

УДК 697.1

В.І. Дешко, д-р техн. наук, проф.; І.Ю. Білоус
Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

МОДЕЛЮВАННЯ РЕЖИМІВ ОПАЛЕННЯ ПРИМІЩЕНЬ

В роботі розглянуто управління режимами опалення будівель за умови прогнозування рівня внутрішньої температури повітря.

Запропоновано регресійну модель для прогнозування середньодобової внутрішньої температури повітря. Середньодобова внутрішня температура повітря в умовах регулювання рівня опалення не є показовою. В роботі розглянуто добові коливання внутрішньої температури повітря та проаналізовано період виходу внутрішньої температури повітря в неробочі години на комфортну температуру повітря в робочі години. Розглянуто різні варіанти переривчастого опалення та визначено економію для різних графіків теплового навантаження. Запропоновано рекомендації щодо підбору переривчастого опалення.

Ключові слова: рівень опалення, переривчасте опалення, регулювання, форсування, комфортні умови, енергоефективність.

Вступ

Проблема економії енергетичних ресурсів на сьогодні стоїть як ніколи гостро. За даними [1] витрата теплової енергії на підтримання функціонування будівель складає біля 2,3 ГДж/рік, тобто більше 25% в енергобалансі України. При цьому витрати на опалення в Україні майже в 2-3 рази вищі в порівнянні з розвиненими державами з різко вираженим континентальним кліматом, де проблема енергозбереження є пріоритетною.

Зниження витрати енергоносіїв на опалення будівель може досягатися різними шляхами. Один з них – це використання сучасних теплоізоляційних матеріалів та технологій на стадіях проектування і експлуатації. Другим напрямком є використання відновлювальних та альтернативних джерел енергії в системах розподіленої генерації. Третій напрямок – масове використання автоматичного керування системами теплопостачання будівель (локальне керування теплоспоживанням). Останній підхід є найбільш ефективним з точки зору забезпечення комфортних умов, з урахуванням добових та сезонних коливань зовнішніх погодних умов [2-4]. Регулювання температури приміщень є найбільш маловитратним, але широко застосування даного напрямку має ряд проблем. Теплові процеси в будівлі є складним динамічним процесом тепломасообміну. Аналіз ефективності управління системою опалення базується на створенні адекватної математичної моделі. В основі регулювання лежить зниження температури повітря в приміщеннях до визначеного рівня в період відсутності людей, потім у визначений момент система опалення вмикається або збільшує теплове навантаження для прогрівання повітря до комфортної температури до моменту приходу людей в приміщення.

Потенціал зниження енергозатрат добре вивчений у стаціонарному режимі, зниження температури повітря в приміщенні на 1°C дозволяє знизити тепловтрати на 2...5%. Значне зменшення споживання теплової енергії може бути досягнуто шляхом зниження внутрішньої температури в період відсутності людей в житлових чи офісних будівлях. Добове використання економічних режимів з обмеженням температури повітря в приміщенні 10°C протягом 5 робочих днів тижня дозволяє зменшити енергозатрати на опалення до 14,7% у порівнянні з постійним режимом комфортної температури [4].

Мета та завдання

Метою роботи є моделювання переривчастого опалення та визначення економії теплової енергії в залежності від особливостей регулювання системи опалення.

Завдання:

- 1) створити нестационарну модель об'єкта;
- 2) побудова лінійної регресійної моделі для визначення температурного стану приміщень;
- 3) отримати та проаналізувати значення температури приміщення в залежності від зниження рівня опалення в неробочі години;
- 4) дослідити введення форсування системи опалення для забезпечення комфортних умов у робочі години;
- 5) визначення рівня енергозбереження при застосуванні регулювання опалення.

Матеріали і результати дослідження

Процес теплоспоживання будівель є складним динамічним розподіленим процесом теплообміну, в умовах впливу великого числа фізичних і конструкційних параметрів, а також зовнішніх кліматичних факторів.

Один з елементів оцінки ефективності використання енергетичних ресурсів є створення математичних моделей на базі програмних продуктів. Імітаційна модель кімнати побудована в програмному середовищі EnergyPlus. Програмний продукт дозволяє аналізувати енергетичні характеристики будівель, визначати їх енергетичну потребу з метою підвищення енергоефективності, а також дозволяє відслідковувати температурні залежності від зміни кліматичних умов та конструкції приміщення та вплив зміни графіка рівня опалення на внутрішню температуру приміщення. [5]

Опис моделі. Для дослідження переривчастого опалення була створена модель кімнати за допомогою EnergyPlus. Розміри кімнати 5,5х6,1 м, висота приміщення 3,2 м. Кімната має одну зовнішню стіну (5,5 м) з вікном (5х2,5 м), орієнтовану на північ. Конструкція будівлі відповідає вимогам забудови 70-х років. Зовнішня масивна стіна з термічним опором 1,2 м²С/Вт (цегляна кладка в дві цеглини). Вікно з подвійним застекленням у дерев'яних спарених плетіннях. Внутрішні стіни малої масивності – цегляна кладка в півцеглини. Перекриття над опалювальними приміщеннями – залізобетонні –20 см.

