

УДК 621.565.93

## ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ХОЛОДИЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ СИСТЕМ КОНДИЦІОНУВАННЯ ПОВІТРЯ ПРИ ПРОВЕДЕННІ ПРОМИСЛОВОГО ЕНЕРГЕТИЧНОГО АУДИТУ

Ляховецька-Токарєва М. М., канд. техн. наук; Юрченко Є. Л., канд. техн. наук, доц.;  
Коваль О. О., канд. техн. наук, с. н. с.  
Державний вищий навчальний заклад  
«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»

**Постановка проблеми.** Станом на 2021 рік промисловість України забезпечує близько 34,1 % загального випуску продукції та послуг (у I півріччі 2020 року – 35,4 % порівняно з 38,1 % у I півріччі 2019 році), 19,9 % валової доданої вартості (19,4 % та 21,9 відповідно) та 14,8 % кількості зайнятого населення (17,8 % та 18 % відповідно).

Більш ніж 30 % загальних енерговитрат припадають саме на промисловий сектор, що є одним з основних споживачів енергоресурсів в Україні. При цьому ефективність використання енергії на виробництві залишається на низькому рівні, так як енергоємність ВВП України перевищує середнє світове значення удвічі, а аналогічне значення для країн-членів ЄС – у 3–4 рази. Щорічні втрати нашої держави через низьку енергоефективність економіки сягають більше мільярда доларів США. Підвищення енергоефективності зменшує загальні витрат підприємств на виробництво продукції, а отже знижує собівартість.

Разом з тим, енергоефективні технології сприяють збільшенню продуктивності виробництва, а також якості виробленої продукції. Все це безпосередньо впливає на конкурентоспроможність підприємств та підвищує експортний потенціал окремих галузей.

Для того, щоб визначити доцільні для впровадження енергоефективні заходи, які б впливали на конкурентоспроможність виробництва, необхідно проводити всебічний аналіз енергоспоживання підприємства. Енергетичний аудит є одним з ефективних інструментів, що дозволяє менеджерам підприємств чітко зрозуміти, яким чином енергія використовується на їхньому виробництві та де саме відбувається перевитрата.

Серед існуючих типів енергетичного аудиту саме енергоаудит промислових підприємств є найскладнішим [1].

Згідно з ISO 50002: Енергетичний аудит (energy audit) – систематизований аналіз використання енергії та споживання енергії у межах, визначених характером та обсягом робіт з енергетичного аудиту, з метою визначення, кількісного вираження та підготовки звіту про можливості підвищення рівня досягнутої/досяжної енергоефективності. Тобто, енергетичний аудит – це оцінка енергетичних характеристик об'єкта аудиту. При цьому аналізуються енергетичні потоки в будівлі, процесі чи системі, щоб зменшити кількість енергії, що надходить у систему, зберігаючи або покращуючи технологічні умови, комфорт, здоров'я та безпеку людини.

При проведенні енергоаудиту підприємств виникає проблема з відсутністю технічної документації на існуюче обладнання. Основним інструментом енергоаудитора є виконання інструментальних замірів та застосування отриманих даних в розрахунках технічних характеристик обладнання. Мета дослідження: Удосконалити математичну модель холодильних машин, яка надасть можливість розрахунковим методом визначити технічні характеристики холодильного устаткування.

**Мета дослідження.** Математична модель холодильної установки дозволяє обчислити технічні характеристики наявних у виробництві холодильних установок, не

володіючи інформацією про конкретну холодильну машину, тому що миттєва холодопродуктивність і відповідна їй приведена потужність є найважливішими характеристиками для користувача цими установками.

**Результати.** Задача побудови моделі для холодильних машин виражається наступними рівняннями [2]:

$$\dot{Q}_K = \dot{Q}_K \left( T_{KE}, \dot{m}_K, T_{WE}, \dot{m}_W, Q_{KA}, \varphi, \text{регулювання}, R_{V,K}, R_{V,W}, KM - \text{Тур} \right) \quad (1)$$

$$P = P \left( T_{KE}, \dot{m}_K, T_{WE}, \dot{m}_W, P_A, \varphi, \text{регулювання}, R_{V,K}, R_{V,W}, KM - \text{Тур} \right) \quad (2)$$

де:  $\dot{Q}_K$  – холодопродуктивність;  $Q_{KA}$  – розрахункові параметри холодопродуктивності;  $P$  – приводна потужність;  $P_A$  – розрахункові параметри приводної потужності;  $KM - \text{Тур}$  – розглянуті типи холодильних машин; "регулювання" – вид регулювання при частковому навантаженні;  $\varphi$  – часткове навантаження, задане за допомогою пристрою регулювання;  $R_{W,K}$  – додатковий тепловий опір і опір теплопередачі при засміченні для конденсатора (W) або для випарника (K);  $T_{KE}$  – температура холодної води на вході;  $\dot{m}_K$  – витрата холодної води в випарнику;  $T_{WE}$  – температура охолоджуючої води на вході;  $\dot{m}_W$  – витрата охолоджуючої води в конденсаторі.

