

Наведені результати комп'ютерного числового моделювання аеродинамічних та тепломасообмінних процесів у приміщенні з променистою системою обігріву «тепла підлога» за допомогою програмного комплексу ANSYS CFX. Розроблена розрахункова модель приміщення дозволила провести дослідження впливу нестационарних процесів у внутрішньому об'ємі приміщення на його загальний тепловий стан. Отримані аналітичні залежності зміни параметрів теплового стану приміщення від часу його прогрівання

Ключові слова: промениста система опалення, числове моделювання, тепловий стан приміщення, «тепла підлога»

Приведены результаты компьютерного численного моделирования аэродинамических и тепломассообменных процессов в помещении с лучевой системой обогрева «теплый пол» с помощью программного комплекса ANSYS CFX. Разработанная расчетная модель помещения позволила провести исследование влияния нестационарных процессов во внутреннем объеме помещения на его общее тепловое состояние. Получены аналитические зависимости изменения параметров теплового состояния помещения от времени его прогрева

Ключевые слова: лучистая система отопления, численное моделирование, тепловое состояние помещения, «теплый пол»

УДК 697.14
DOI: 10.15587/1729-4061.2015.56647

МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛООВОГО СТАНУ ПРИМІЩЕННЯ З СИСТЕМОЮ ОБІГРІВУ «ТЕПЛА ПІДЛОГА»

М. І. Сотник

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: ni.sotnik@gmail.com

С. О. Хованський

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: serg_83@ukr.net

І. П. Гречка

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра теорії і систем автоматизованого

проектування механізмів і машин

Національний технічний університет

«Харківський політехнічний інститут»

вул. Фрунзе, 21, м. Харків, Україна, 61002

E-mail: lri-@mail.ru

В. О. Панченко

Асистент*

E-mail: pan_va@ukr.net

М. О. Максимова

Кандидат технічних наук, доцент

Кафедра пожежної профілактики в населених пунктах

Національний університет цивільного захисту України

вул. Чернишевського, 94, м. Харків, Україна, 61023

E-mail: madadiro@mail.ru

*Кафедра прикладної гідроаеромеханіки

Сумський державний університет

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, Україна, 40007

1. Вступ

Проблема економії паливно-енергетичних ресурсів на сьогоднішній день є актуальною, як в Україні, так і світі, особливо гостро вона стоїть в житлово-комунальному господарстві. У першу чергу це пов'язане з природним підвищенням потреб людства в комфортних умовах життєдіяльності, так за даними [1] 30 % теплової енергії, яка вироблена в Україні за 2013 р., використали приватні домовласники, у тому числі 80 % цієї енергії витрачено для опалення будівель. У якості опалювальних пристроїв у системах опалення таких приміщень традиційно використовують опалювальні прилади конвекційного типу (радіатори і конвектори). Однак, при їх використанні заздалегідь передбачається доволі значна різниця температур між нагрівальними поверхнями і повітрям у приміщенні, що в свою чергу впливає на розподіл полів швидкостей повітряних потоків у приміщеннях. Аналіз розподілу температурних полів повітря у приміщеннях, що опа-

люються приладами конвекційного типу, показав їх значну неоднорідність. Тому і проблема підвищення енергетичної ефективності функціонування традиційних систем опалення та підвищення показників теплового комфорту у приміщеннях має вирішуватися впровадженням нових технологічних рішень.

Одним із варіантів підвищення ефективності використання теплової енергії у системах опалення будівель є застосування як основної панельно-променистої системи опалення [2]. Застосування таких систем із їх розташуванням на (або у) підлозі передбачає зниження температур нагрівальних поверхонь. При застосуванні таких систем обігріву створюються більш комфортні умови [3], через зміну розподілу температури по висоті приміщення (температура повітря на рівні голови людини на декілька градусів нижча ніж на рівні ніг). Також застосування систем опалення за схемою «тепла підлога» зменшує швидкість повітряних потоків у приміщенні, що опалюється [2]. Однак, незважаючи на перераховані вище переваги, при за-

стосуванні таких систем існують і проблемні питання щодо технології впровадження, розрахунку їх конструктивних параметрів. Урахування всіх факторів, що можуть впливати на ефективність функціонування промислової системи опалення «тепла підлога», доволі складна задача. Тому, одним із напрямів її вирішення є числове моделювання, що базується на створенні математичних або числових моделей теплового стану приміщення.