1) Регресійні моделі для прогнозування середньодобової температури внутрішнього повітря

Внутрішня температура повітря в приміщеннях є залежною величиною від ряду факторів. Вагомими факторами, які найбільш суттєво впливають на комфортні умови в приміщенні є зовнішня температура та рівень теплонадходжень включно з опаленням.

Імітаційного моделювання використана для визначення температури повітря в приміщенні при збуренні кожного з цих двох факторів в обраному діапазоні. На базі імітаційного моделювання розроблялися регресійні моделі для передбачення теплового режиму приміщень.

Погодні умови обирались для лютого місяця типового року за міжнародними даними IWEC (International Weather for Energy Calculations) для міста Києва, за характером зміна температури близькі до середньої температури за опалювальний період [6]. Зовнішня температура змінювали в діапазоні $t_{зв}=[0...-9]$. Зміна добових коливань зовнішньої температури моделювалася в діапазоні $\Delta t_{зв}=[0...3]$. На рис.1а наведено добову зміну зовнішнього повітря, яка була обрана за основу. Сонячну радіацію обрали незмінну протягом всього періоду моделювання. На рис. 1б наведено графік добової активності сонячних надходжень в кімнату. Кратність повітрообміну приймалася рівною 1 год⁻¹.

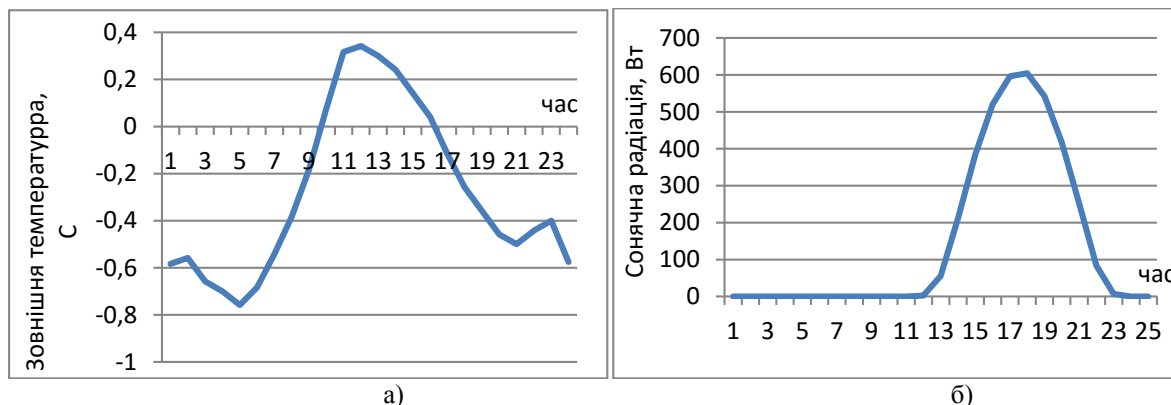


Рисунок – 1 Зовнішня температура (а) та кількість сонячної радіації, яка потрапляє на поверхню вікна

Крім погодних умов задавався рівень опалення, який забезпечував прийнятний рівень температури повітря в приміщенні. Величина внутрішніх середньодобових теплових надходжень, які включають опалення, варіювалася в діапазоні 800...1100 Вт.

Розглядалися варіанти з врахуванням різного числа днів передісторії добової зміни зовнішньої температури та рівня внутрішніх теплонадходжень. При збуренні розглянутих факторів в заданому діапазоні середньодобові значення внутрішньої температури знаходяться в діапазоні 14...19°C.

Масив значень за якими будувалась регресійна модель було нормалізовано відповідно до розглянутого діапазону зміни параметру. Серед лінійних регресійних моделей з достатньою точністю описує фактичні значення внутрішньої температури, отримані на базі імітаційного моделювання, модель, що враховує вплив зміни факторів за попередні два дні.

Регресійна модель має наступний вигляд:

$$t_{вн,i} = -0,3522 + 0,4746t_{зв,i} - 0,0576t_{зв,i-1} + 0,4206t_{зв,i-2} + 0,2696Q_i + 0,0504Q_{i-1} + 0,0619Q_{i-2} \quad (1)$$

$$R_{НОДМ}^2 = 0,987,$$

де i -номер поточного дня.

На рис. 2 наведено порівняння фактичних середньодобових добових даних внутрішньої температури з отриманими на базі прогнозу за регресійною залежністю. Дана модель дає середню похибку біля 3%, максимальна похибка розбіжності значень 5%, в розглянутому діапазоні зміни значень.

