

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ ОПАЛЕННЯ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ З МЕТОЮ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

Д.В. Левчій, М.О. Левчій, Н.В. Медвідь

У роботі розглянуті можливі напрямки енергозбереження на промислових об'єктах. Запропоновано шляхи зниження витрат на опалення за рахунок оптимізації на етапі проектування геометричних параметрів будівлі та ефективного використання опалювальних пристроїв. Наведена математична модель системи опалення промислової будівлі з прикладом розрахунку фінансової ефективності для реального об'єкта.

Ключові слова: енергозбереження, система опалення, тепловитрати будівлі, тепловий насос.

Вступ. Рівень споживання енергії на опалення в Україні є у 5-8 разів вищим за середньоєвропейські норми, а енергоємність ВВП - у 3,2 рази вищою порівняно з розвиненими країнами та у 3,6 рази - порівняно з країнами ЄС [1]. Однією з головних причин високої енергоємності українських промислових підприємств є застаріле та енерговитратне обладнання та опалювальні прилади.

Особливістю харчової промисловості України є порівняно висока конкуренція як на внутрішньому ринку, так і з боку закордонних виробників, тому підвищення ефективності виробництва та зниження рівня витрат на енергоносії – важливі складові підвищення конкурентоспроможності кожного підприємства.

Методи досліджень. Витрати на опалення промислової споруди залежать від ряду факторів, таких як теплотехнічні характеристики огороджуючих конструкцій, щільність будівлі та ступінь інфільтрації, архітектура будівлі, розмір і розміщення вікон, тип системи опалення та ступінь її автоматизації та ін. Зміна будь-якого з цих параметрів може суттєво вплинути на параметри енергоспоживання будівлі.

Одним із напрямків енергозбереження стосовно промислових об'єктів будівництва є оптимізація на етапі проектування геометричних параметрів будівлі. Ця оптимізація може бути реалізована за рахунок сучасних комп'ютерних технологій за допомогою математичного моделювання процесів, що відбуваються, наприклад, під час опалення приміщень. Нами була розроблена математична модель процесу теплових витрат, що відбуваються у промисловій будівлі під час опалення.

Для визначення величини тепловитрат використана методика, що передбачена СНіП 2.04.05-91*У [4]. Так, згідно з цією методикою, тепловитрати, які мають бути скомпенсовані системою опалення, визначаються по формулі: $Q_1 = (Q_a + Q_b)$, де Q_a – тепловий потік через огороджуючі конструкції, Q_b – витрати тепла на підігрів зовнішнього повітря, що надходить завдяки вентиляції та інфільтрації. Тепловий потік через огороджуючі конструкції для кожного конструктивного елемента визначається за формулою: $Q_a = \left(\frac{1}{R}\right) \cdot A \cdot (t_b - t_h) \cdot (1 + \varepsilon b) \cdot n \cdot 10^{-3}$, де A – розрахункова площа конструктивного елемента, м²; R – опір теплопередачі огороджуючих конструкцій, м² *С⁰/Вт; t_b – розрахункова температура всередині приміщень, С⁰; t_h – температура

зовнішнього повітря, C^0 ; n , b – коефіцієнти, що враховують додаткові витрати тепла в залежності від орієнтації стін та сили вітру.

З метою досягнення найбільш точних даних, розрахунок тепловитрат проводився для кожної огорожуючої конструкції через кожні три години, виходячи з даних Київського метеоцентру за 2011 рік. В якості вхідних даних площі огорожуючих конструктивних елементів (стіни, вікна, двері, дах, підлога) вводилися дані з реально існуючого об'єкту (складу зберігання готової продукції підприємства харчової промисловості у передмісті Києва). Перевірка математичної моделі була проведена шляхом співставлення розрахункових та фактичних витрат на опалення. Відхилення результатів були в межах 1.5-3%.

Результати дослідження. Завдяки розробленій математичній моделі, змінюючи у вхідних даних співвідношення геометричних розмірів будівлі, було виконано декілька розрахунків потужності системи опалення та сумарних річних витрат на опалення.