Враховуючи зазначене вище, прийняття рішень стосовно ефективності використання теплової енергії в системах опалення є важливою та актуальною задачею, яка вимагає урахування особливостей аеродинамічних та тепломасообмінних процесів, що протікають у приміщенні при його опаленні, і потребує удосконалення існуючих моделей і методів моделювання функціонування систем тепlopостачання для забезпечення раціональних теплових режимів.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Будівля є складною архітектурно-конструктивною системою, що вирізняється великою кількістю елементів огорожувальних конструкцій та інженерного обладнання, в яких протікають різні по фізичній суті процеси поглинання, перетворення і перенесення теплоти. Завдання забезпечення в приміщеннях будівлі певного теплового режиму передбачає організацію взаємодіючих теплових потоків у складових елементах будівлі, причому кожен з них може бути як носієм так і передавачем енергії [4].

Відповідно до природи процесу формування теплового режиму приміщення розрізняють імовірнісні та детерміновані математичні моделі, які описують тепловий стан будівлі [4]. Імовірнісні математичні моделі, зазвичай, описують стохастичні процеси, які відображають закони розподілу дискретних змінних. Детерміновані моделі описують процес без застосування статистичних імовірнісних розподілів. Розрізняють також частково імовірнісні математичні моделі теплового режиму будівлі, в яких зміна параметрів зовнішнього клімату розглядається як стохастичний процес, а всі інші фактори і процеси – як детерміновані та імовірнісні математичні моделі, в яких, крім параметрів зовнішнього клімату, розглядаються стохастичні та інші фактори і процеси [5].

У роботі [4] запропонована наступна класифікація моделей теплового режиму приміщення: математичні моделі теплового режиму приміщення як об'єкта з розподіленими параметрами (до них віднесені математичні моделі, які описують температурне поле за висотою і площею приміщення і окремо враховують променистий і конвективний теплообмін у приміщенні [4, 6]); математичні моделі теплового режиму приміщення як об'єкта з частково розподіленими параметрами (до них віднесені математичні моделі, які окремо враховують променистий і конвективний теплообмін у приміщенні, а температура повітря приймається однаковою за об'ємом приміщення [4, 7, 8]); математичні моделі теплового режиму приміщення як об'єкта із зосередженими параметрами (до них віднесені математичні моделі, які описують теплообмін в приміщенні без поділу на конвективну і променисту складові, а тем-

пература повітря приймається однаковою за об'ємом приміщення [4, 9]). У наведених вище моделях теплового стану приміщення автори описують динамічний процес складного теплообміну, який відбувається в умовах невизначеності значної кількості фізичних і конструктивних параметрів, а також зовнішніх кліматичних збурень і технологічних факторів. Повне врахування зазначених параметрів, без застосування ряду спрощень та припущень, призводить до різкого збільшення обсягу обчислювальних робіт та перетворює модель у таку, що не може бути реалізованою [7].

Проведений аналітичний огляд тенденцій розвитку, технічного рівня систем промислового опалення будівель показав недостатність інформації стосовно методики розрахунку систем опалення «теплою підлогою». З розвитком математичних методів числового моделювання з'явилася можливість підвищити точність при проведенні розрахунків теплових параметрів таких систем. Широко використовуване в світовій практиці числове комп'ютерне моделювання дозволяє розглянути значну кількість варіантів під час проектування та обрати оптимальний, з точки зору енергоефективності, комфорту, безпеки тощо. Також даний метод дозволяє змодельовати вже існуючий об'єкт, оцінити його ефективність роботи та знайти шляхи подальшої модернізації.