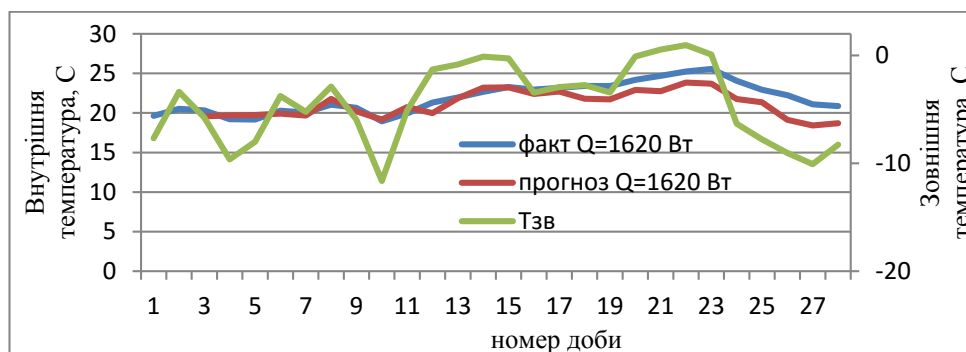


Рисунок 2 – Порівняння результатів фактичних результатів імітаційного моделювання з прогнозними за рівнянням регресії

2) Переривчасте опалення

2.1) Зниження температури в не робочі години

Зниження внутрішньої температури в неробочі години дозволяє знизити енергоспоживання. Використаний вище аналіз по середньодобовим значенням внутрішньої температури нівелює добові зміни внутрішньої температури особливо при використанні переривчастого опалення. За допомогою створеної моделі в EnergyPlus проаналізуємо більш детально поведінку добових коливань внутрішньої температури для різних графіків теплового навантаження.

Для дослідження переривчастого опалення моделювались теплові режими кімнати при різних значеннях рівня опалення у нічні години та розігріву перед початком робочого періоду.

Розглянуто випадок, коли система працює без регулювання, та починаємо вводити переривчасте опалення. Рівень опалення в неробочі години (20:00 – 6:00) понижували. На рис. 3 наведена температура внутрішнього повітря для різних рівнів опалення.

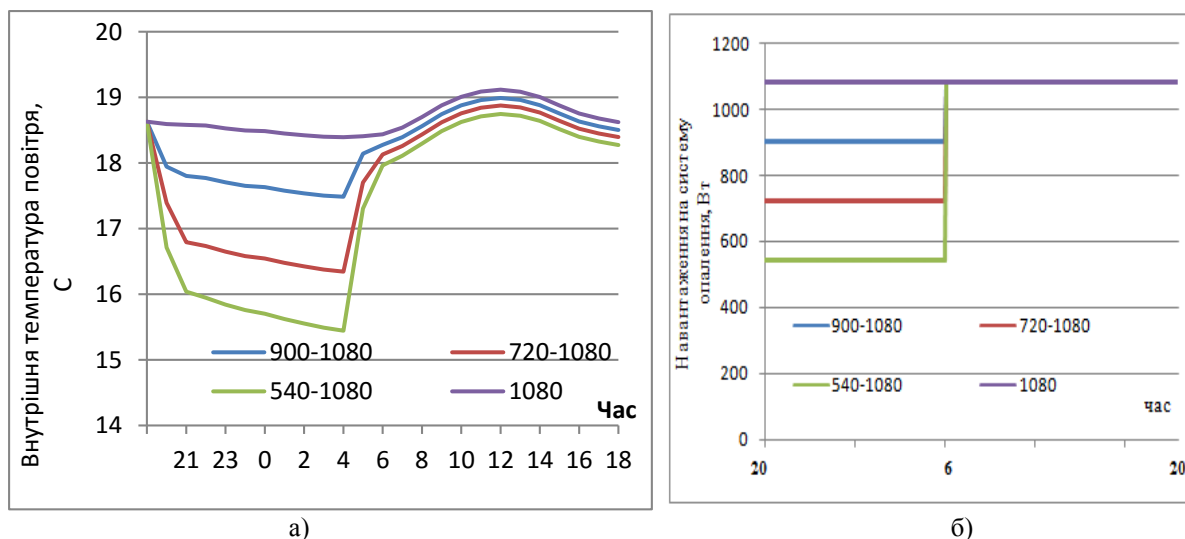


Рисунок 3 – Добова зміна температури внутрішнього повітря на початку регулювання (а) для різних графіків зниження опалення (б)

На рис. 4 наведено залежності внутрішньої температури від різної глибини провалу для точок, де температура стрімко змінює свої значення. Проаналізовано точки: початок підвищення рівня опалення після нічного провалу (6:00); після першої години підвищення рівня опалення, коли температура в приміщенні стрімко змінюється (7:00); коли внутрішня температура в робочі години не суттєво залежить від величини провалу (12:00).

