

20. Правила тяговых расчетов для поездной работы [Текст] – М.: Транспорт, 1985. – 287 с.: ил., табл.
21. Сиченко, В. Г. Моделивання електротягового навантаження у задачах електромагнітної сумісності електрифікованих залізниць постійного струму. [Текст] / В.Г. Сиченко, Є.М. Гайсьонок //Технічна електродинаміка, Темат. вип. Силова електроніка та енергоефективність – 2010. – Ч. 2– с. 185-188.
22. Математическое моделирование динамики электровозов. / [Текст] под ред. Никитенко А.Г. М. – М.: Высшая школа. 1998.- 274 с.
23. Мельников, Н. А. Матричный метод анализа электрических цепей [Текст] / Н. А. Мельников. – М. – Л.: Энергия, 1966. – 216 с.
24. Босий, Д. О. Імітаційне моделювання системи тягового електропостачання для дослідження показників якості електричної енергії на тягових підстанціях змінного струму [Текст] / Д. О. Босий. //Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту залізнич. трансп –2008. – Вип. 24– С. 49-54.
25. Уильямс, Т. ЭМС для разработчиков продукции [Текст] / Т. Уильямс – М.: Издательский дом Технологии, 2003. – 540 с.

*Запропоновано комплексне управління теплонасосним енергопостачанням на основі інформації як міри відтворення співвідношення виробництва та споживання енергії в єдиному інформаційному просторі*

*Ключові слова: синергетичний принцип, експертна система, управління на рівні прийняття рішень*

*Предложено комплексное управление теплонасосным энергообеспечением на основе информации как меры отражения соотношения производства и потребления энергии в едином информационном пространстве*

*Ключевые слова: синергетический принцип, экспертная система, управление на уровне принятия решений*

*Complex control provision by energy with heat pump on base of information as measure of the reflection of production and consumptions of the energy in correlation in united information*

*Keywords: synergetic principle, expert system, control on decision-making level*

УДК 621.182.2.001.57

# КОМПЛЕКСНА СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕПЛОНАСОСНОГО ЕНЕРГОПОСТАЧАННЯ

**Є.Є. Чайковська**

Кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент\*

Контактний тел.: (048) 758-47-67

E-mail: eechaikovskaya@list.ru

**В.В. Стефанюк**

Аспірант\*

Контактний тел.: 097-659-30-65

E-mail: vadimstefanyuk@gmail.com

\*Кафедра теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики

Одеський національний політехнічний університет пр. Шевченка, 1, м. Одеса, Україна, 65044

## 1. Вступ

В результаті інтегрованого інтелектуального управління теплонасосним енергопостачанням запропоновано узгоджувати рівень споживання теплоти з рівнем продуктивності теплового насоса на основі експертної системи, основою якої є динамічні підсистеми – випарник та конденсатор [1-3].

## 2. Постановка задачі

Комплексна підтримка функціонування теплонасосного енергопостачання потребує додаткової інформації щодо зміни витрати пари холодагента через компресор з ціллю зміни його потужності в умовах не

постійної температури низькопотенційного джерела енергії. Використання сигналу за зміною витрати пари холодагента в традиційних системах управління не можливо у зв'язку із коливальним характером зміни витрати пари.

## 3. Рішення задачі

З цією ціллю запропоновано розширити реалізовану експертну систему за рахунок нової динамічної підсистеми – компресора теплового насоса. Отримано нову передатну функцію за каналом: «витрата пари холодагента – тиск пари холодагента». Передатні функції за каналами: «температура місцевої води – витрата пари холодагента» для конденсатора теплового насоса,

«паровміст холодагента – витрата холодагента» для випарника теплового насоса та «витрата пари холодагента – тиск пари холодагента» для компресора теплового насоса представляють можливість отримати комплексну діагностичну інформацію щодо підтримки функціонування теплонасосного енергопостачання.

**4. Математичне моделювання динамічної підсистеми як основи експертної системи**

Додатково розроблено математичну модель динаміки компресора теплового насоса щодо обраного на основі експертних знань істотного параметра, що діагностується – витрати пари холодагента у якості визначального для підтримки процесу заряду компресора [1].