3. Мета та задачі дослідження

Аналіз літературних джерел щодо променистих систем опалення будівель дозволив сформулювати мету даної роботи – підвищення ефективності використання теплової енергії приміщень з системою опалення «тепла підлога» на основі аналізу їх теплових режимів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- розробити числову модель теплового стану приміщення, яке обігрівається промислою системою опалення «тепла підлога»;
- на основі розробленої моделі здійснити моделювання аеродинамічних і тепломасообмінних процесів складного теплообміну та дослідити вплив нестационарних процесів у внутрішньому об'ємі приміщення на його загальний тепловий стан.

4. Матеріали та методи дослідження теплового стану приміщень

При оцінці ефективності функціонування систем теплозабезпечення використовують інтегральний якісний показник теплового комфорту людини. Тепловий комфорт визначається мікрокліматом у приміщенні, який у свою чергу, характеризується температурами повітря і внутрішніх поверхонь приміщення, вологістю повітря і швидкістю його руху [3]. Нормальне тепловідчуття людини визначається комплексним показником, який враховує температуру повітря в приміщенні і середню радіаційну температуру. Під радіаційною температурою розуміють осереднену за площею температуру внутрішніх поверхонь приміщення і опалювальних приладів. Значення параметрів мікроклімату слід обирати залежно від призначення

приміщення, категорії робіт і пори року, виходячи з вимог комфорту для людей, що знаходяться всередині, і штатного протікання технологічного процесу.

Підтримання заданих параметрів мікроклімату у приміщенні на відповідному рівні в холодний період забезпечує система опалення. За способом тепловіддачі розрізняють конвективні і променисті (радіаційні) системи опалення. До конвективних відносять систему опалення, при якій температура повітря підтримується на більш високому рівні, ніж радіаційна температура (у цьому випадку найбільш поширеними нагрівальними приладами є радіатори і конвектори різних конструкцій). Променистим вважають опалення, при якому радіаційна температура приміщення перевищує температуру повітря (до променистого опалення відносяться інфрачервоне опалення та опалення, яке здійснюється за допомогою вбудованих панелей із нагрівальними елементами у вигляді труб або електричних кабелів) [2].

4. 1. Загальне математичне формулювання задачі

При дослідженнях теплового стану приміщення, зазвичай, використовуються розрахункові моделі складного теплообміну, які описують процеси конвективно-го теплообміну (спільний процес перенесення теплоти конвекцією та теплопровідністю), що супроводжуються тепловим випромінюванням (перенесення теплоти електромагнітними хвилями, зумовлене виключно температурою і оптичними властивостями випромінювального тіла). За променистого теплообміну відбувається подвійне перетворення енергії: спочатку внутрішня енергія тіла перетворюється на променисту енергію, яка передається в середовище, доки на своєму шляху не натрапить на непрозоре тіло, у якому відбувається процес перетворення променистої енергії на внутрішню енергію.

Дослідження теплового стану приміщення в роботі проводилося числовими методами, як розв'язання задачі радіаційно-конвективного теплообміну, для вирішення якої використовувалась модель теплообміну в постановці Thermal Energy [10], що включає сукупність транспортних рівнянь нерозривності, імпульсу, повної енергії. Рівняння нерозривності, імпульсу, повної енергії в операторному вигляді:

– рівняння нерозривності

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla(\rho U) = 0, \tag{1}$$

– рівняння імпульсу

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla(\rho U \otimes U) = -\nabla p + \nabla \tau + S_M, \tag{2}$$

– рівняння повної енергії

$$\frac{\partial(\rho h_{tot})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \nabla(\rho U h_{tot}) = \nabla(\lambda \nabla T) + \nabla(U \tau) + US_M + S_E, \tag{3}$$

де U – вектор швидкості $U_{x,y,z}$, τ – молекулярний тензор напруження (напруження зсуву), h_{tot} – повна ентальпія, $\nabla(U \tau)$ – складова, яка характеризує роботу сил в'язкості, US_M – складова, яка характеризує вплив зовнішніх джерел імпульсу.