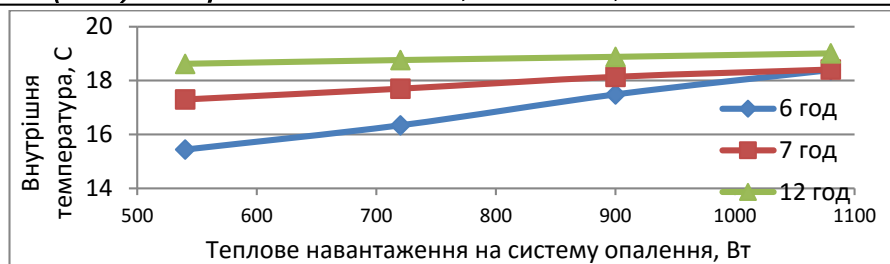


Рисунок 4 – Залежність внутрішньої температури повітря від величини рівня опалення

При потужності системи опалення 1080 Вт (без регулювання) температура в 7:00 та 6:00 співпадає, що пов'язано з відсутністю сонячних теплонадходжень та однаковим рівнем опалення. За відсутності регулювання та додаткових теплонадходжень з 20:00 до 7:00 внутрішня температура майже не змінюється, що видно з рис. 3а. Сонячні теплонадходження змінюють рівень температури в приміщенні о 12:00 на 1°C.

Зі збільшенням глибини провалу в неробочі години, температура внутрішнього повітря в робочі години не встигає догрітися до рівня температури без регулювання. За умови однакової добової зміни внутрішніх та зовнішніх чинників, що впливають на рівень температури в приміщенні, тривале використання графіку зміни переривчастого опалення призведе до просідання графіка зміни та зменшення середнього значення внутрішньої температури повітря.

Для розглянутого типу конструкцій та зовнішніх умов стабілізація графіка зміни внутрішньої температури повітря досягається на 6-8 день, для розглянутого діапазону пониження рівня опалення в неробочі години, при цьому знижується внутрішня температура повітря на 1,5–2 °С.

На рис. 5 наведено зміну середньодобової температури внутрішнього повітря після введення різних рівнів зниження опалення.

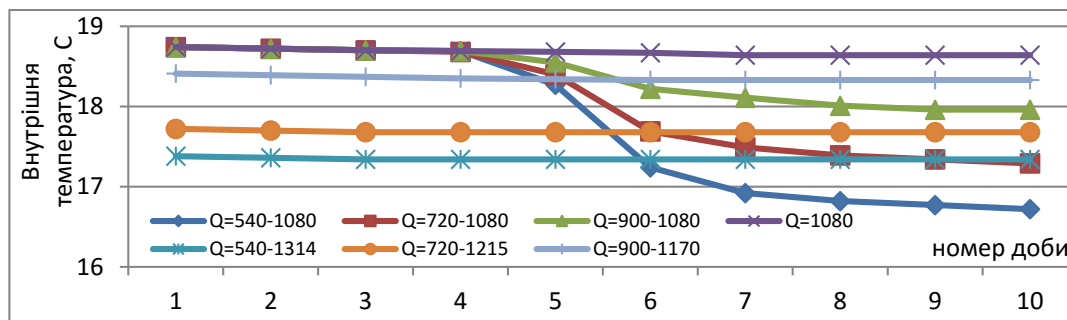


Рисунок 5 – Середньодобова внутрішня температура повітря для різних графіків навантаження на систему опалення

На рис. 6 наведено добові коливання температури для випадків, коли регулювання рівня опалення вводиться разове та при постійному регулюванні для графіка з зниженням рівня опалення в неробочі години до 540 Вт. При постійному регулюванні підбір рівня опалення здійснено відповідно до рівня температури в робочі години для базисного варіанту розрахунку (постійні внутрішні теплонадходження 1080 Вт).

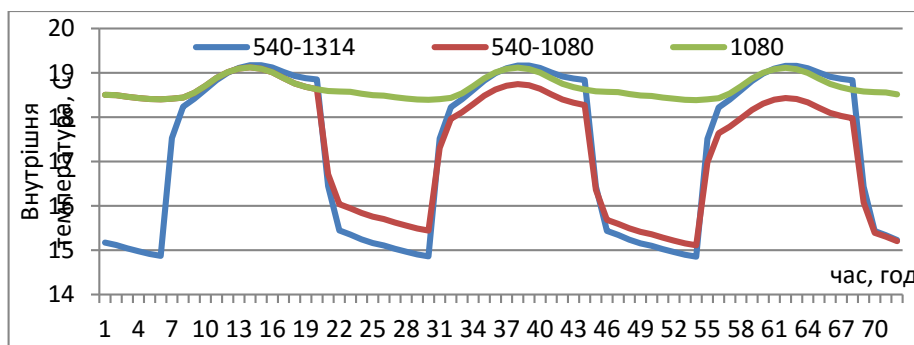


Рисунок 6 – Добові коливання внутрішньої температури повітря

Компенсація зменшення температури в приміщенні в робочі години при постійному використанні переривчастого опалення досягається за рахунок відповідного збільшення базового його рівня. На рис. 7

наведено рівень опалення та внутрішню температуру повітря для різної глибини провалу в неробочій годині, за умови, що в робочій годині температура в приміщенні буде така само як без регулювання, що досягається підбором відповідного збільшення рівня базового опалення, а саме з 1080 до 1314 Вт при опаленні в нічному провалі 540 Вт, до 1224 Вт при 720 та 1179 при 900 Вт.

