

**Висновки.** До найдоступніших засобів зменшення показника теплової інерції можна зарахувати зменшення діаметра термоелектродів і збільшення їх довжини, а також регулювання масової витрати газового середовища правильним вибором діаметра і кількості вентиляційних отворів в камері гальмування приймача температури. Крім цього, великі резерви щодо зменшення інерційності є у збільшенні відношення площі поверхні приймача, що омивається потоком, до його маси. Для цього можна сконструювати спеціальні тонкостінні чутливі елементи з порівняно великою площею поверхні, що омивається потоком. Завдяки цьому можна значно зменшити значення показника теплової інерції приймача температури

1. Кондратьев Г.М. *Тепловые измерения* — М., 1957. 2. Гордов А.Н. *Основы пирометрии*. — М., 1971. 3. *Basic Theory of Millisecond Response Thermocouples//Instrument Practice*. — Vol. 24. — № 10. — P. 687—691. 4. *Moffat R.J/ Designing Thermocouples for Response Rate//Trans. of the ASME.* — Vol. 68. — № 2. — P. 257—262. 5. Фединець В. Вплив захисних екранів термоперетворювача на похибку від випромінювання при вимірюванні температури газових потоків / Вісн. Нац. ун-ту "Львівська політехніка". — 2003. — № 476. — С.67—72. 6. Фединець В.О. Вплив конструкції і способу монтажу первинних термоперетворювачів на похибку вимірювання температури енергоносіїв в трубопроводах // *Транспортування, контроль якості та облік енергоносіїв*. — Львів, 1998. — С.242—246.

УДК 621.182.2.001.57

Є. Чайковська

Одеський національний політехнічний університет

## ДОПУСК ЯК СТРУКТУРА

© Чайковська Є., 2004

**Sinergetic concept of the diagnostics of the energy systems is designed. Motivation of the tolerance as information, ranked, space-time structure is presented.**

Проблема діагностики енергетичних систем прямо зв'язана зі специфічними умовами їхньої експлуатації. відомі методи діагностування: як статичний, так і функціональний з використанням детермінованого, статистичного, імовірного та інших підходів не враховують відкритості енергетичних систем, що обмінюються з довкіллям речовиною, енергією й інформацією, а також когерентності поведінки між компонентами систем, що вносить істотну невірогідність в оцінку стану систем без обліку їхньої динамічної активності [2—4].

Розроблена синергетична концепція діагностики енергетичних систем відображена у запропонованій автором архітектурі експертних систем, основою яких є динамічна система, що відображає через характер реакцій на збурювання особливості функціонування енергетичних систем (її назва в експертній системі — динамічна підсистема). Іншими модулями, що входять до складу експертної системи, можуть бути блоки діагностування ситуації, ефективності, надійності тощо з відповідним математичним описанням і подальшим їх нарощуванням [3, 4].

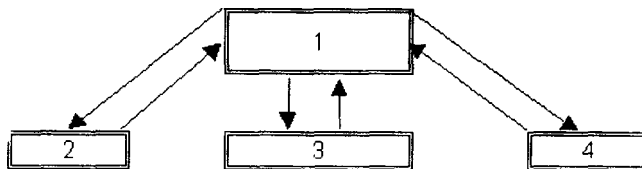


Рис. 1. Архітектура побудови експертних систем:

1 — динамічна підсистема; 2 — модуль діагностування ефективності; 3 — модуль діагностування ситуації; 4 — модуль надійності (діагностування структурних параметрів)

Математичне обґрунтування запропонованої архітектури експертної системи має вигляд:

$$ES = ((D(P(\tau)(X_0(\tau), X_1(\tau), X_2(\tau), Z(\tau), K(\tau), Y(\tau), d(\tau)), R(\tau), P(\tau))), R(\tau), (P_i(\tau)(X_1(\tau), Z_i(\tau), K_i(\tau), Y_i(\tau))), \quad (1)$$

де  $ES$  — експертна система;  $D$  — динамічна підсистема;  $P$  — властивості елементів експертної системи;  $R$  — логічні відносини;  $X$  — впливи;  $Z$  — параметри, що діагностуються;  $K$  — коефіцієнти математичного опису;  $Y$  — вихідні параметри;  $d$  — динамічні параметри;  $t$  — час; індекси: 0, 1, 2 — вихідний стаціонарний режим, зовнішній, внутрішній характер впливів;  $i$  — кількість елементів експертної системи [3, 4].

