

УДК 513.5

С.І. ОСАДЧИЙ, Д.М. ЛУЖКОВ, В.О.ЗУБЕНКО

Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький (Україна)

### ШЛЯХИ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ХОЛОДИЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ З ОДНИМ ТЕРМОРЕГУЛЮВАЛЬНИМ ВЕНТИЛЕМ

*В статті розроблений алгоритм визначення ефективності виробництва та використання холоду у холодильному обладнанні супермаркету. Для оцінки термодинамічної ефективності випарника при пропусканні повітря (як складової загальної ефективності холодильної установки) запропонована методика розрахунку значення холодильного коефіцієнту з врахуванням адитивної суміші детермінованої та випадкової складових зміни температури повітря на вході та виході випарника.*

*Ключові слова: холодильне обладнання, температура повітря, холодильний коефіцієнт.*

С.И. ОСАДЧИЙ, Д.М. ЛУЖКОВ, В.А.ЗУБЕНКО

Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий (Украина)

### ПУТИ ОПТИМИЗАЦИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ХОЛОДИЛЬНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С ОДНИМ ТЕРМОРЕГУЛИРУЮЩИМ ВЕНТИЛЕМ

*В статье разработан алгоритм определения эффективности производства и использования холода в холодильном оборудовании супермаркета. Для оценки термодинамической эффективности испарителя при пропускании воздуха (как составляющей общей эффективности холодильной установки) предложена методика расчета значения холодильного коэффициента с учетом аддитивной смеси детерминированной и случайной составляющих изменения температуры воздуха на входе и выходе испарителя.*

*Ключевые слова: холодильное оборудование, температура воздуха, холодильный коэффициент.*

S.I. OSADCHIJ, D.M. LUSHKOV, V.A. ZUBENKO

Central Ukrainian National Technical University, Kropivnitsky (Ukraine)

### WAYS TO OPTIMIZE THE ENERGY CONSUMPTION OF REFRIGERATING EQUIPMENT WITH ONE THERMOREGULATING VENTYL

*The article describes the algorithm for determining the efficiency of production and use of cold in the refrigeration equipment of a supermarket. To evaluate the thermodynamic efficiency of the evaporator when air is passed (as a component of the overall efficiency of the refrigeration unit), a technique is proposed for calculating the value of the refrigeration coefficient, taking into account the additive mixture of the deterministic and random components of the change in air temperature at the inlet and outlet of the evaporator.*

*Keywords: refrigeration equipment, air temperature, refrigeration coefficient.*

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблема енергозбереження є однією з тих стратегічних задач, розв'язання яких визначає національну безпеку й економічну незалежність України. Відомо [4], що витрата енергії на привід холодильних установок різного технологічного призначення становить до 8 % від усієї електричної енергії, що виробляється в Україні. Тому навіть відносно невелике підвищення енергетичної ефективності холодильних систем може дати істотний по абсолютній величині економічний ефект. Особливо в наш час, коли ціни на енергоносії постійно зростають.

Аналіз показників ефективності виробництва та використання холоду [1,2,3], показав, що всі вони розраховані на використання в умовах, коли параметри теплоносія, холодоагенту, компресору та інших елементів холодильного устаткування є постійними. Однак практичні дослідження холодильних установок показали, що навіть в усталених режимах роботи спостерігаються випадкові коливання зазначених параметрів.

Тому задача визначення впливу коливання різних температур на ефективність виробництва та використання холоду є актуальною.

#### Мета дослідження

Мета дослідження полягає у розробці алгоритму визначення ефективності виробництва та використання холоду у холодильному обладнанні супермаркету.

#### Постановка проблеми

Спостереження за роботою холодильної установки, (рис. 1, рис. 2) розташованих у торговельному приміщенні супермаркету, дозволило визначити, що регулювання температури повітря в холодильних камерах відбувається в умовах дії декількох груп неконтрольованих збурень ( $\psi_1, \psi_2, \psi_3$ ).

Перша група збурень  $\psi_1$  виникає в результаті коливань тиску холодоагенту при проходженні крізь вентиль та викликає коливання сигналу OD навколо заданого положення. Друга група  $\psi_2$  з'являється у камері зберігання продуктів за рахунок коливань температури продукту при зміні його кількості, за рахунок потоків теплого та холодного повітря у приміщенні, а також за рахунок руху людей крізь зону охолодження. Збурення третьої групи позначені  $\psi_3$ . Вони виникають у випарнику під час випарювання та впливають на температуру холодоагенту.

В якості об'єкта дослідження було обрано холодильне обладнання фірми Danfoss [5], загальний вигляд якого наведений на рис. 1, та рис. 2. В якості датчиків контролю за станом холодильної установки, встановлені первинні вимірювачі, які визначають наступні параметри: Pe: температуру кипіння; S2: температуру пари на виході з випарника ( $T_2$ ); S3: температуру повітря на вході у випарник ( $T_3$ ); S4: температуру повітря на виході з випарника ( $T_4$ ); S5: температуру закінчення відтайки ( $T_4$ ); S6: температуру продукту ( $T_6$ ).