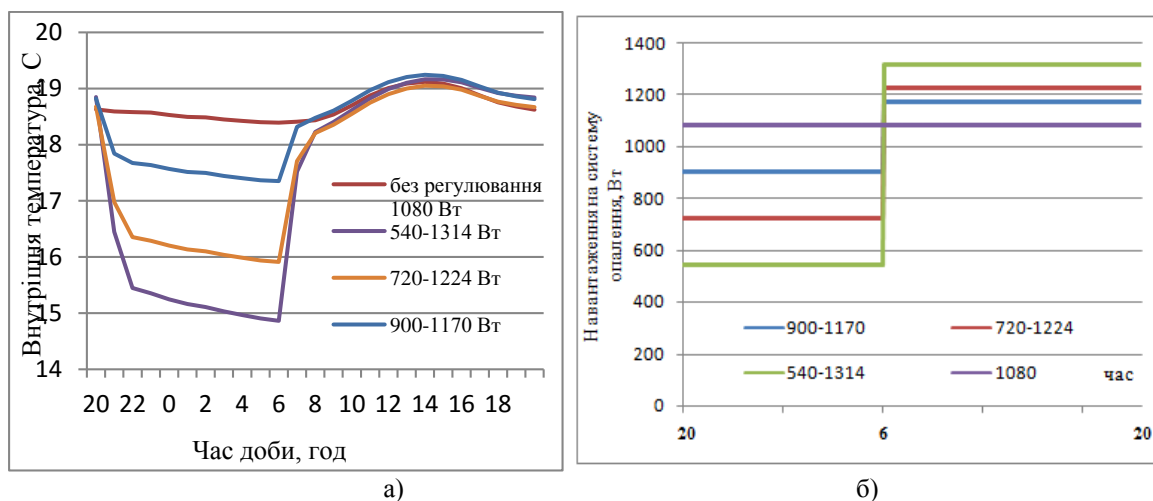


Рисунок 7 – Добова зміна температури внутрішнього повітря (а) для різних графіків опалення (б) з постійним зниженням температури в нічні години

2.2) Введення форсування системи опалення перед початком робочих годин

При прийняттю графіку теплового навантаження в неробочій період комфортний рівень температури в робочій годині досягається з запізненням (див. рис.3). Для забезпечення комфортного рівня температури в робочій годині вводили форсування системи опалення. На рис. 8 наведено внутрішню температуру повітря за наявності форсування системи опалення. Перед поверненням до базового рівня опалення 1080 Вт після нічного провалу досліджувалися різні варіанти короткочасного збільшення потужності рівня опалення до 1800 Вт тривалістю відповідно 1, 2, 3 год.

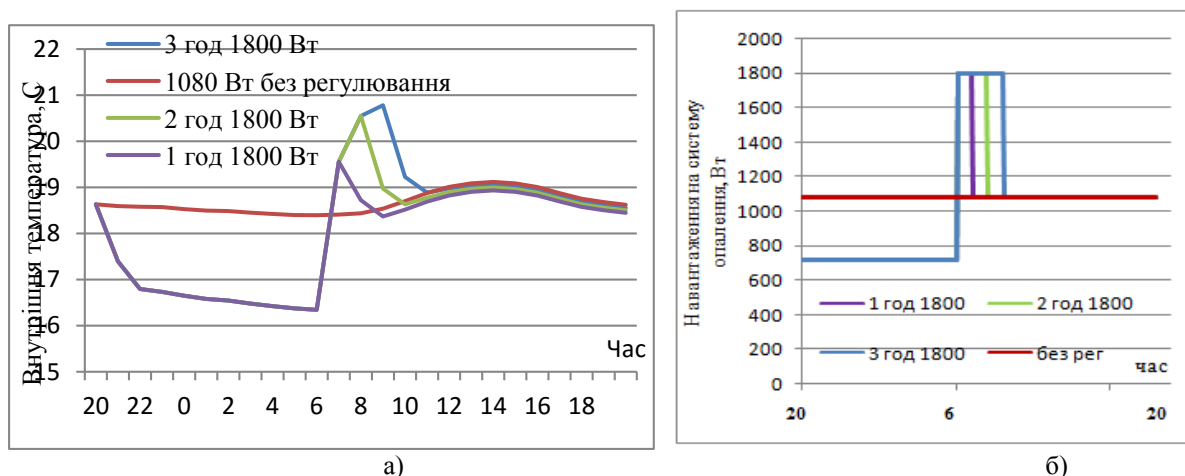


Рисунок 8 – Добова зміна температури внутрішнього повітря (а) для різних графіків опалення (б) з форсуванням системи опалення

З рис. 5.а видно, що внутрішня температура повітря під час форсування системи опалення має явно виражену максимальну та мінімальну температури.