Так, згідно з нормами, у залежності від розташування будівлі, співвідношення розмірів, ширини, довжини та висоти кімнат, характеристик скла та рам, необхідна площа вікон змінюється від 10% до 20% площі приміщень. При площі вікон, що складає 10% площі приміщень, промислове приміщення площею 620 кв.м споживає на опалення 4963 куб.м газу на рік. При збільшенні площі вікон до 20% споживання газу зростає до 7733 куб.м газу на рік (збільшення в 1.56). Враховуючи, що в Україні застосовується тарифна сітка ціни на газ в залежності від об'ємів споживання, то збільшення витрат на опалення складе 3.19 рази (див. рис.1).

На графіку (рис.2) відображена залежність витрат на оплату електроенергії для приводу теплового насоса та витрат на оплату газу в залежності від рівня зовнішньої температури, вище якої вмикається повітряний тепловий насос (площа вікон 20% від площі приміщень). Як видно з графіку, вмикаючи тепловий насос при зовнішній температурі вище $+5\text{ C}^0$ отримуємо суттєве зростання витрат за рахунок як зростання витрат газу, так і за рахунок переходу в іншу цінову категорію вартості газу. Також, з розрахунків слідує, що без використання теплового насоса витрати на опалення складуть 17370 грн., а при використанні теплового насоса, починаючи з зовнішньої температури вище за -10 C^0 витрати на опалення складуть 8727 грн., що в 1.99 разів менше. Окупність капіталовкладень на повітряний тепловий насос в даному випадку складе 9.2 роки.

При зменшенні площі вікон до 10% від площі приміщень економічний ефект використання теплового насоса майже відсутній, що можна пояснити загальним зниженням витрат та переходом на нижчий тариф вартості газу.

Враховання всіх типів витрат є дуже важливим при проектуванні, так як в залежності від таких факторів, як поверховість, площа вікон, співвідношення розмірів, форма будинку, тип кривлі, орієнтація по сторонам світу та ряду інших факторів питома вартість зведення будівлі та її експлуатації може змінюватися в кілька разів. Для врахування більшості з цих факторів існує ряд міжнародних стандартів та програмних продуктів, розроблених для допомоги у проектуванні сучасних будівель. У розвинутих

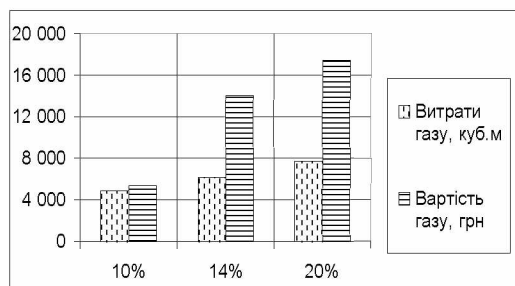


Рис.1. Зміна витрат на енергоресурси в залежності від площі вікон

країнах виконання подібних економічних та екологічних стандартів будівництва суворо контролюється державою.

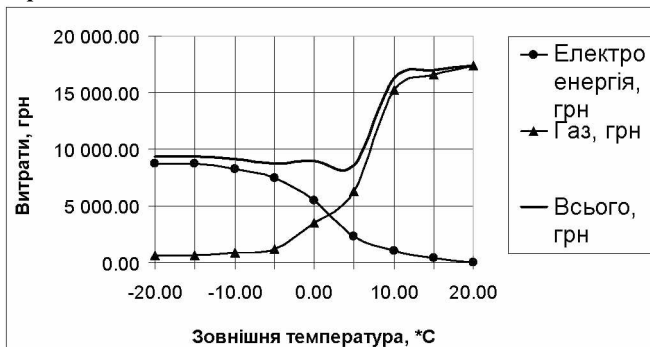


Рис. 2. Залежність витрат на електроенергію та газ від температурного параметру ввімкнення теплового насосу.

Математичне моделювання системи опалення промислової будівлі на базі двох опалювальних пристроїв. Далі розглянемо задачу розрахунку економічної доцільності встановлення альтернативного джерела тепла, в даному випадку теплового насосу, у порівнянні з газовим котлом. Вхідними даними задачі є характеристики будівлі, обох опалювальних пристроїв, а також вартість енергоресурсів і її залежність від обсягів споживання. Залежність між зовнішньою температурою і споживанням тепла можна виразити наступним співвідношенням:

$$P = k(T_0 - T), \quad P \geq 0$$

де P – потреба тепла, T_0 – зовнішня температура при якій вимикається опалення, T – фактична зовнішня температура, k – коефіцієнт, що залежить від розмірів будинку, його теплоізоляції і внутрішньої температури.

