

УДК 621.182.2.001.57

Є. Є. Чайковська, к. т. н., с. н. с.;

В. В. Стефанюк, асп.;

О. С. Кореннік, студ.

## УПРАВЛІННЯ ТЕПЛОНАСОСНИМ ТЕПЛОПОСТАЧАнням НА ОСНОВІ СИНЕРГЕТИЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

*Запропоновано управління теплонасосним теплопостачанням на основі інформації як міри відтворення співвідношення виробництва та споживання теплоти в єдиному інформаційному просторі з використанням архітектури експертної системи, заснованої на синергетичному принципі.*

### Вступ

Сучасні системи управління теплонасосним теплопостачанням на основі інерційного сигналу за зміною температури місцевої води не завжди здатні вирівнювати невідповідність у виробництві та споживанні теплоти в умовах непостійності теплового навантаження та температури низькопотенційного джерела енергії. Наприклад, запропоновано два рівні підігріву місцевої води — низький — з 15 до 35 °С та високий — з 35 до 55 °С з використанням двох теплових насосів для глибокого охолодження геотермальної води у якості низькопотенційного джерела енергії. Але такі заходи потребують додаткових витрат, у тому числі на електроенергію щодо стиску холодагента [1].

### Постановка задачі

Запропоновано новий інтелектуальний підхід щодо підтримки функціонування теплонасосного теплопостачання на основі синергетичної інформації як міри відтворення співвідношення між виробництвом та споживанням теплоти в єдиному інформаційному просторі [2—4].

### Розв'язання задачі

З цією метою використана архітектура експертної системи, основою якої є динамічна система — конденсатор теплового насоса (її назва в експертній системі — динамічна підсистема). Інші задіяні модулі з відповідним математичним описом: блоки діагностування ситуації, надійності та ефективності (рис. 1).

Математичне обґрунтування архітектури експертної системи [2—4]:

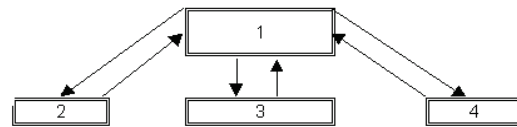


Рис. 1. Архітектура експертної системи:  
1 — динамічна підсистема;  
2 — модуль діагностування ефективності;  
3 — модуль діагностування ситуації;  
4 — модуль надійності

$$ES = \left\{ \left[ D(P(\tau) \langle x_0(\tau), x_1(\tau), x_2(\tau), f(\tau), K(\tau), y(\tau), d(\tau)), Z(\tau) \rangle), R(\tau), P(\tau) \right], \right. \\ \left. R(\tau), (P_i(\tau) \langle x_1(\tau), f_i(\tau), K_i(\tau), y_i(\tau) \rangle) \right\} \quad (1)$$

де  $ES$  — експертна система;  $D$  — динамічна підсистема;  $P$  — властивості елементів експертної системи;  $x$  — впливи;  $f$  — діагностовані параметри;  $K$  — коефіцієнти математичного опису;  $y$  — вихідні параметри;  $d$  — динамічні параметри;  $Z, R$  — логічні відносини в  $D, ES$ ;  $\tau$  — час, с. Індекси:  $i$  — число елементів експертної системи; 0, 1, 2 — початковий стаціонарний режим, зовнішній, внутрішній характер впливів.

Синергетичний принцип архітектури експертної системи та його математичне обґрунтування дозволяє реалізувати взаємовідношення динамічної підсистеми з іншими модулями експертної

системи на основі математичного моделювання їх логічних зв'язків, що змінюються в часі. В результаті такої взаємодії встановлюються нові властивості елементів експертної системи за наявності математичного опису як динамічної підсистеми, так і модулів експертної системи.