Модель переміщення повітря в розрахунковій області описувалась рівняннями Нав'є-Стокса, осеред-

ними за числом Рейнольдса [10]. Відповідно до цієї моделі швидкість U_i розкладається на дві компоненти: компонента осередненої швидкості \bar{U}_i та компонента зміни в часі u_i , а енергетичне рівняння Нав'є-Стокса, що осереднене за числом Рейнольдса набуває вигляду:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho h_{tot})}{\partial t} - \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j h_{tot}) = \\ = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x_j} - \rho u_j h \right) + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[U_i (\tau_{ij} - \rho u_i u_j) \right] + S_E. \end{aligned} \tag{4}$$

При вирішенні задач радіаційно-конвекційного теплообміну модель теплообміну Thermal Energy доповнюється моделлю вихрової дифузії Eddy Diffusivity [10]. Дана розрахункова модель розроблена на основі гіпотези Бусінеска, яка враховує зростання величини гідрравлічного тертя при переході від ламінарного режиму руху середовища до турбулентного. Турбулентна в'язкість визначається з урахуванням турбулентного напруження як:

$$\mu_t = - \frac{\overline{\rho u_i u_j}}{\partial u_i / \partial x_j}, \tag{5}$$

де $u_i u_j$ – осереднений добуток пульсацій швидкостей по координатам; $\rho u_i u_j$ – напруженість Рейнольдса, що характеризує турбулентне перенесення імпульсу в приграничному шарі.

Турбулентна теплопровідність визначається з урахуванням турбулентного теплового потоку як:

$$\lambda_t = - \frac{\overline{\rho c_p u_j T}}{\partial T / \partial x_j}, \tag{6}$$

де $u_j T$ – осереднений добуток пульсацій швидкості та температури; $\rho c_p u_j T$ – параметр, що визначає турбулентне перенесення теплоти.

При розрахунку використовувалась модель гравітації, яка дозволяє врахувати процес вільної (природної) конвекції в замкнутому об'ємі, що обумовлена дією масових (об'ємних) сил.

4. 2. Числове моделювання теплового стану приміщення

Дослідження теплового стану приміщення, що обігривається променистою системою опалення «тепла підлога», проводилися у Сумському державному університеті з використанням програмного комплексу ANSYS CFX університетської ліцензії.

Числовий експеримент був проведений на створеній тривимірній моделі приміщення з габаритними розмірами (10×6×3 м). Для наближення тривимірної моделі приміщення до реальних умов було перебачено наявність вікна (1,6×1,6 м), дверей (2,1×0,9 м), предметів інтер'єру (шафа, диван, стіл, книжкова полиця, тумба). Для спрощення (ідеалізації) моделі не було враховано наявність дрібних деталей та об'єктів інтер'єру.

Розрахунковою областю даної задачі прийнято внутрішній об'єм приміщення, який заповнено повітрям (рис. 1), за виключенням об'ємів предметів інтер'єру. У розрахунковій області спеціально відокремлені три характерні зони, що включають окремо зону вікна, зовнішніх дверей, підлоги). Необхідність відокремлення зазначених зон розрахункової області пов'язано з відмінністю для них граничних умов, порівняно з іншими.

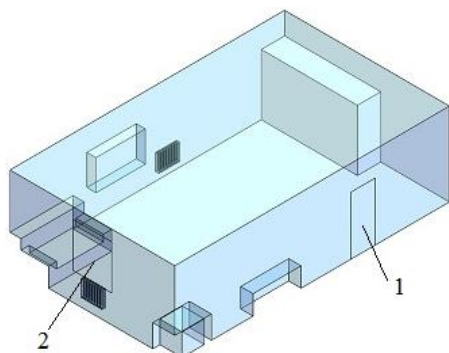


Рис. 1. Розрахункова область задачі: 1 – роз’ємна зона зовнішніх дверей; 2 – роз’ємна зона вікна

Для виконання числового дослідження побудована блочно-структурована гексаедрна розрахункова сітка, яка налічує 1,7 млн. комірок. Застосування обраного виду розрахункової сітки пояснюється необхідністю використання впорядкованої блочної структури для організації оптимального за трудомісткістю алгоритму розрахунку [11].