Основні характеристики газового котла, як опалювального пристрою, можна задати наступною системою:

$$P_1 = v_1 * 10.7 * A_1, \quad 0 \leq P_1 \leq P_{1max}$$

де P_1 – поточна теплопродуктивність газового котла, P_{1max} – максимальна потужність газового котла, v_1 – об'єм спаленого газу, A_1 – ККД котла.

Опишемо основні параметри теплового насосу:

$$P_2 = v_2 * A_2, \quad A_2 = 1.7 + 0.05(T + 22), \quad T \geq T_{min}, \quad 0 \leq v_2 \leq v_{2max}$$

де P_2 – поточна теплопродуктивність теплового насоса, v_2 – об'єм спожитої за годину електричної енергії, v_{2max} – встановлена електрична потужність компресору теплового насоса, A_2 – ККД теплового насоса, T – фактична зовнішня температура, T_{min} – мінімальна зовнішня температура, при якій може працювати тепловий насос.

Розглянемо фінансову сторону побудови системи, враховуючи вартості побудови системи опалення і вартості енергоресурсів. Вартість побудови та експлуатації газового котла:

$$I_1 = 30000 + P_{1max} * 3000, \quad S_1 = \frac{C_1}{10.7A_1}$$

де I_1 – вартість інсталяції системи опалення, грн. S_1 – вартість вироблення 1 кВт*год тепла, грн. C_1 – вартість 1 м³ газу, грн.

Аналогічно, для теплового насосу:

$$I_2 = 5000 + v_2 * 12000, \quad S_2 = \frac{C_2}{A_2}$$

де I_2 – вартість інсталяції системи опалення на базі теплового насосу, грн. v_2 – електрична потужність компресору теплового насосу, кВт, S_2 – вартість вироблення 1 кВт*год тепла, грн., C_2 – вартість 1 кВт*год електроенергії, грн.

Отже, тепер ми можемо сформулювати задачу оптимізації, яка полягатиме у мінімізації інвестицій на побудову системи опалення та середньої вартості тепла, виробленого обома системами:

$$\left[\begin{array}{l} I_1 + I_2 + S \cdot P_{365} \cdot Y \rightarrow \min \\ P_1 + P_2 \geq P_{\max} \end{array} \right. ,$$

де P_{\max} – максимальна потреба тепла, S – середня вартість тепла, виробленого обома системами, S_{opt} – бажана ціна 1 кВт*год теплової енергії, P_{365} – річне споживання тепла, кВт*рік, Y – розрахунковий період експлуатації системи (у роках).

У даному випадку користувач задає період, близький до строку експлуатації системи чи всієї будівлі (наприклад, 10-20 років), протягом якого має бути забезпечена мінімізація вартості експлуатації системи з урахуванням вартості самої системи.

Для врахування ймовірної зміни ціни на енергоресурси вводимо додаткові змінні C_1' та C_2' , що позначатимуть майбутні вартості енергоносіїв, газу та електроенергії відповідно. У наведеній системі рівнянь врахована середня вартість експлуатації системи для всіх комбінацій C_i та C_i' .

$$\left[\begin{array}{l} I_1 + I_2 + S' \cdot P_{365} \cdot Y \rightarrow \min \\ P_1 + P_2 \geq P_{\max} \\ S' = \frac{S(C_1, C_2) + S(C_1', C_2) + S(C_1, C_2') + S(C_1', C_2')}{4} \end{array} \right.$$

Розглянемо приклад розв'язання такої задачі. Вхідні дані: $k \in [0.6; 151.1]$, $T_0 = 16$,

$$T \in [-30; 40], \quad A_1 = 0.92, \quad A_2 = 1.7 + 0.05(T + 22), \quad I_1 = 30000 + P_{1\max} * 3000,$$

$$I_2 = 5000 + P_{2\max} * 12000, \quad C_1 = 0.3608, \quad C_2 = \begin{bmatrix} 0.7254, & Q = [0; 2500) \\ 1.0980, & Q = [2500; 6000) \\ 2.2482, & Q = [6000; 12000) \\ 2.6856, & Q = [12000; \infty) \end{bmatrix}$$

На основі результатів обчислення бажаної потужності теплового насосу і розрахунок ефективності його використання побудуємо графік (рис.3).