Згідно з синергетичною концепцією виконання динамічною підсистемою функцій контролю працездатності та ідентифікатора стану енергетичної системи запропоновано реалізувати на основі розробленого автором графа причинно-наслідкових зв'язків [3].

Явище самоорганізації тут — реалізація взаємин динамічної підсистеми з іншими модулями експертної системи на основі математичного моделювання їхніх логічних зв'язків, що змінюються в часі. У результаті такої взаємодії встановлюються нові властивості модулів експертної системи, що характеризують відтворення її організації, тобто самоорганізацію. Діагностика нових властивостей окремих модулів (розрахунок ефективності, оцінка ситуації у нових умовах функціонування системи тощо) виробляється на основі результатів внутрішніх процесів самоорганізації, що відбуваються в самій динамічній підсистемі, де через контроль динамічних властивостей і оцінку працездатності енергетичної системи із застосуванням розробленого графа причинно-наслідкових зв'язків динамічної підсистеми як основи експертної системи, запропоновано ідентифікувати її властивості. Вони є основою для взаємодії з іншими елементами експертної системи. Гові-домлення, що підтверджують ці властивості, одержувані динамічною системою від інших модулів експертної системи (якщо вони діагностуються), можуть бути використані для вироблення остаточного рішення та подальших оперативних операцій [3, 4].

Запропоновано обґрунтування математичного моделювання динамічної підсистеми щодо вибраного на основі експертних знань істотного параметра, що діагностується, — параметра порядку з використанням опису динамічних процесів, які проходять в енергетичній системі, за допомогою рівнянь нерівновагої термодинаміки. Відмінною рисою діагностичних моделей є рівняння енергії, розроблені щодо істотних параметрів, що діагностуються, із поданням їхньої зміни не тільки в часі, але й уздовж просторової координати осі теплообмінника, що збігається з напрямком руху потоку середовища. Саме вони містять члени, що відбивають широкий спектр впливів, що збурюють, надходячи до функціонуючої енергетичної системи з боку довкілля. Передатні функції, отримані в результаті розв'язання системи нелінійних диференціальних рівнянь, утримуючи коефіцієнти, що відтворюють зв'язок енергетичної системи із зовнішнім середовищем, дають змогу отримати діагностичну інформацію — як еталонну (припустиму), так і функціональну [3, 4].

На основі контролю працездатності енергетичних систем із застосуванням графа причинно-наслідкових зв'язків динамічної підсистеми як основи експертної системи, використовуючи синергетичний принцип когерентності як термодинамічних, так і інформаційних процесів запропоновано керувати роботою енергетичних систем на основі інформації. Вона визначена вибором із двох рівноймовірних альтернатив (у допуску, не в допуску) про неприпустиму зміну параметра порядку — істотного параметра, що діагностується [3, 4].

Швидкість зростання ентропії як процес, що відповідає переносу речовини й енергії [1]:

$$\frac{d_i S}{dt} = I_\tau X_\tau + I_b X_b > 0 \quad (2)$$

де  $d_i S$  — зміна виробництва ентропії усередині системи;  $i_\tau$  — потік енергії;  $i_b$  — потік речовини;  $x_\tau$  — термодинамічна сила, що викликає потік  $i_\tau$ ;  $x_b$  — термодинамічна сила, що викликає потік  $i_b$ .