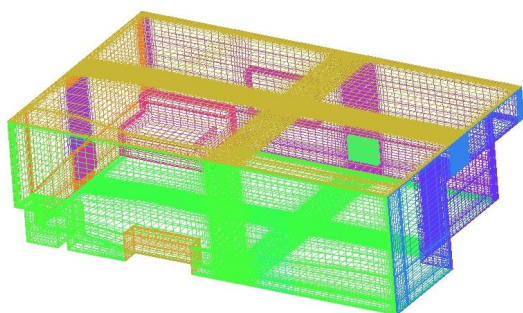


Рис. 2. Розрахункова сітка досліджуваної області

Математичне визначення поставленої задачі передбачає задання умов однозначності (крайові та граничні умови), які складаються з: геометричних умов (визначають розміри і форму розрахункової області); фізичних умов (визначають такі фізичні властивості тіла, як в’язкість, густина, теплопровідність тощо); часових умов (задаються для нестационарних процесів); граничних умов (визначають умови та особливості протікання процесу на межах розрахункової області). Для виконання числового дослідження задавалися граничні умови першого роду, а саме розподіл температур на поверхні твердих стінок розрахункової області. Значення температур стін, стелі та предметів інтер’єру приймалися 18 °С, системи обігріву «тепла підлога» – 30 °С, дверей і вікон – 15 °С. Усі тверді стінки були прийняті шорсткими, середнє арифметичне відхилення профілю (Ra) складало 25 мкм.

5. Аналіз та обговорення результатів числового моделювання теплового стану приміщення з системою обігріву «тепла підлога»

У результаті числового дослідження теплового стану приміщення були отримані основні термодинамічні параметри в розрахунковій області при

виході на стаціонарний режим процесу складної теплопередачі (тобто за досягнення максимальної і стабільної у часі температури повітря). Для оцінки та аналізу термодинамічних процесів, які відбуваються в приміщенні при обігріві системою «тепла підлога», окрім параметрів осереднених по об’єму розрахункової області, в табл. 1 наведені значення основних термодинамічних розрахункових параметрів.

Таблиця 1

Значення основних термодинамічних параметрів розрахункової області

Назва параметру	Розмірність	Значення параметру	
		min	max
Статична ентропія	Дж/(кг К)	65,4	87,3
Інтенсивність випромінювання	Вт/м ³	0	1,01·10 ⁴
Швидкість U (координата X)	м/с	-0,252	0,37
Швидкість V (координата Y)	м/с	-0,333	0,243
Швидкість W (координата Z)	м/с	-0,229	0,288
Турбулентна кінетична енергія	–	4,88·10 ⁻⁵	1,14·10 ⁻²
Швидкість дисипації	–	4,6·10 ⁻⁶	1,16·10 ⁻¹
Турбулентна в’язкість	Па с	1,62·10 ⁻⁵	1,5·10 ⁻²
Статична ентальпія	Дж/кг	1,85·10 ⁴	2,49·10 ⁴
Число Рейнольдса (Re)	–	6635	
Число Прандтля (Pr)	–	7,1316·10 ⁻¹	
Число Грасгофа (Gr)	–	2,1718·10 ¹¹	
Число Релея (Ra)	–	1,5485·10 ¹¹	

Оскільки в розрахунковій області відбувається процес вільної термогравітаційної конвекції, то визначальними параметрами цього процесу є критерії: Pr (критерій Прандтля характеризує теплофізичні властивості повітря в приміщенні), Gr (критерій Грасгофа характеризує відношення підйомної сили, яка виникає внаслідок різниці густин у різних точках розрахункової області (теплого розширення), до сили в’язкостного тертя), Ra (критерій Релея характеризує режим руху повітря під дією градієнта температур). Так наприклад, результати експерименту демонструють, що в розрахунковій області число Релея $Ra = Gr \cdot Pr > 2 \cdot 10^7$, а оскільки при вільній конвекції режим руху повітря характеризується числом Релея, то він турбулентний, що є одним із свідчень адекватності обраної моделі.