Для отримання зазначених коефіцієнтів певної холодильної машини потрібно технічні дані заводу-виготовлювача при варіації окремих параметрів. Стандартну форму подання, за допомогою якої можливе єдине описання групи холодильних машин одного типу з однаковим регулюванням, доцільно представити за допомогою параметрів, які змінюються в процесі експлуатації щодо модельованого випадку.

Для уніфікованої моделі розрізняються коефіцієнти для водоохолоджувальних агрегатів з поршневіми компресорами, турбокомпресорами і осьовими компресорами.

Функція холодопродуктивності і приводної потужності може бути замінена виразом холодильного коефіцієнта з цих функцій. Будь-яке поєднання двох з цих трьох величин можливо і придатне для опису моделі так само, як і вихідних параметрів.

Математичні моделі доцільно застосовувати в пакетах програм для моделювання установок. З їх допомогою можна поетапно обчислити стаціонарну або динамічну характеристику холодильної машини (з огляду на що акумулюють процеси в водопроводах). Для кожної обчисленої робочої точки задаються потоки води і її температура на вході. Якщо потоки води на теплій і холодній стороні машини лише незначно відрізняються в процесі роботи холодильної машини, то замість температури води на вході і потоку водяний маси може використовуватися тільки температура води на вході, що зменшує число параметрів системи.

Математичний запис (3) і (4) дає формулювання моделі для певного типу холодильних машин:

$$\dot{Q}_K = Q_{K,N} * fkt_1(T_{WA}, T_{KA}) * \varphi * fkt_4(R_{V,W}) * fkt_4(R_{V,K}) \quad (3)$$

$$i \quad \varepsilon_K = \varepsilon_{K,N} * fkt_2(T_{WA}, T_{KA}) * fkt_3(\varphi) * fkt_5(R_{V,W}) * fkt_5(R_{V,K}) \quad (4)$$

де  $\dot{Q}_K$  – холодопродуктивність при будь-яких умовах експлуатації;

$Q_{K,N}$  – холодопродуктивність в номінальних умовах в кВт;

$\varepsilon_K$  – холодильний коефіцієнт при будь-яких умовах експлуатації ( $\varepsilon_K = \dot{Q}_K/P$ );

$\varepsilon_{K,N}$  – холодильний коефіцієнт в номінальних умовах;

$T_{WA}$  – температура охолоджуючої води на виході в °C;

$T_{KA}$  – температура холодної води на виході в °C;

$\varphi$  – часткове навантаження, задане за допомогою регулювання (числові величини від 0 до 1);

$R_{V,W}$  – додатковий тепловий опір і опір теплопередачі при засміченні конденсатора (коефіцієнт засмічення) в  $m^2K/W$ ;

$R_{V,K}$  – додатковий тепловий опір і опір теплопередачі при засміченні випарника (коефіцієнт засмічення) в  $m^2K/W$ ;

$fkt_1$  – стандартна холодопродуктивність для обліку зміни температури;

$fkt_2$  – стандартний холодильний коефіцієнт для обліку зміни температури;

$fkt_3$  – стандартний холодильний коефіцієнт для обліку регульовальної характеристики;

$fkt_4$  – стандартна холодопродуктивність для обліку засмічення конденсатора або випарника (числові величини від 0 до 1);

$fkt_5$  – стандартний холодильний коефіцієнт для обліку засмічення конденсатора або випарника (числові величини від 0 до 1).

Така холодильна машина описується в своїй поведінці за допомогою зовнішніх температур системи і регулювання задається як параметр. Ця модель називається «зовнішньої» моделлю.

Функції  $fkt_1$  і  $fkt_2$  в номінальних умовах мають значення 1,0. Величина має, як правило, значення нижче 1,0, однак при розміщенні декількох поршневих компресорів на водоохолоджувальному агрегаті або ж турбокомпресорів і осьових компресорів можливий також стан часткового навантаження зі значеннями вище 1,0. Величини  $fkt_2$ ,  $fkt_3$ ,  $fkt_4$  і  $fkt_5$  для випарника (замкнута система холодної води) можуть приймати, як правило, значення 1,0.