Різниця відхилення температур з введенням регулювання для годин з максимальною внутрішньою температурою незначна. Форсування системи опалення дозволяє швидше вийти на потрібну температуру в робочій годині. Збільшення тривалості періоду форсування дозволяє знизити просідання графіку зміни внутрішньої температури в подальші дні при умові постійного регулювання.

На рис. 9 – розглянуті варіанти для форсування системи опалення тривалістю 3 та 4 год, коли кількість теплоти, підведена за форсування системи опалення, однакова.

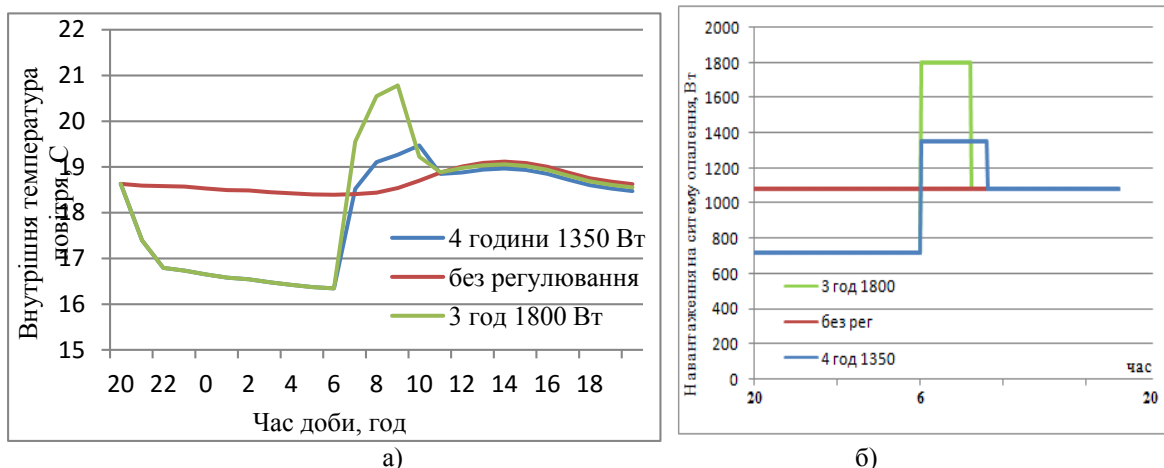


Рисунок 9 – Вплив різних форм форсування системи опалення (б) на внутрішню температуру повітря (а)

В обох випадках при форсуванні системи опалення було спожито 5,4 кВт·год теплової енергії. При розігріванні системи опалення 4 години з потужністю 1350 Вт досягнуто меншого зростання температури внутрішнього повітря під час форсування.

2.3) Визначення економії теплової енергії від регулювання рівня теплонаджоджень

При сталих значеннях зміни внутрішньої температури та переривчастого режиму опалення з параметрами зниження рівня опалення в неробочі години до 540, 720, 900 Вт та однаковими зовнішніми умовами визначено економію теплової енергії визначено відповідно до даних, наведених на рис. 7б.

При зниженні рівня опалення з 20:00 до 6:00 економія теплової енергії становитиме: 2% для графіка 900-1170 Вт; 6% – для 720-1224 Вт; 8,2% – для 540-1314 Вт.

Аналогічні розрахунки економії теплової енергії проведено за наявності форсування та підбору графіків зміни навантаження на систему опалення для стабілізації температури внутрішнього повітря в робочі години (рис. 10).