На рис. 3 наведений розподіл температур в об’ємі приміщення (стан теплової рівноваги). Температура повітря по об’єму приміщення при опаленні «теплою підлогою» майже не змінюється і при виході на стаціонарний режим є майже сталою у часі з незначними коливаннями в $\pm 3\%$. На рис. 4 наведено візуалізацію швидкості руху повітря в об’ємі приміщення в стаціонарному режимі.

При опаленні приміщення «теплою підлогою» в приміщенні виникає турбулентний рух повітря з утворенням декількох потужних вихорів, які в процесі прогрівання змінюють свої розміри. Прогріте поверхню «теплої підлоги» повітря рухається вздовж підлоги до поверхні стіни, потім піднімається до стелі і рухається до протилежної стіни, далі опускається до підлоги і процес повторюється. Тобто в приміщенні прослідковується круговий рух повітря, утворюються вихори. Слід зазначити те, що швидкість руху повітря

підвищується у пристіночних зонах, а при наближенні до центру приміщення швидкість руху істотно зменшується. При використанні даного типу опалення забезпечується гарне перемішування повітря, що обумовлює швидке прогрівання приміщення та рівномірний розподіл температури за об'ємом.

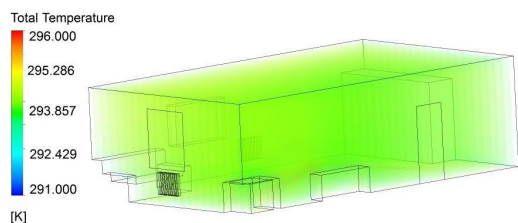


Рис. 3. Розподіл температури за об'ємом приміщення

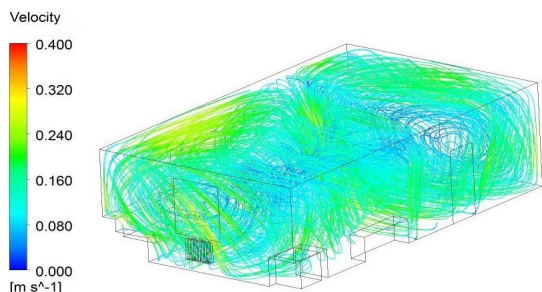


Рис. 4. Розподіл швидкостей руху повітря в об'ємі приміщення

При моделюванні теплового стану приміщення, проведеного у нестационарній постановці задачі, отримані показники основних термодинамічних параметрів в розрахунковій області залежно від часу його нагрівання. Так, встановлено, що осереднена за об'ємом приміщення температура залежить від часу нагрівання приміщення τ (рис. 5) та може бути апроксимована поліномом типу:

$$T^V = C_1^2 + C_2 + T_{\Pi}^V, \tag{7}$$

де T^V – температура повітря в приміщенні, осереднена за об'ємом, в τ -й момент часу, К; C_1, C_2 – константи, що залежать від конструктивних характеристик приміщення та фізичних параметрів його огорожуючих конструкцій; τ – час нагрівання приміщення, с; T_{Π}^V – температура повітря в приміщенні, осереднена за об'ємом, в початковий момент його нагрівання, К.

Для розглядуваної задачі залежність (7) набуває вигляду $T^V = -0,0029\tau^2 + 0,1656\tau + 291,25$ (показник достовірності апроксимації складає $R^2=95,62\%$).