Розроблено математичну модель динамічної підсистеми — теплового насоса щодо обраного на основі експертних знань істотного параметра, що діагностується — температури місцевої води у якості визначального для узгодження виробництва та споживання теплоти. Система диференціальних рівнянь включає рівняння стану як оцінку фізичної моделі теплового насоса, рівняння енергії передавального і сприймаючого середовищ, рівняння теплового балансу стінки конденсатора теплового насоса. Рівняння енергії сприймаючого середовища, розроблене щодо істотного параметра, що діагностується, із представленням його зміни не тільки в часі, але й уздовж просторової координати осі теплообмінника, що збігає з напрямком руху потоку середовища. В результаті реалізації системи нелінійних диференціальних рівнянь, отримана передатна функція за каналом: «температура місцевої води — витрата пари холодагента», що дає можливість отримати діагностичну інформацію як еталонно-ідентифікаційну, так і функціональну.

Так, наприклад, здобута еталонно-ідентифікаційна інформація дозволяє встановити межі допустимої працездатності теплонасосної системи при використанні різних холодагентів щодо розширення знань про їх властивості в плані вибору максимальних меж працездатності в умовах управління на рівні прийняття рішень (рис. 2).

На основі метода графа причинно-наслідкових зв'язків [2—4] (рис. 3.) розроблена логічна модель управління тепlopостачанням. Динамічна підсистема як основа експертної системи виконує функції контролю працездатності як основи управління й ідентифікатора стану теплонасосної системи.

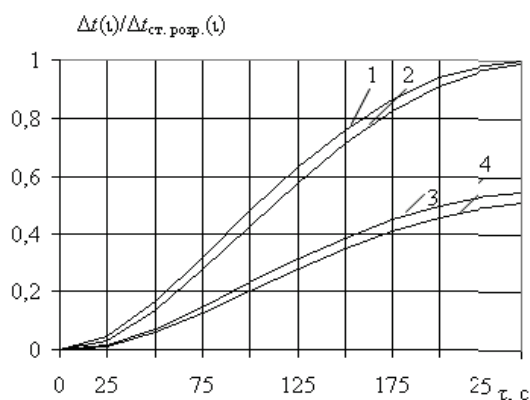


Рис. 2. Допуски на гранично допустиму працездатність теплонасосної системи тепlopостачання: ст.розр. 1 — фреон R22; 2 — фреон R114; 3 — фреон R502; 4 — фреон R12;  $t$  — температура місцевої води стале розрахункове значення параметра;

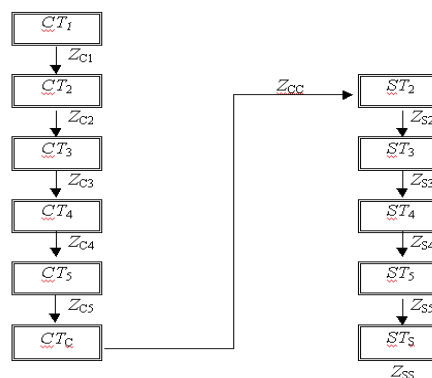


Рис. 3. Граф причинно-наслідкових зв'язків динамічної підсистеми:  $CT$  — контроль події;  $Z$  — логічні відносини;  $ST$  — ідентифікація події. Індекси: 1 — впливи; 2 — внутрішні параметри, що діагностуються; 3 — коефіцієнти рівнянь динаміки; 4 — істотні параметри, що діагностуються; 5 — динамічні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

Виходячи з графа причинно-наслідкових зв'язків блок контролю впливів  $CT_1$  приймає повідомлення щодо зміни початкових умов функціонування теплонасосної системи, обумовлених появою збурювальних впливів. Так, при незмінній витраті теплоносіїв зменшується, наприклад, температура зворотної води і температура низькопотенційного джерела енергії

$$ES = \left( \left( D(P(\tau)(CT_1(\tau), (x_0(\tau), x_1(t)(G_B(\tau)(0), G_s(\tau)(0), t_{звор}(\tau)(-)), t_c(\tau)(-)), x_2(t)(t_{м\text{ вих}}(\tau)(0))) \right), Z_{c1}(\tau), \right) \quad (2)$$