Як видно з розрахунків та графіку, для об'єктів з піковим теплоспоживанням менше 30 кВт, встановлення теплового насосу недоцільне. Це пов'язано з малим річним споживанням газу, а отже і невисокою його ціною. Встановлення теплового насосу малої потужності може бути економічно недоцільним через великі накладні витрати з монтажу обладнання і розподілу виробленого ним тепла по будинку.

Для об'єктів з піковим споживанням 30 кВт і більше використання теплового насосу дає економію від 25% до 36%. Зокрема, встановлення малопотужного (0.9 кВт) теплового насосу для будівлі з піковим теплоспоживанням на опалення 30 кВт (див.

рядок 2 таблиці) має сенс, через перехід на нижчий тариф вартості газу. У цьому випадку, незважаючи на малу потужність теплового насосу та великі накладні витрати, його встановлення є економічно обґрунтованим.

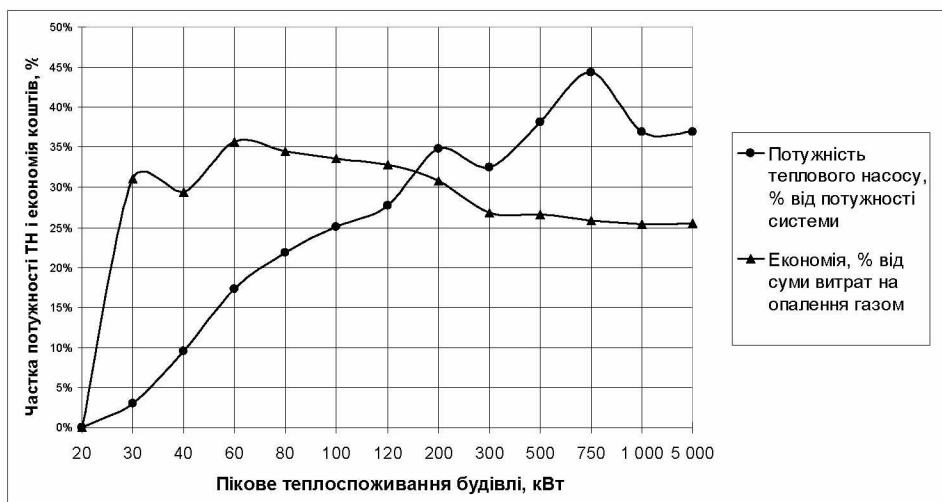


Рис. 3. Залежність частки потужності теплового насосу та економії коштів, від потужності системи опалення будівлі

Висновки. Суттєвого зменшення енергоспоживання у промисловому будівництві, у тому числі на підприємствах харчової промисловості, можна досягти не тільки за рахунок застосування сучасних високоефективних будівельних матеріалів і технологій будівництва, а також за рахунок оптимізації на етапі проектування. Ця оптимізація повинна стосуватися обґрунтованого вибору геометричних характеристик будівлі та правильного застосування комбінації різних джерел тепла. Як показано у матеріалах цієї статті, завдяки цьому можна досягти зменшення витрат на опалення в 2-3 рази.

Література

1. *Енергетична стратегія України до 2030 р.* Розпорядження Кабінету міністрів України від 15.03.2006р. № 145-р
2. *ДБН В.1.2-11:2008 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів.* Основні вимоги до будівель і споруд. Економія енергії.
3. *Про затвердження галузевої програми енергоефективності у будівництві на 2010-2014 р.* Міністерство регіонально розвитку та будівництва, наказ №257 від 30.06.2009
4. *Леончик Б.И., Данилов О.Л.* Научные основы энергосбережения. Учебное пособие. – М.: МГУПП, 2000. – 398 с.

Авторська довідка

Д.В. Левчій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Levchiv@gmail.com,
 М.О. Левчій, інженер-проектувальник ТОВ «ЛПК», Levchiv@list.ru, (098)6766727;
 Н.В. Медвідь, канд. фіз.-мат. наук, доцент Національного університету харчових технологій