З урахуванням математичних моделей динаміки випарника та конденсатора теплового насоса [1-3] система диференціальних рівнянь включає рівняння стану як оцінку фізичної моделі, рівняння сплошності, рівняння енергії передавального й сприймаючого середовищ, рівняння теплового балансу стінки. Відмінною рисою такої системи є використання рівняння сплошності щодо істотного параметра, що діагностується, - зміни витрати пари холодагента через компресор. Саме це рівняння містить член, що відбиває вплив, що обурює - зміну тиску пари холодагента. Система диференціальних рівнянь має такий вид:

Рівняння стану:

$$\rho = f(p, t).$$

Рівняння сплошності:

$$\frac{\partial G(z, \tau)}{\partial z} - \chi_p \frac{\partial \Delta p}{\partial \tau} - \chi_t \frac{\partial \Delta t}{\partial \tau} = 0,$$

$$\text{де } \chi_p = -f \frac{\partial p}{\partial V}; \chi_t = -f \frac{\partial p}{\partial t}.$$

Рівняння енергії передавального середовища:

$$L_b \frac{\partial \Delta t(z, \tau)}{\partial z} + T_b \frac{\partial \Delta t}{\partial \tau} + T_b K_p \frac{\partial \Delta p}{\partial \tau} - K_b \Delta G_b = \Delta \theta - \Delta t,$$

$$\text{де } L_b = \frac{G_b C_b}{\alpha_{b0} h_{b0}}; T_b = \frac{g_b C_b}{\alpha_{b0} h_{b0}};$$

$$K_p = \frac{\partial i}{\partial p} / \frac{\partial i}{\partial t}; K_b = \frac{n(\theta_0 - \sigma_0)}{G_{b0}},$$

Рівняння енергії сприймаючого середовища:

$$\Delta \sigma(L_3 + 1) - L_3 \Delta \sigma^1 + K_3 \Delta G_3 = \Delta \theta,$$

$$\text{де } L_3 = \frac{G_3 C_3}{\alpha_{30} h_{30}}; K_3 = \frac{m(\theta_0 - \sigma_0)}{G_{30}}.$$

Рівняння теплового балансу стінки:

$$T_m \frac{\partial \theta}{\partial \tau} = K_3 \Delta G_3 + \varepsilon \Delta \sigma - \Delta \theta(1 + \varepsilon) + \Delta t - K_b \Delta G_b,$$

$$\text{де } T_m = \frac{g_m C_m}{\alpha_{b0} h_{b0}}; \varepsilon = \frac{\alpha_{30} h_{30}}{\alpha_{b0} h_{b0}},$$

де  $p$  - тиск робочого тіла, МПа;  $\rho$  - щільність робочого тіла, кг/м<sup>3</sup>;  $i$  - ентальпія робочого тіла, кДж/кг;  $\alpha$  - коефіцієнт тепловіддачі, кВт/м<sup>2</sup>К;  $C$  - питома теплоємність, кДж/кгК;  $G$  - витрата речовини, кг/с;  $V$  - об'єм, м<sup>3</sup>;  $g$  - питома маса речовини, кг/м;  $h$  - питома поверхня, м<sup>2</sup>/м;  $f$  - перетин для проходу робочого тіла, м<sup>2</sup>;  $t, \theta, \sigma$  - температура робочого тіла, розподільної стінки, речовини, що нагрівається, К;  $z$  - координата довжини теплообмінника, м;  $T_b, T_m$  - постійні часу, що характеризують теплову здатність робочого тіла, металу, що акумулюють, с;  $m, n$  - показники залежності коефіцієнта тепловіддачі від витрати;  $\tau$  - час, с. Індeksi: - вихідний стаціонарний режим; 1 - вхід в теплообмінник;  $b$  - внутрішній потік;  $m$  - металева стінка;  $z$  - зовнішній потік.