Ця інформація, що надходить від блоку контролю  $CT_1$ , є причиною надходження інформації від блоку контролю  $CT_2$  щодо зміни внутрішнього параметра, що діагностується — температури стінки конденсатора теплового насоса. Інформація, отримана від блоку  $CT_2$  щодо зміни температури стінки є наслідком надходження попередньої інформації, з блоку контролю  $CT_1$ .

$$\left( CT_2(\tau) \left( f(\tau) \left( \theta(\tau)(-) \left( t_{\text{звор}}(\tau)(-), t_{\text{к}}(\tau)(-), t_{\text{м.вих.}}(\tau)(0) \right) \right) \right) \right), Z_{c2}(\tau), \quad (3)$$

Інформаційне повідомлення з блоку контролю  $CT_2$  щодо зміни температури стінки є причиною надходження інформації від блоку контролю  $CT_3$  щодо зміни коефіцієнта передатної функції  $K_3$ , в склад якого входить значення температури стінки, що змінюється. Тобто ця генерована блоком  $CT_3$  інформація є наслідком попереднього інформаційного повідомлення від блоку контролю  $CT_2$ .

$$\left( CT_3(\tau) \left( K(\tau) \left( K_3(\tau)(+) \right) \right) \right), Z_{c3}(\tau), \quad (4)$$

Інформаційне повідомлення з блоку контролю  $CT_3$  щодо зміни коефіцієнта передатної функції  $K_3$  є причиною надходження інформації від блоку контролю  $CT_4$  щодо зміни істотного параметра, що діагностується — температури місцевої води (не змінюється через розряд ємності, що акумулює):

$$\left( CT_4(\tau) \left( y(\tau) \left( t_{\text{м.вих.}}(\tau)(0) \right) \right) \right), Z_{c4}(\tau), \quad (5)$$

Здобуття інформації від блоку контролю  $CT_5$  щодо зміни динамічних параметрів є наслідком надходження попередньої інформації:

$$\left( CT_5(\tau) \left( d(\tau) \left( \Delta t(\tau) / \Delta t_{\text{ст.розр.низ}}(\tau)(-) \right) \right) \right), Z_{c5}(\tau), \quad (6)$$

Інформація від блоку контролю  $CT_5$  є причиною надходження, наприклад, такої підсумкової інформації від блоку контролю  $CT_c$

$$\left( CT_c(\tau) \left( \Delta t(\tau) / \Delta t_{\text{ст. розр.низ.}}(\tau) < \Delta t_{\text{розр. рів.}}(\tau) / \Delta t_{\text{ст. розр. низ.}}(\tau) > 0 \right) \right), \quad (7)$$

що дає можливість, використовуючи розряд ємності місцевої води, що акумулює, низького рівня підігріву приймати рішення на включення секції компресора щодо верхнього рівня підігріву місцевої води без використання додаткового теплового насоса у разі якщо температура місцевої води знаходиться в допуску низького рівня підігріву

$$\left( P(\tau) \left( t_{\text{к}}(\tau)(+) \right) \right), Z_{cc}(\tau). \quad (8)$$

«Співвідношення виробництва та споживання теплоти знаходиться в зоні допустимого значення низького рівня підігріву місцевої води», «Необхідно збільшити рівень підігріву місцевої води» — ця здобута в результаті контролю працездатності теплонасосної системи інформація надходить на інтерфейс експерта для прийняття рішення щодо переходу до верхнього рівня підігріву місцевої води.