Аналіз рис. 5 показує, що для виходу на стаціонарний режим прогрівання, використовуючи систему опалення «тепла підлога», необхідно від 25 до 35 хвилин часу. Перші 25 хвилин прогрівання характеризуються швидким нагріванням повітря в приміщенні, за наступні 10 хвилин відбувається незначне підвищення температури і температура повітря в приміщенні досягає максимуму. Потім у приміщенні спостерігаються незначні коливання температур в межах ± 3 К. Тому для описання даного процесу достатньо розглянути період прогрівання за перші 30 хвилин.

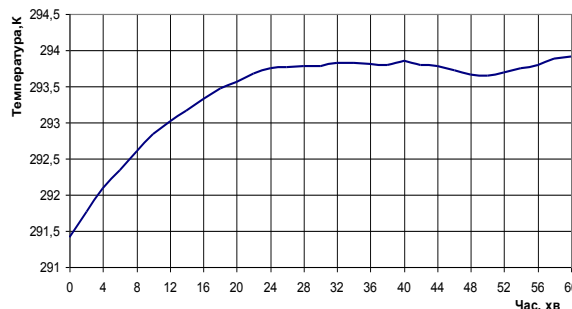


Рис. 5. Прогрівання приміщення у часі

Представлений на рис. 6 розподіл температури за висотою приміщення при прогріванні «теплою підлогою» показує, що за умови завершення прогрівання приміщення та виходу на стаціонарний режим системи опалення, температура за висотою приміщення є майже не змінною, якщо не враховувати пристіночні зони. Умови комфортності у приміщенні ілюструє рис. 6 розподілом температури повітря за висотою та перерізом приміщення. Розроблена числова модель теплового стану приміщення дозволяє також досліджувати вплив розташування технологічного обладнання на параметри теплового стану приміщення, при цьому модель дозволяє одержати результати моделювання аеродинамічних та тепломасообмінних процесів за різних варіантів розташування обладнання з урахуванням його «теплової активності».

На рис. 7 представлений розподіл температури за висотою приміщення у часі при опаленні «теплою підлогою». Наведені результати можуть слугувати вихідними даними для розроблення графіків функціонування системи опалення у «черговому» режимі для визначення параметрів теплового потоку системи опалення та часу його проходження у період розігрівання приміщення до нормальних умов його експлуатації після зниження температури повітря до «чергової».

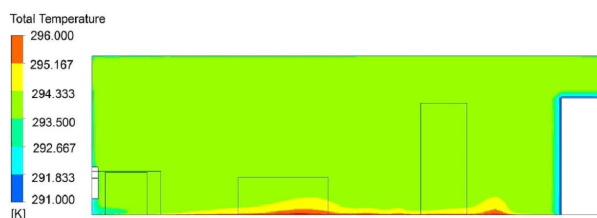


Рис. 6. Розподіл температури по висоті приміщення

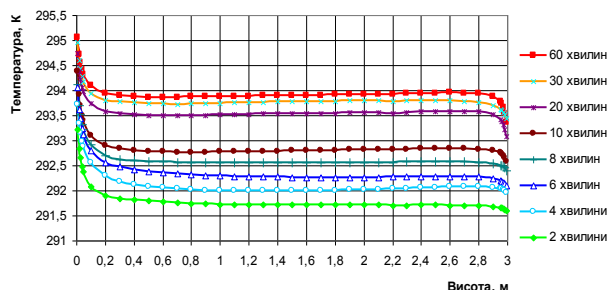


Рис. 7. Розподіл температури по висоті приміщення у часі

Розроблена за допомогою програмного комплексу ANSYS CFX числова модель приміщення дозволяє оцінити параметри його теплового стану на предмет дотримання санітарно-гігієнічних норм і забезпечення комфортних умов життєдіяльності людей, а також обрати серед можливих варіантів проектування системи опалення найбільш енергоефективний. Результати моделювання теплового стану приміщення у нестационарній постановці задачі можуть використовуватися для розробки автоматизованих систем керування опаленням (фасадного опалення, чергового опалення тощо).