Феноменологічні рівняння [1, 2]:

$$\begin{aligned} I_b &= L_{11} X_\tau + L_{12} X_b \\ I_\tau &= L_{21} X_\tau + L_{22} X_b. \end{aligned} \quad (3)$$

Згідно з теорією Л.Онсагера рівність перехресних коефіцієнтів  $l_{12}$  і  $l_{21}$  у термодинамічних рівняннях руху взаємозалежних необоротних процесів переносу речовини й енергії, припускає, що потік, що відповідає необоротному перенесенню речовини  $i_b$ , знає впливу теплової сили  $x_\tau$  необоротного перенесення енергії  $i_\tau$ , і потік процесу  $i_\tau$  також знає впливу від сили  $x_b$  за допомогою того самого коефіцієнта взаємодії [1, 2]

$$\left(\frac{\partial I_b}{\partial X_\tau}\right)_{x_b} = \left(\frac{\partial I_\tau}{\partial X_b}\right)_{x_\tau} \quad (4)$$

Як випливає з теорії Л. Онсагера, рівність перехресних коефіцієнтів  $l_{12}$  і  $l_{21}$  у термодинамічних рівняннях руху для вищевказаних взаємозалежних процесів переносу речовини й енергії, що проходять у системі, свідчить про когерентність процесів, їхню інформаційну структурованість. Це дає підставу припустити, що збереження рівності перехресних коефіцієнтів у процесі функціонування енергетичної системи на мікрорівні повинне бути забезпечено збалансованістю потоків речовини й енергії на макрорівні. Виникнення у такому разі дисипативної структури [2], що підтримує активність системи і існує за рахунок того, що система дисипує, а отже, робить ентропію, відповідає локалізації у системі інформаційного просторово-часового узгодження швидкостей виробництва й відтоку ентропії зі швидкістю виникнення ентропії усередині системи, що, як можна припустити, є допуском:

$$\frac{dS}{d\tau} = \frac{d_e S}{d\tau} + \frac{d_i S}{d\tau} = 0 \quad (5)$$

де  $dS$  — повна зміна ентропії;

$d_e S$  — зміна потоку ентропії.

Допуск — інформаційна, упорядкована, просторово-часова структура, що являє собою якісну й кількісну оцінку здатності системи до виживання при взаємодії з довкіллям. У діапазоні допуску відкрита система, якою є енергетична система, що обмінюється з довкіллям речовиною, енергією й інформацією, володіє внутрішньою активністю, визначеною відповідно до цього рівня функціонування швидкістю дисипативних процесів.

Так, наприклад, допуски (рис. 2) як гранично припустимі значення зміни істотного параметра, що діагностується — температури місцевої води як рівня споживання при певному рівні підігріву мережної води в опалювальній котельні як рівня виробництва можуть бути визначені на основі еталонної діагностичної інформації з використанням передатної функції за каналом температура робочого тіла — витрата теплоносія, що гріє:

$$W_{i-DH1} = \frac{K_n \varepsilon (1 - L_n^*)}{L_b \beta \gamma} (1 - e^{-\gamma_1 \xi}), \quad (6)$$

$$\text{де } K_n = \frac{m(\theta_0 - \sigma_0)}{D_{H0}}; \varepsilon = \frac{\alpha_{H0} h_{H0}}{\alpha_{B0} h_{B0}}; L_n^* = \frac{1}{L_n + 1};$$

$$L_n = \frac{D_n C_n}{\alpha_{H0} h_{H0}}; \gamma_1 = \frac{(T_b S + 1)\beta - 1}{\beta}; T_b = \frac{g_b C_b}{\alpha_{B0} h_{B0}};$$

$$\beta = T_m S + \varepsilon^* + 1; T_m = \frac{g_m C_m}{\alpha_{B0} h_{B0}};$$

$$\varepsilon^* = \varepsilon(1 - L_n^*); \xi = \frac{z}{L_b}; L_b = \frac{D_b C_b}{\alpha_{B0} h_{B0}};$$