Основою для здобуття діагностичної інформації як еталонної, так і функціональної є передатна функція за каналом «витрата пари холодагента – тиск пари холодагента», здобута в результаті рішення системи нелінійних диференціальних рівнянь.

$$W_{G-p1} = \frac{\chi_p S}{\gamma} (1 - e^{-i_1 s}),$$

$$\gamma = \frac{(T_b S + 1)\beta - 1}{L_b \beta}.$$

$$\beta = T_m S + \varepsilon^* + 1; \varepsilon^* = \varepsilon(1 - L_3^*); L_3^* = \frac{1}{L_3 + 1};$$

$$\gamma_1 = \frac{(T_b S + 1)\beta - 1}{\beta}; \xi = \frac{z}{L_b},$$

де  $S$  - параметр перетворення Лапласа.

**5. Контроль працездатності теплонасосної систем**

Так, на основі метода графа причинно-наслідкових зв'язків [1] (рис. 1.) додатково розроблена логічна модель управління компресором теплового насоса на рівні прийняття рішень.

При використанні компресора теплового насоса в узгодженні з випарником та конденсатором теплонасосної системи блок контролю впливів СТ<sub>1</sub> здобуває повідомлення щодо зміни початкових умов функціонування компресора, обумовлених появою впливів, що обурюють – зміни тиску.

Ця інформація, що поступає від блоку контролю СТ<sub>1</sub> є причиною здобуття інформації від блоку контролю СТ<sub>2</sub> щодо зміни внутрішнього параметра, що діагностується - похідної  $dp/dV$ . Інформаційне повідомлення з блоку контролю СТ<sub>2</sub> щодо зміни похідної є причиною здобуття інформації від блоку контролю СТ<sub>3</sub> щодо зміни коефіцієнта передатної функції  $\chi_p$ . Інформаційне повідомлення з блоку контролю СТ<sub>3</sub> щодо зміни коефіцієнта передатної функції  $\chi_p$  є причиною здобуття інформації від блоку контролю СТ<sub>4</sub> щодо стану істотного параметра, що діагностується

– витрати пари холодагента. Здобуття інформації від блоку контролю  $CT_5$  щодо зміни динамічних параметрів є наслідком здобуття попередньої інформації. Інформація від блоку контролю  $CT_5$  є причиною для здобуття результуючої інформації від блоку контролю  $CT_c$  щодо відповідного прийняття рішень - зміни рівня потужності компресора теплового насоса.

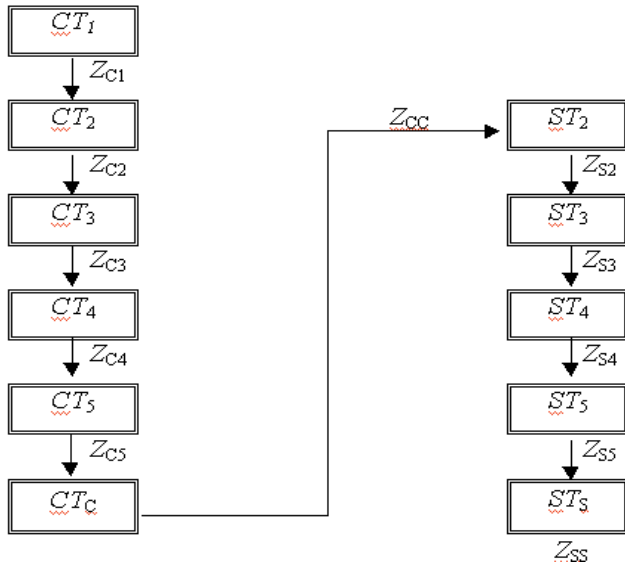


Рис. 1. Граф причинно-наслідкових зв'язків динамічної підсистеми:  $CT$  - контроль події;  $Z$  - логічні відносини;  $ST$  - ідентифікація події. Індекси: 1 - впливи; 2 - внутрішні параметри, що діагностуються; 3- коефіцієнти рівнянь динаміки; 4 – істотні параметри, що діагностуються; 5 – динамічні параметри;  $c$  - контроль працездатності;  $s$ - стан