6. Висновки

1. Розроблена в програмному комплексі ANSYS CFX числова розрахункова модель теплового стану приміщення з промислою системою обігріву «тепла підлога» дозволяє оцінити параметри його теплового

стану, а саме: отримати розподіл температурних полів, полів швидкостей руху повітря; визначити значення теплових потоків на поверхнях конструкцій; встановити наявність застійних зон та зон вихроутворення в процесі прогрівання приміщення з урахуванням реального розташування технологічного обладнання.

2. Отримані аналітичні залежності зміни термодинамічних параметрів теплового стану приміщення у часі дозволяють проводити оцінку дотримання санітарно-гігієнічних норм. Результати моделювання швидкості прогріву приміщення можуть слугувати вихідними даними для проектування режимів та графіків функціонування «чергового опалення» приміщень.

3. Розроблена числова розрахункова модель теплового стану приміщення з промислою системою обігріву «тепла підлога» дозволяє проводити оцінювання комфортності умов життєдіяльності людей, здійснювати аналіз теплового балансу приміщення, а також розрахунки ефективності застосування різних енергозберігаючих заходів.

Література

1. Статистичний щорічник Сумської області за 2013 рік [Текст] / за ред. Л. І. Олехнович. – Суми : Головне управління статистики у Сумській обл., 2014. – 568 с.
2. Сахаров, И. А. Расчет взаимного влияния тепловых и конструктивных параметров водяного теплого пола [Текст] / И. А. Сахаров, М. И. Низовцев // Ползуновский вестник. – 2013. – № 3/2. – С. 33–37.
3. Hu, R. A review of the application of radiant cooling and heating systems in Mainland China [Text] / R. Hu, J. L. Niu // Energy and Buildings. – 2012. – Vol. 52. – P. 11–19. doi: 10.1016/j.enbuild.2012.05.030
4. Табунщиков, Ю. А. Математическое моделирование и оптимизация тепловой эффективности зданий [Текст] / Ю. А. Табунщиков, М. М. Бродач. – М.: АВОК-ПРЕСС, 2012. – 204 с.
5. Zhang, F. Thermal environments and thermal comfort impacts of Direct Load Control air-conditioning strategies in university lecture theatres [Text] / F. Zhang, R. de Dear // Energy and Buildings. – 2015. – Vol. 86. – P. 233–242. doi: 10.1016/j.enbuild.2014.10.008
6. Baldvinsson, I. A comparative exergy and exergoeconomic analysis of a residential heat supply system paradigm of Japan and local source based district heating system using SPECO (specific exergy cost) method [Text] / I. Baldvinsson, T. Nakata // Energy. – 2014. – Vol. 74. – P. 537–554. doi: 10.1016/j.energy.2014.07.019
7. Дешко, В. І. Розробка нестационарної моделі теплового стану огорожень будівлі [Текст] / В. І. Дешко, М. М. Шовкалюк // Вісник СумДУ. – 2009. – № 4. – С. 218–225.
8. Rohdin, P. Numerical modelling of industrial indoor environments: A comparison between different turbulence models and supply systems supported by field measurements [Text] / P. Rohdin, B. Moshfegh // Building and Environment. – 2011. – Vol. 46, Issue 11. – P. 2365–2374. doi: 10.1016/j.buildenv.2011.05.019
9. Koranteng, C. An investigation into the thermal performance of office buildings in Ghana [Text] / C. Koranteng, A. Mahdavi // Energy and Buildings. – 2011. – Vol. 43, Issues 2-3. – P. 555–563. doi: 10.1016/j.enbuild.2010.10.021
10. ANSYS CFX 11.0 Solver Theory. Release 11.0 [Electronic resource]. – 2008. – 261 p. – Available at: <http://www.ansys.com>
11. ANSYS CFX 11.0 Solver Models. Release 11.0 [Electronic resource]. – 2000. – 549 p. – Available at: <http://www.ansys.com>