Залежно від якості води, що охолоджує зберігаються значні відмінності між конденсаторами, так що для величин  $fkt_4$  і  $fkt_5$  тут майже завжди слід брати значення менше 1,0.

Для запису функції «зовнішньої моделі» номінальні умови визначаються спочатку як вихідна точка. Були обрані умови експлуатації, які прийняті при використанні холодильних установок в техніці кондиціонування повітря і які вказані в технічній документації.

#### **Висновки:**

1. Удосконалено математичну модель холодильних машин, яка надасть можливість розрахунковими методами визначити технічні характеристики холодильного устаткування.

2. Розроблена модель може бути застосована енергоаудиторами при проведенні енергоаудитів підприємств.

#### **Список використаних джерел**

1. Шубак П., Борст Д., Саф'янц А., Чернявський А. Консультування підприємств щодо енергоефективності : посіб. з енергоаудиту. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH, Німеччина. 2020. 148 с.

2. Marten F. Brnk. Methoden und Anwendungsmöglichkeiten der numerischen Betriebssimulation von Kälteanlagen in der Raumluftechnik. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 6. № 167. Energietechnik, BDR, Düsseldorf, 1982. Pp. 51–191.

**УДК 699.86**

## **ВДОСКОНАЛЕННЯ ТЕПЛОТЕХНІЧНОГО РОЗРАХУНКУ ДЛЯ ГОРИЩ**

**Маковецький Б. І.**, канд. техн. наук, доц.; **Гільов В. В.**, канд. техн. наук, доц.;  
**Палагіна Л. П.**, ст. виклад., **Саньков П. М.**, канд. техн. наук, доц.;  
**Трошин М. Ю.**, ст. виклад.

*Державний вищий навчальний заклад*

*«Придніпровська державна академія будівництва та архітектури»*

**Постановка проблеми.** З 2014 року в Україні діє програма «Теплий кредит», завдання якої – допомогти українцям придбати енергоефективні товари для благоустрою житла. Планувалося, що українці стануть застосовувати менше ресурсів на опалення, що виведе Україну на новий рівень. Державна програма «Теплий дім» може допомогти тим, хто має на меті утеплити власне житло. В рамках програми українські родини зможуть отримати від держави фінансову допомогу у вигляді відшкодування:

- 35 % – на енергоефективні заходи в приватних будинках;
- від 40 % до 70 % – для ОСББ.

Учасники програми зможуть отримати додаткову компенсацію не тільки з державного, а й із місцевих бюджетів. Завдяки державній підтримці вони будуть отримувати можливість більш ефективно використовувати енергоресурси, і, найголовніше, скоротити витрати на оплату за комунальні послуги.

**Мета дослідження.** В ДБН В.2.6-31:2006 та ДБН В.2.6-22-2001 [1; 2] в розрахунку передбачається застосування великої кількості найменувань для теплоізоляції житлових будинків, а також великий перелік різних конструкцій і видів розмірів матеріалів огорожувальних конструкцій. Реалізація впровадження такого розрахунку в практику важка через велику кількість даних та обчислень. Нами поставлено мету скоротити номенклатуру тепло ізолюючих матеріалів до типових найбільш застосованих (уживаних) рішень, вибравши з них найбільш ефективні і більш бюджетні за вартістю [3]. Було прийнято рішення групувати типові огорожувальні конструкції за основними ознаками: товщина і вид матеріалу. На основі цих типових рішень був розроблений спрощений метод розрахунку за допомогою номограм.

**Результати.** Проаналізувавши конструктивні рішення горищних перекриттів для будинків різних періодів індустріального будівництва, ми дійшли висновку, що можна типізувати і об'єднати безліч видів конструкцій в основну таблицю. Результати наведено в таблиці 1 [3]. Методом комп'ютерного розрахунку отримані номограми в залежності від товщини і матеріалів стіни. За допомогою цих номограм є можливість оперативно, якісно і точно робити теплотехнічні розрахунки при проектуванні горищ.

**Висновки:** На основі методик бібліографічного пошуку, системно-структурного аналізу, виробничих досліджень та відносного аналізу отримано номограми для теплотехнічного розрахунку горищних перекриттів згідно теми дослідження. Результати буде представлено в розширеній публікації на цю тематику.

Використовуючи запропоновані інноваційні номограми, авторами перераховано безліч варіантів теплотехнічного розрахунку. В результаті отримано висновок, що в