Ситуація зміни витрати пари холодагента щодо зміни потужності теплового насоса розпізнається таким чином:

$$ES = ((D(P(\tau)(CT_1(\tau), (x_0(\tau), x_1(\tau)(G(\tau)(0)), x_2(\tau)(p(\tau)(+))))), Z_{c1}(\tau),$$

$$(CT_2(\tau), (f(\tau)(\frac{dp}{dV}(\tau)(-))), Z_{c2}(\tau),$$

$$(CT_3(\tau), (\chi_p(\tau)(+)), Z_{c3}(\tau),$$

$$(CT_4(\tau), (y(\tau)(G(\tau)(-))), Z_{c4}(\tau),$$

$$(CT_5(\tau), (d(\tau)(\Delta G(\tau) / \Delta G_{\text{макс.розр.верх}}(\tau)(-)), Z_{c5}(\tau),$$

$$(CT_c(\tau), (\Delta G(\tau) / \Delta G_{\text{макс.розр.верх}}(\tau) < \Delta G_{\text{розр.}}(\tau) / \Delta G_{\text{макс.розр.верх}}(\tau)),$$

$$(P(\tau)(G(\tau)(-)), Z_{cc}(\tau),$$

де  $ES$  - експертна система;  $D$  - динамічна підсистема;  $P$  - властивості елементів експертної системи;  $Z$  - логічні відносини;  $CT$  - контроль події;  $x$  - впливи;  $f$  - параметри, що діагностуються;  $K$  - коефіцієнти математичного опису;  $y$  - вихідні параметри;  $d$  - динамічні параметри;

$\tau$  – час, с. Індекси: 0, 1, 2 - початковий стан, зовнішній, внутрішній характер впливів; 3 - коефіцієнти рівнянь динаміки; 4 - суттєві параметри, що діагностуються; 5 - динамічні параметри;  $c$  - контроль працездатності; макс. розр. верх. – максимальне розрахункове значення зміни параметра верхнього рівня функціонування; розр.- розрахункове значення зміни параметра.

Процес функціонального діагностування компресора теплового насоса завершує ідентифікація нового рівня функціонування з використанням наступних взаємовідносин знань:

$$(ST_2(\tau)(\frac{dp}{dV}(\tau) = \frac{dp}{dV_{\text{нов.рів.}}}(\tau)), Z_{s2}(\tau),$$

$$(ST_3(\tau)(\chi_p(\tau) = \chi_{\text{рнов.рів.}}(\tau)), Z_{s3}(\tau),$$

$$(ST_4(\tau)(y(\tau)(G(\tau) = G_{\text{нов.рів.}}(\tau)), Z_{s4}(\tau),$$

$$(ST_5(\tau)(d(\tau)(\Delta G(\tau) / \Delta G_{\text{макс.розр.верх}}(\tau) = \Delta G_{\text{нов.рів.}}(\tau) / \Delta G_{\text{макс.розр.верх}}(\tau)), Z_{s5}(\tau),$$

$$(ST_s(\tau)(P(\tau) \text{ новий рівень функціонування})).$$

### 6. Управління зарядом пари холодагента у компресорі теплового насоса на рівні прийняття рішень

Управління зарядом пари холодагента виконують у фіксований інтервал часу при вимірюванні тиску пари холодагента на основі контролю працездатності компресора згідно запропонованій логічній моделі.