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

де  $\alpha$  — коефіцієнт тепловіддачі, кВт/м<sup>2</sup>К;  $C$  — питома теплоємність, кДж /кгК;  $D$  — витрата речовини, кг/с;  $g$  — питома маса речовини, кг/м;  $h$  — питома поверхня, м<sup>2</sup>/ м;  $t, \theta, \sigma$  — температура

робочого тіла, стінки, що розділяє, теплоносія, що гріє,  $K$ ;  $z$  — координата довжини теплообмінника,  $m$ ;  $\tau_v$ , — сталі часу, що характеризують теплову здатність робочого тіла, що акумулює, металу, що акумулює,  $c$ ;  $m$  — показник залежності коефіцієнта тепловіддачі від витрати;  $S$  — параметр перетворення Лапласа.

Індекси: 0 — вихідний стаціонарний режим; в, н, м — внутрішній, зовнішній потік, металева стінка.

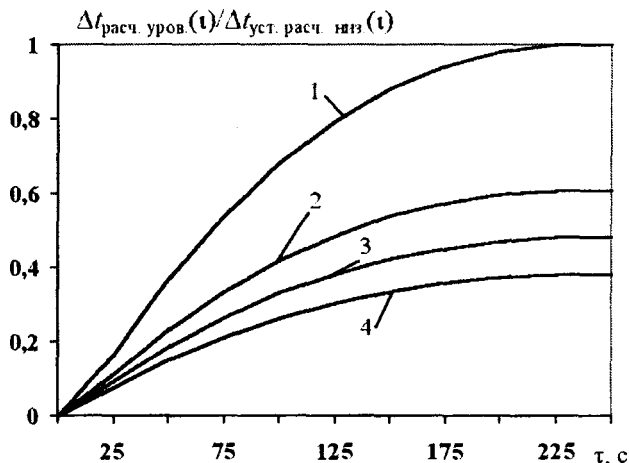


Рис. 2. Допуски як еталонні динамічні характеристики температури місцевої води  $\Delta t_{расч.уров.}(t)/\Delta t_{уст.расч.низ.}(t)$  для різних рівнів підігріву мережної води: 1, 2, 3, 4 — низького, середнього, високого, пікового. Індекси: уст. расч. — сталі, розрахункові значення параметра; уров. — рівень функціонування; низ. — низький рівень підігріву теплоносія, що гріє

Рецепція інформації, визначеної вибором із двох рівноімовірних альтернатив (у допуску, не в допуску) про неприпустиму зміну параметра порядку — істотного параметра, що діагностується, руйнуванням колишньої інформаційної структури дає можливість, використовуючи напрям зміни її вектору, визначити шлях перекладу системи на новий інформаційний рівень.

Саме цей новий рівень функціонування є найкращий для системи, тому що саме він, відтворюючи її структуру (еквіфінальність), зберігає внутрішні бажані властивості динамічної системи — (гомеостазис) та має ошадно-енергетичну цінність, бо відповідає стану нової, рухливої рівноваги як між внутрішніми компонентами системи, так і між системою й середовищем.

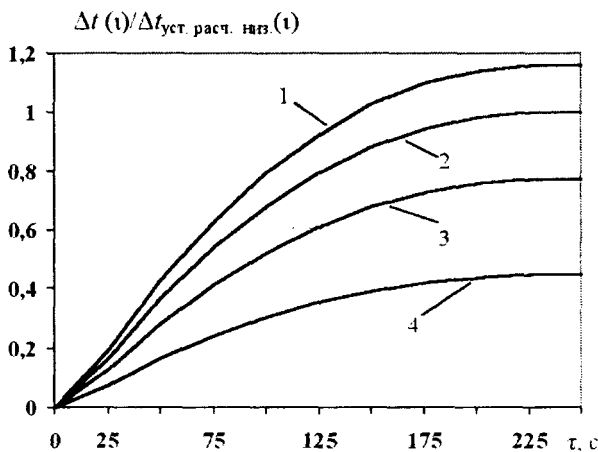


Рис. 3. Контроль працездатності підігрівника гарячого водопостачання: 1 — динамічна характеристика  $\Delta t(t)/\Delta t_{уст.расч.низ.}(t)$  при неприпустимій зміні температури місцевої води; 2 — допуск як еталонна динамічна характеристика  $\Delta t_{расч.уров.}(t)/\Delta t_{уст.расч.низ.}(t)$ ; 3, 4 — робочі динамічні характеристики  $\Delta t(t)/\Delta t_{уст.расч.низ.}(t)$