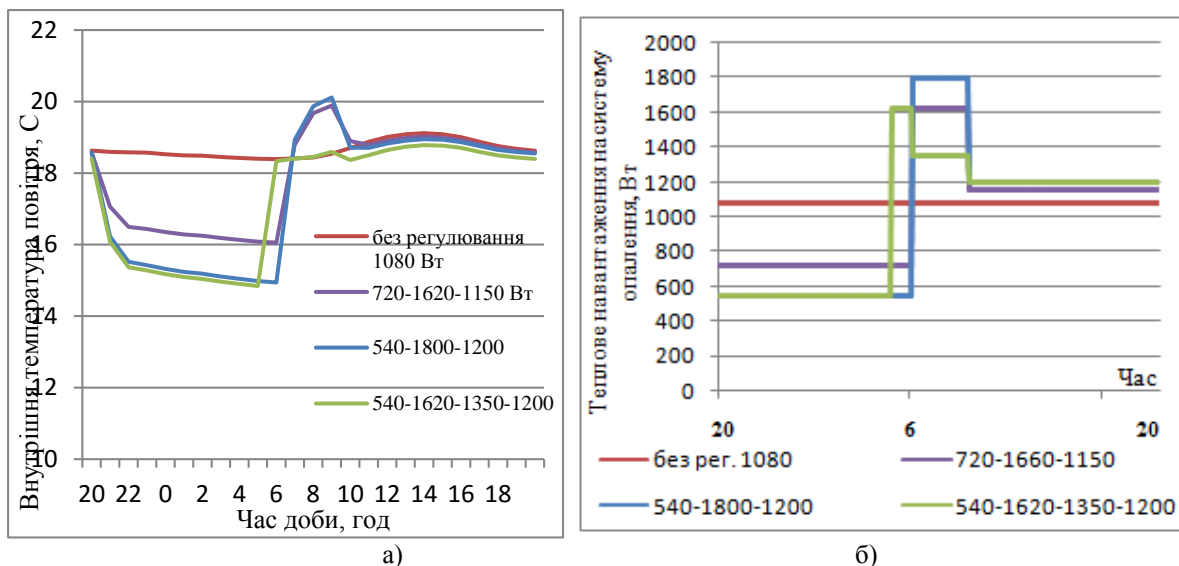


Рисунок 10 – Добова зміна температури внутрішнього повітря (а) для різних графіків опалення (б) з постійним зниженням температури в нічні години та розігрівом системи опалення

Економія теплової енергії від зниження температури в нічні години та форсування системи перед робочими годинами становить: для графіку 4,6% для графіку 720-1620-1150 Вт; 7,2% – для 540-1800-1200 Вт; 8,2% – для 540-1620-1350-1200 Вт.

Висновки

В результаті проведених досліджень за допомогою створеної нестационарної моделі кімнати в програмному середовищі EnergyPlus опрацьовані методи та отримані дані для визначення режимів переривчастого опалення будівель. Враховані особливості конструкції оболонки та зміни погодних умов.

Розроблена регресійна модель для прогнозування внутрішньої температури повітря в приміщеннях в залежності від зовнішньої температури та рівня опалення ($R^2_{\text{норм}} = 0,987$). Кожен з даних факторів враховує передісторію за попередні два дні. Дана модель дозволяє отримувати середньодобові значення внутрішньої температури повітря з середньою похибкою 3%.

Розглянуто різні варіанти переривчастого опалення неробочі годин та визначено економічний ефект від впровадження регулювання системи опалення. За умови постійного регулювання рівня опалення добовий графік зміни внутрішньої температури повітря починає просідати, тому для вирівнювання графіка в робочі години потрібно проводити збільшення рівня базового опалення в порівнянні з базовим рівнем при відсутності регулювання.

Форсування системи опалення дозволяє забезпечити повернення до комфортного рівня температури в робочі години без запізнення та забезпечити менше просідання графіку добової зміни внутрішнього повітря. Потрібно також враховувати, що форсування системи опалення потребує значного запасу потужності системи опалення, тому рівень зниження температури в неробочі години має ряд обмежень.

Використання різних графіків переривчастого опалення розглянутих в роботі дозволяють скоротити споживання теплової енергії на 2-9% для розглянутого типу будівель масової забудови.

Список використаної літератури

1. Маляренко В.А. Анализ критерия энергoeffективности здания и сооружения / В.А. Маляренко, Н.А. Орлова // Интегрированные технологии та энергосбережения, 2004. – №2. – С. 43–48.
2. Дешко В.І. Математичні моделі будівель для оцінки енергоспоживання / В.І. Дешко, І.Ю. Білоус // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник наукових праць. Випуск 80, Київ 2014. С. 68–72.
3. Дешко В.І. Моделирование теплового состояния помещений при измерении режимов параметров отопления / В.І. Дешко, М.М. Шовкалюк, А.В. Ленкин // Промышленная теплотехника. Т.31 - 2009. - №6. - С. 75-80.
4. Круковский П.Г. Возможности и проблемы применения способа экономии энергии путем регулирования температуры помещений / П.Г. Круковский, М.А. Метель, О.Ю. Тадля // Промышленная теплотехника. - 2009. - №7. - С. 24.
5. The official website EnergyPlus Energy Simulation Software [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://app1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>.
6. https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR.

V. Deshko, I. Bilous

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute” MODELING OF HEATING SPACE MODE

We consider management regimes provided heating buildings predict the level of internal temperature.

The proposed regression model for predicting average daily internal temperature. Average internal temperature regulation in terms of heating is not exponential. In this work the daily fluctuations of the internal temperature and analyzed during the release of the internal temperature in the after hours at a comfortable temperature during business hours. Different variants of intermittent heating and savings identified for different schedules heat load. The recommendations on the selection of intermittent heating.

Keywords: level heating, intermittent heating control, forcing, comfortable temperature, energy efficiency.