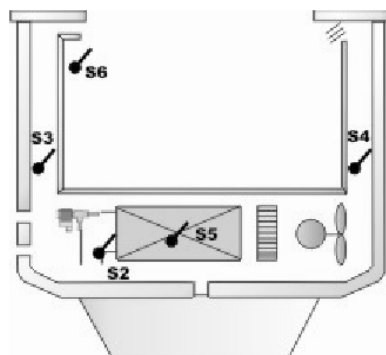


Рис. 1. Загальний вигляд холодильної установки (холодильної вітрини) з датчиками контролю.

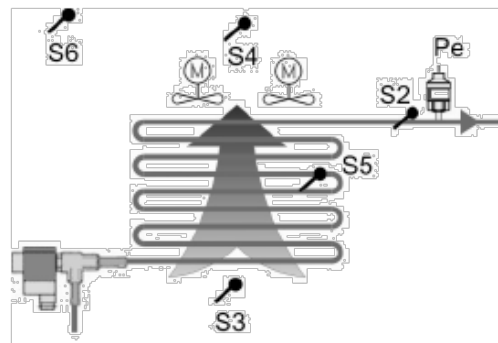


Рис. 2 Структура роботи холодильної установки з датчиками.

Будемо вважати, що завдяки дії зазначених збурень ( $\psi_1, \psi_2, \psi_3$ ) температури повітря на вході до випарника (рис. 3)  $T_3$  та на його виході  $T_4$  можуть бути представлені у вигляді адитивної суми детермінованої та випадкової складових

$$T_4 = T_{40} + T_{4\sim}; \tag{1}$$

$$T_3 = T_{30} + T_{3\sim}; \tag{2}$$

де  $T_{40}, T_{30}$  – математичні сподівання зміни відповідних температур,  $T_{3\sim}, T_{4\sim}$  - стаціонарні центровані випадкові відхилення відповідних температур від їх математичних сподівань. В такому разі задача дослідження полягає у визначенні зв'язку між значенням холодильного коефіцієнту

$$\epsilon_k = \frac{T_4}{T_3 - T_4} \tag{3}$$

та числовими характеристиками випадкових процесів зміни температур  $T_3, T_4$ .

**Рішення проблеми.** Температура повітря в холодильній установці вимірюється одним або двома датчиками температури, які встановлюються в повітряному потоці перед випарником (S3,  $T_3$ ) або після нього (S4,  $T_4$ ).

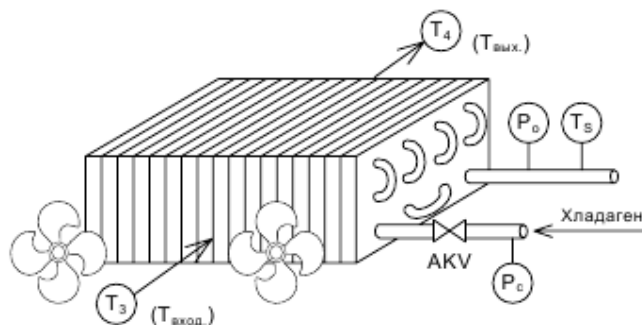


Рис. 3. Функціональна схема випарника

За умовою задачі дослідження холодильний коефіцієнт також має дві складові

$$\epsilon_k = \epsilon_{k0} + \epsilon_{k\sim}, \tag{4}$$

де  $\epsilon_{k0}$  – постійна складова холодильного коефіцієнту;  $\epsilon_{k\sim}$  - змінна складова холодильного коефіцієнту  $\epsilon_k$ , викликана коливаннями температур. В такому разі, визначити зв'язок між складовими

холодильного коефіцієнту (4) та складовими температур повітря (1), що проходять крізь випарник (2), можна скориставшись методом лінеаризації [6].

У відповідності з методом [6] функцію (3) розкладено у ряд Тейлора навколо температур  $T_{40}$  та  $T_{30}$  і отримано наступний результат без урахування величин другого порядку малості

$$\varepsilon_k = \frac{T_{40}}{T_{30} - T_{40}} + \frac{T_{30}}{(T_{30} - T_{40})^2} T_{4\sim} - \frac{T_{40}}{(T_{30} - T_{40})^2} T_{3\sim}. \quad (5)$$

Порівняння виразів (4) та (5) дозволяє визначити, що

$$\varepsilon_{k0} = \frac{T_{40}}{T_{30} - T_{40}}, \quad (6)$$

$$\varepsilon_{k\sim} = \frac{T_{30}}{(T_{30} - T_{40})^2} T_{4\sim} - \frac{T_{40}}{(T_{30} - T_{40})^2} T_{3\sim}. \quad (7)$$

Якщо змінні складові сигналів  $T_{4\sim}$  та  $T_{3\sim}$  є стаціонарними випадковими процесами, то як зазначено у монографії [7] для розрахунку значення холодильного коефіцієнту, яке відповідає дійсності з імовірністю 75%, необхідно виконати наступне правило

$$\varepsilon_k = \sqrt{\varepsilon_{k0}^2 + \langle \varepsilon_{k\sim}^2 \rangle}, \quad (8)$$

де  $\langle * \rangle$  - символ знаходження математичного сподівання.