Процес функціонального діагностування теплонасосної системи завершує ідентифікація нового рівня її функціонування з використанням ідентифікаційної частини графа причинно-наслідкових зв'язків:

$$\left( ST_2(\tau) \left( f(\tau) \left( \theta(\tau) = \theta_{\text{нов. рів.}}(\tau) \right) \right) \right), Z_{s2}(\tau); \quad (9)$$

$$\left( ST_3(\tau) \left( K_3(\tau) = K_{\text{знов.рів.}}(\tau) \right) \right), Z_{s3}(\tau); \quad (10)$$

$$\left( ST_4(\tau) \left( y(\tau) \left( t_{\text{м.вих.}}(\tau) = t_{\text{м.вих. нов. рів.}}(\tau) \right) \right) \right), Z_{s4}(\tau); \quad (11)$$

$$\left( ST_5(\tau) \left( d(\tau) \left( \Delta t(\tau) / \Delta t_{\text{ст.розр.низ}}(\tau) = \Delta t_{\text{нов. рів.}}(\tau) / \Delta t_{\text{ст розр. низ.}}(\tau) \right) \right) \right), Z_{s5}(\tau); \quad (12)$$

$$\left( ST_{ss}(\tau) \left( P(\tau) \right) \right). \quad (13)$$

«Новий рівень функціонування». Це повідомлення у якості завершувального розширеного діагнозу надходить на вхід модуля діагностування ситуації: «Підтвердіть діагноз». «Діагноз підтверджуємо» — повідомлення, що здобує блоком діагностування ситуації має таке розпізнання (рис. 4):

$$R(\tau) \left( P_d(\tau) \left( x_1(\tau) \left( G_3(\tau) = G_{\text{знов. рив.}}(\tau) \right) \right) \right); \tag{14}$$

$$\left( y_d(\tau) \left( t_{\text{звор}}(\tau) = t_{\text{звор нов. рив.}}(\tau) \right) \right); \tag{15}$$

де  $G$  — витрата речовини, кг/с;  $t$  — температура робочого тіла, К. Індекси: ст. розр. низ. — стале розрахункове значення параметра низького рівня функціонування; рив.- рівень функціонування; нов.— новий рівень функціонування; звор. — зворотна вода; з — зовнішній потік — холодагент; к — конденсат; д — блок діагностування ситуації.

Взаємодія ж динамічної підсистеми та блоку надійності у складі експертної системи щодо узгодження виробництва та споживання теплоти дає можливість здобути таку підсумкову інформацію:

$$\left( CT_c(\tau) \left( \Delta t(\tau) / \Delta t_{\text{ст. розр. низ.}}(\tau) < \Delta t_{\text{розр. рив.}}(\tau) / \Delta t_{\text{ст. розр. низ.}}(\tau) < 0 \right) \right); \tag{16}$$

$$\left( CT_c(\tau) \left( \Delta t(\tau) / \Delta t_{\text{ст. розр. низ.}}(\tau) > \Delta t_{\text{розр. рив.}}(\tau) / \Delta t_{\text{ст. розр. низ.}}(\tau) > 1 \right) \right). \tag{17}$$

Рецепція такої інформації дозволяє приймати рішення щодо зміни режимних умов функціонування теплонасосної системи з метою збільшення чи зменшення відповідно ємності місцевої води, що акумулює, низького рівня функціонування. Прийняття таких рішень дозволяє зберегти допустимі межі працездатності низького рівня функціонування теплопостачання для подальшого підігріву місцевої води також без додаткового теплового насоса.

«Діагноз підтверджуємо» — повідомлення, отримане блоком надійності, надходить на вхід динамічної підсистеми для проведення ідентифікаційних дій щодо нового рівня функціонування і має таке розпізнання: (рис. 5, 6):

$$\left( R(\tau) \left( P_{\text{над}}(\tau) \left( x_1(\tau) \left( G_3(\tau) = G_{\text{знов. рив.}}(\tau) \right) \right) \right) \right); \tag{18}$$

де індекс «над.» — блок надійності.