References

1. Maliarenko V.A., Orlova N.A. (2004) Analyz kryteryia enerhoeffektyvnosti zdaniya y sooruzheniya [Analysis criteria and energy efficiency of the building constructions of]. Intehrovani tekhnolohii ta enerhoberezhennia – Integrated Technology and Energy Conservation, 2, 43–48 [in Ukrainian].
2. Deshko V.I., Bilous I.Yu. (2014) Matematychni modeli budivel dlia otsinky enerhospozhyvannia [Mathematical models for assessing energy buildings]. Budivelni konstruktzii: Mizhvidomchyi naukovotekhnichnyi zbirnyk naukovykh prats – Building construction: Scientific and technical technologies, 80, 68–72 [in Ukrainian].
3. Deshko V.I., Shovkalyuk M.M., Lenkin A.V. (2009) Modelling of the thermal state of the premises in the measurement of parameters of heating modes [Modelling of the thermal state of the premises in the measurement modes of heating options]. Promyshlennaya teplotekhnika. – Industrial Heat Engineering, T.31, 75-80 [in Ukrainian].
4. Krukovskiy P.G. Metel M.A., Tadya O.Yu. (2009) Vozmozhnosti i problemy primeneniya sposoba ekonomii energii putem regulirovaniya temperatury pomeshcheniy [Opportunities and challenges of the method of energy saving by adjusting the room temperature control]. Promyshlennaya teplotekhnika – Industrial Heat Engineering, 7, 24 [in Ukrainian].
5. The official website EnergyPlus Energy Simulation Software. – Website: <https://app1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>.
6. https://energyplus.net/weather-location/europe_wmo_region_6/UKR.

В.И. Дешко, д-р техн. наук, проф.; И.Ю. Белоус
Национальный технический университет Украины
«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского»

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОТОПЛЕНИЯ ПОМИЩЕНИЙ

В работе рассмотрено управление режимами отопления зданий при условии прогнозирования уровня внутренней температуры воздуха.

Предложена регрессионная модель для прогнозирования среднесуточной внутренней температуры воздуха. Среднесуточная внутренняя температура воздуха в условиях регулирования уровня отопления не является показательной. В работе рассмотрены суточные колебания внутренней температуры воздуха и проанализирован период выхода внутренней температуры воздуха в нерабочие часы на комфортную температуру воздуха в рабочие. Рассмотрены различные варианты прерывистого отопления и определена экономия для различных графиков тепловой нагрузки. Предложены рекомендации по подбору прерывистого отопления.

Ключевые слова: уровень отопления, прерывистое отопление, регулирование, форсирование, комфортные условия, энергоэффективность.

Надійшла 07.10.2016

Received 07.10.2016

УДК 677.11: 338.4:006.015.8

Ю.В. Березовський, канд. техн. наук,
Херсонський національний технічний університет

ВПЛИВ НОВИХ ТЕХНІЧНИХ РІШЕНЬ НА ПРОЕКТУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ З ВИКОРИСТАННЯМ ЛЛЯНОЇ СИРОВИНИ

Проведено критичний аналіз рекомендацій відомих вчених та впливових установ світового рівня щодо підвищення рівня екологізації товарного виробництва. У статті опрацьовано результати процесу очищення лляних волокон від неволокнистих домішок. Відтворення процесу очищення здійснювалось для різних параметрів та конфігурацій обладнання. Удосконалення обладнання процесу проминання лляної сировини спрямоване на отримання об'єднаного економічного, енергетичного та екологічного ефектів. На основі проведених досліджень та вивчення наукових джерел доведено можливість і доцільність застосування нововведень для підвищення екологічних, експлуатаційних показників товарів широкого вжитку.

Ключові слова: модернізація, льон, волокно, вузол очищення, екологічність, безпечність.

Вступ. В умовах загострення проблем забруднень, епідемій, пов'язаних з індустріалізацією країни на фоні її енергетичного колапсу, різко постають питання екологізації суспільства, безпеки населення та держави. З погіршенням соціально-економічних та екологічних умов розвитку в суспільстві склалися певні вимоги щодо якості матеріалів та виробів з них, в основу яких лягли їх безпечність, гігієнічність та функціональність. Внаслідок цього спостерігається стійка тенденція зростання споживчого попиту на товари, до складу яких входять екологічно чисті компоненти. Постійний пошук відповідей на питання екологізації призводить до використання сучасних безпечних матеріалів, що можна отримати в результаті застосування нових технологій та обладнання при поєднанні з використовуванням традиційних видів сировини.

Одним із традиційних видів сировини для України є льон – сільськогосподарська культура унікальна за своїми гігієнічними властивостями, історично, технічна культура вирощування для її територіального регіону. На сьогодні гігієнічні властивості льону є неперевершеними, але при цьому вони не є його останніми головними властивостями, оскільки він володіє ще іншими не менш цінними властивостями. Він є цінною