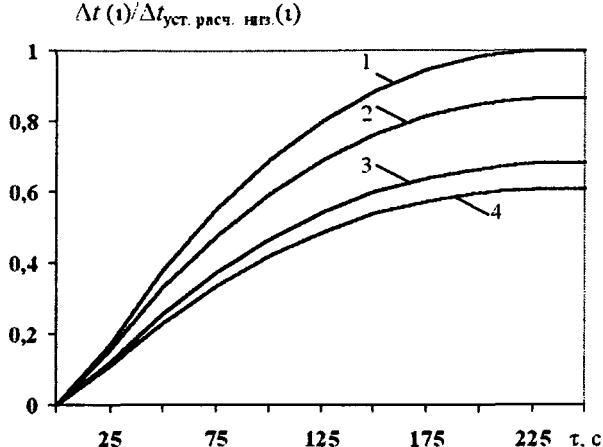


Рис. 4. Ідентифікація стану підігрівника гарячого водопостачання при переході з низького рівня підігріву теплоносія, що гріє, на середній: 1,2,3 (динамічні характеристики  $\Delta t(t)/\Delta t_{уст. расч. низ.}(t)$  при входженні в допуск середнього рівня підігріву; 4—еталонна динамічна характеристика як допуск середнього рівня підігріву  $\Delta t_{расч. ур.}(t)/\Delta t_{уст. расч. низ.}(t)$ )

Планується подальший розвиток запропонованої концепції діагностики енергетичних систем як у теоретичному плані з використанням синергетичних властивостей енергетичних систем у повній мірі, так і у практичному плані щодо комплексної реалізації управління на основі представленої архітектури експертних систем та у навчальному процесі.

1. Де Гроот С., Мазур П. *Неравновесная термодинамика*. — М., 1964. 2. Пригожин И., Стенгерс И. *Порядок из хаоса*. — М., 1986. 3. Чайковская Е.Е. *Синергетическое управление производством и потреблением теплоты на основе информации* // Наукові праці Донецького національного технічного університету. — Донецьк, 2002. — Вып. 47. — С.183 — 190. 4. Чайковская Е.Е. *Синергетическая концепция диагностики энергетических систем* // Філософські науки. Збірник наукових праць. — Суми, СумДПУ, 2003. — С. 230—236.

УДК 621

Я. Грень

Національного університету “Львівська політехніка”,  
кафедра автоматизації теплових та хімічних процесів

## КОМБІНОВАНИЙ МЕТОД ВИБОРУ ЛОКАЛЬНО-СТАЦІОНАРНИХ ДІЛЯНОК ВІБРАЦІЙНИХ СИГНАЛІВ

©Грень Я., 2004

**New method of choice of the local stationary sites by signal parameters evaluation simultaneously in time and frequency domains has been presented. This method is assigned for vibration signal processing of rotating machinery for their diagnostics on transient regimes.**

**Постановка проблеми.** Відмови енергетичних та авіаційних обертових машини таких, як турбіни, генератори, живильні насоси, газотурбінні двигуни тощо призводять до важких наслідків. Уникнути відмов дає змогу вчасне виявлення (діагностування) дефектів на ранніх стадіях їх розвитку. Для вібраційного діагностування технічного стану обертового обладнання зручно використовувати неусталені режими роботи — розгін та вибіг. У таких режимах вібраційні сигнали можуть бути представлені моделлю локально-стаціонарного випадкового процесу [1]. За такого пред-