Так, здобуття результуючої інформації:

$$(CT_c(\tau), (\Delta G(\tau) / \Delta G_{\text{макс.розр.верх}}(\tau) < \Delta G_{\text{розр.}}(\tau) / \Delta G_{\text{макс.розр.верх}}(\tau)),$$

$$(P(\tau)(w(\tau)(-)), Z_{cc}(\tau),$$

дозволяє приймати рішення щодо підтримки заряду пари холодагента за рахунок переходу на меншу витрату пари через компресор теплового насоса (рис. 2):

$$(P(\tau)(G(\tau)(-)), Z_{cc}(\tau).$$

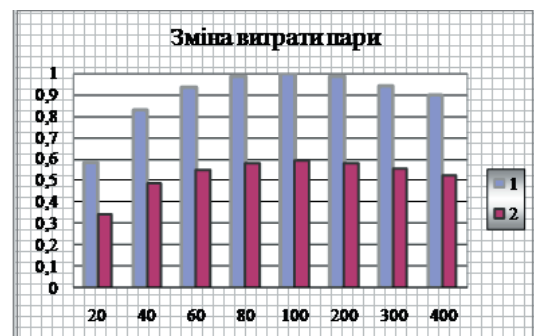


Рис. 2. Підтримка функціонування компресора теплового насоса на рівні прийняття рішень: 1 – гранично припустима працездатність компресора; 2 – діагностування зменшення витрати пари через компресор щодо підтримки заряду

## 7. Висновки

В результаті комплексного інтелектуального управління теплонасосним енергопостачанням можливо:

1. Забезпечувати повне випаровування холодагента щодо надійної роботи компресора теплового насоса [1-3].

2. Узгоджувати рівень споживання теплоти з рівнем продуктивності теплового насоса при використанні теплової ємності місцевої води в повній мірі [1-3].

3. Змінювати рівень потужності компресора теплового насоса щодо економії електроенергії на основі оцінки зміни витрати пари холодагента через компресор.

*В роботі досліджено залежності кута повороту і втрат повного тиску в компресорній решітці від параметрів розрахункової сітки. Проаналізовано переваги і недоліки деяких видів розрахункових сіток*

*Ключові слова: компресор, решітка компресорів, чисельна газодинаміка*

*В работе исследованы зависимости угла поворота потока и потерь полного давления в компрессорной решетке от параметров расчетной сетки. Проанализированы преимущества и недостатки некоторых видов расчетных сеток*

*Ключевые слова: компрессор, решетка компрессоров, численная газодинамика*

*We studied the dependence of the rotation angle of the flow and total pressure losses in the compressor grating parameters of the computational grid. The advantages and disadvantages of certain types of computational grids*

*Key words: compressor, compressor cascade, computer flow gasdynamic*

## Введение

Основная тенденция развития современного компрессоростроения – это разработка малогабаритных, высоконапорных и высокопродуктивных компрессоров.

Развитие расчетной газодинамики и компьютерной техники делает возможным разработку и реализацию методов расчета нестационарных течений жидкости и газа в пространственных областях сложной конфигурации.

## Література

1. Чайковская Е.Е. Поддержание функционирования энергетических систем на основе интеллектуального управления тепломассобменными процессами // Труды 6-го Минского Международного Форума по тепломассобмену.- ИТМО им. А.В.Лыкова НАНБ, 8-05, 2008.- С. 1-10.
2. Стефанюк В.В. Управління теплонасосним теплопостачанням на рівні прийняття рішень // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2009.- №1/3 (37).- С. 32-35.
3. Стефанюк В.В. Інтелектуальна система підтримки функціонування теплонасосного енергопостачання // Восточно-Европейский журнал передовых технологий, 2010.- №3/10 (45).- С. 33-35.

УДК 621.45.037:004.942(043.2)

# ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ РАСЧЕТНОЙ СЕТКИ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПРЕССОРНЫХ РЕШЕТОК

**Ф.И. Кирчу**

Кандидат технических наук, доцент  
Кафедра авиационных двигателей  
Национальный авиационный университет  
пр. Комарова 1, г. Киев, Украина, 03680  
Контактный тел.: 066-402-30-33  
E-mail: fkirchu@gmail.com

Известно несколько методов получения характеристик компрессорных решеток – экспериментальные и численные.

Численные методы [1] позволяют исследовать течение на всех возможных режимах работы решеток, а также стоимость применения численных методов сравнительно невысокая, т.к. стоимость программного обеспечения и вычислительной техники постоянно снижается.

Численный метод условно можно разделить на следующие этапы: определение объекта исследования,