Зв'язок між дисперсією зміни холодильного коефіцієнту та його спектральною щільністю [10] характеризує наступне співвідношення

$$\langle \varepsilon_{k\sim}^2 \rangle = \frac{1}{j} \int_{-j\infty}^{j\infty} S_{\varepsilon\varepsilon} ds, \quad (9)$$

де  $j$  – комплексна одиниця;  $S_{\varepsilon\varepsilon}$  - спектральна щільність випадкової складової зміни холодильного коефіцієнту;  $s$  – комплексна змінна. Для знаходження спектральної щільності  $S_{\varepsilon\varepsilon}$  доцільно переписати вираз (7) у векторно-матричній формі

$$\varepsilon_{k\sim} = T_{10} T_1, \quad (10)$$

де  $T_{10}$  – матриця чутливості коефіцієнту до зміни температур повітря

$$T_{10} = \begin{bmatrix} \frac{T_{30}}{(T_{30} - T_{40})^2} & \frac{T_{40}}{(T_{30} - T_{40})^2} \end{bmatrix};$$

$T_1$  – вектор зміни температур повітря

$$T_1 = \begin{bmatrix} T_{4\sim} \\ T_{3\sim} \end{bmatrix}$$

та скористатися теоремою Вінера-Хінчина [8]. В результаті отримано наступне рівняння зв'язку між експериментальними даними та спектральною щільністю  $S_{\varepsilon\varepsilon}$

$$S'_{\varepsilon\varepsilon} = T_{10} \begin{bmatrix} S_{44} & S_{34} \\ S_{43} & S_{33} \end{bmatrix} T_{10}' \quad (11)$$

в якому  $S_{44}$  – спектральна щільність зміни температури холодильного середовища;  $S_{33}$  – спектральна щільність середовища, яке охолоджується;  $S_{34}$  взаємна спектральна щільність між температурами, які оцінені в результаті статистичної обробки результатів експерименту.

#### Основні результати та висновки

Таким чином, для оцінки термодинамічної ефективності випарника при пропусканні повітря (як складової загальної ефективності холодильної установки) необхідно розрахувати значення холодильного коефіцієнту  $\varepsilon$ , скориставшись формулою (8), з врахуванням формул (9-11). Отримана залежність (з врахуванням інших складових устаткування) дозволить оцінити економічну доцільність розробляємих автоматизованих систем керування холодильними установками, за умов наявності інформації про числові характеристики випадкових процесів зміни температури повітря на вході то виході випарника.

#### Список використаної літератури

1. Шляхи модернізації систем автоматики холодильного устаткування з одним терморегулювальним вентиляем. С.І. Осадчий, Д.М. Лужков // Збірник наукових праць ХНТУ. Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація. – Кропивницький: ЦНТУ. – 2017. – № 30 – С.15-23.

2. Катраев М.Ю. Повышение эффективности работы холодильной установки. Выбор алгоритма управления терморегулирующим вентилем / Ю.М. Катраев // Холодильная техника – 2011. - №4. – с.4-5
3. Эрлихман В.Н. Разработка принципов повышения эффективности технологических процессов холодильных производств: автореф. дис. ... доктор техн. наук: 05.18.04, 05.18.12 / Эрлихман Владимир Наумович; Калининградский гос. техн. ун-т. – Калининград, 2005. – 49с.
4. Циклы холодильных машин и методы анализа их эффективности: учебное пособие / Г. Н. Злотин, Е. А. Захаров, А. А. Буров, В. А. Ожогин, Е. А. Федянов – ВолгГТУ, Волгоград, 2006. – 50 с.
5. АК-CC550—Контроллер испарителя. Руководство пользователя. – Danfoos – RS.8E.N1.50. – 44 с.
6. Блохин Л.Н., Житецкий Л.С. Нелинейные оптимальные системы стохастической стабилизации // Кибернетика и вычислительная техника. – 2003. – Вып. 139.-С.12-23.
7. Блохин Л.Н., Осадчий С.И., Дидык А.К., Рудюк Г.И. Технологии конструирования современных конкурентоспособных комплексов управления стохастическим движением объектов.- Кировоград:издатель – Лисенко В.Ф., 2015 – 284 с.
8. Блохін Л.М., Буриченко Н.Ю. Статистична динаміка систем управління. Підручник для ВНЗ. – К.:НАУ. -2003. -208 с.