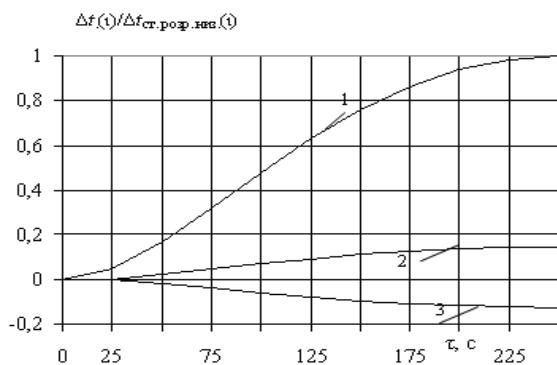


Рис. 5. Зміна режимних умов функціонування теплонасосної системи 1 — гранично допустима працездатність підігріву місцевої води; 3, 2 — прийняття рішення та його ідентифікація щодо збільшення ємності місцевої води, що акумулює

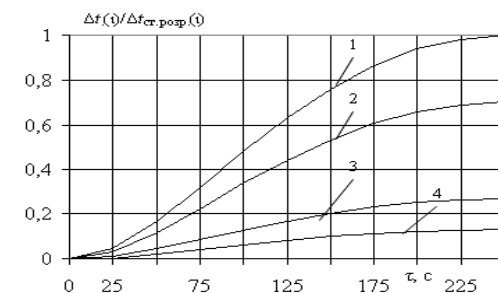


Рис. 4. Узгодження рівня споживання теплоти з рівнем продуктивності теплового насоса: 1 — гранично допустима працездатність підігріву місцевої води; 2, 3 — прийняття рішення та його ідентифікація щодо верхнього рівня підігріву; 4 — розряд низького рівня підігріву

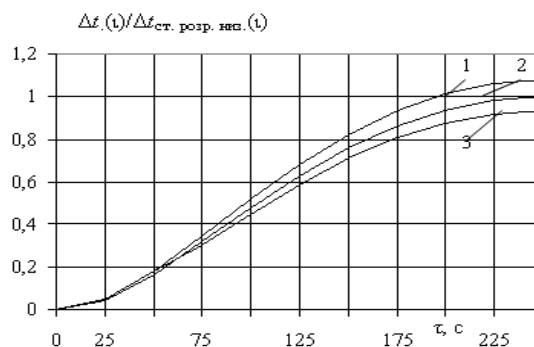


Рис. 6. Зміна режимних умов функціонування теплонасосної системи 1, 3 — прийняття рішення та його ідентифікація щодо зменшення ємності місцевої води, що акумулює; 2 — гранично допустима працездатність підігріву місцевої води

## Висновки

Синергетичне управління теплонасосним теплопостачанням дозволяє приймати рішення щодо встановлення енергоощадних режимів його функціонування при використанні теплової здатності місцевої води, що акумулює, в повній мірі, в тому числі, наприклад, [4] і при розряді ґрунтового акумулятора теплоти щодо низькопотенційного джерела енергії.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Басок Б. И. Перспективные когенерационные теплонасосные схемы геотермальной энергетики / Б. И. Басок, Т. А. Резакова, Д. М. Чалаев // Промышленная теплотехника. — 2006. — № 2, т. 28, — С 36—40.
2. Чайковська Є. Є. Інтелектуальне управління функціонуванням енергетичних систем на основі контролю їх працездатності / Є. Є. Чайковська // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2006. — № 3/2(21). — С. 48—52.
3. Чайковская Е. Е. Управление согласованием производства и потребления теплоты на уровне принятия решений / Е. Е. Чайковская // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. — 2007. — 2/3(26), — С. 16—20.
4. Чайковская Е. Е. Поддержание функционирования энергетических систем на основе интеллектуального управления тепломассобменными процессами / Е. Е. Чайковская // Труды 6-го Минского Международного Форума по теплообмену. — ИТМО им. А. В. Лыкова НАНБ, 8-05, 2008. — С. 1—10.

Рекомендована кафедрою автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки

Надійшла до редакції 21.10.08  
Рекомендована до друку 20.11.08

**Чайковська Євгенія Євстафіївна** — доцент, **Стефанюк Вадим Володимирович** — аспірант, **Кореннік Олександр Сергійович** — студент.

Кафедра теоретичної, загальної та нетрадиційної енергетики Одеського національного політехнічного університету