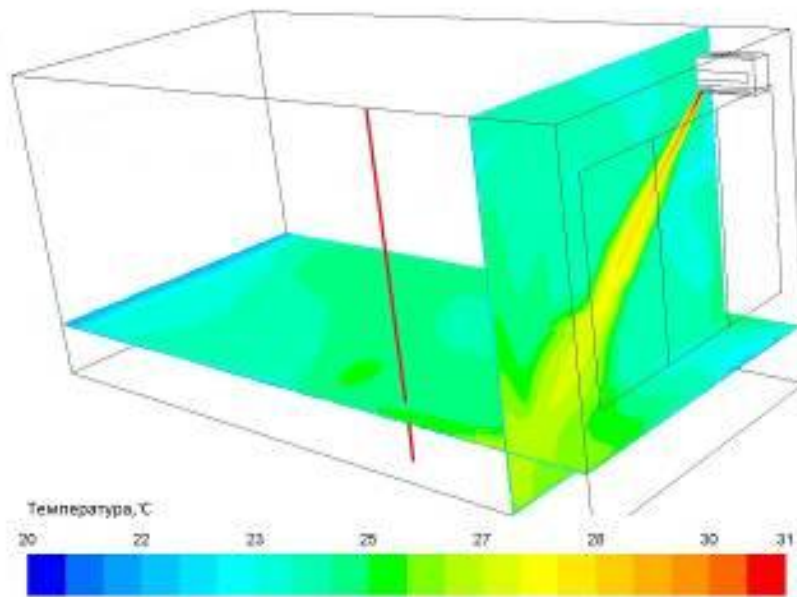


Рис. 2. Модель приміщення з фанкойлом та полями температури в розрізах

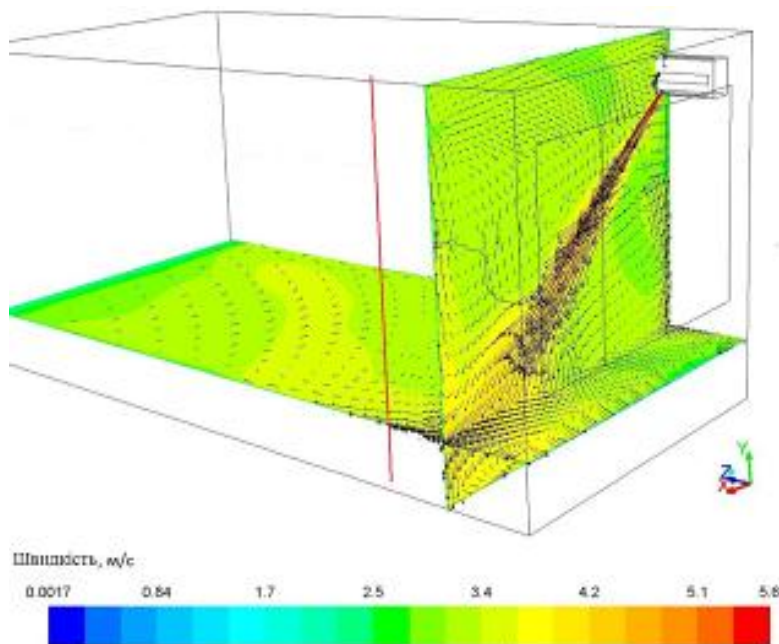


Рис. 3. Поля швидкості повітря в приміщенні при опаленні настінним фанкойлом

Отримані результати розрахунків дозволяють з достатньою для досліджуваних процесів точністю отримувати поля температури (рис. 1) та швидкості (рис. 2) в будь-якому місці приміщення, аналіз яких дає змогу визначити оптимальне місце розташування фанкойла та раціональні параметри експлуатації для даного приміщення (кут нахилу струменя і швидкість повітря).

Аналізуючи рис. 2, 3 можна прийти до висновку, що в даному приміщенні нераціонально розташовувати фанкойл на бічних стінах, так як при цьому в робочій зоні людини можливе не дотримання комфортних за швидкістю повітря умов. Пошук оптимального розташування фанкойла, оптимальних параметрів роботи (кут подачі, швидкість та температура повітря) є завданням для подальших досліджень.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Ластовец Н.В. Применение вычислительных программ вычислительной гидродинамики для анализа процессов вентиляции и кондиционирования воздуха / Н.В. Ластовец // Коммунальное хозяйство городов: научно технический сборник. - №88. – 2008. – С. 208 – 213.
2. Юрченко Д. Обеспечение температурного режима товарного склада в зимний и летний периоды с помощью AnsysCFD / Д. Юрченко, Д. Хитрых // Ansysadvantage. Русская редакция. – №12. – 2009. – С. 35 – 38.
3. Ткаченко М.В. Дослідження квазістаціонарного теплообміну в системі водяного підлогового опалення / Ткаченко М.В. // Промышленная теплотехника. – 2011. – Т.33. - №8. – С. 170 –175.
4. Моделювання теплового стану приміщення з системою водяного підлогового опалення / [Б.І. Басок, О.М. Недбайло, М.П. Новіцька, М.В. Ткаченко] // Промышленная теплотехника. – 2012. – Т. 34. - №7. – С. 65 – 73.

Стаття надійшла до редакції 29.03.2013 р.