

**Й. І. СТЕНЦЕЛЬ**, д-р. техн. наук, проф. СНУ ім. В. Даля,  
Северодонецьк;

**О. І. ПРОКАЗА**, канд. техн. наук, доц. СНУ ім. В. Даля,  
Северодонецьк;

**А. В. РЯБІЧЕНКО**, канд. техн. наук, с.н.с. СНУ ім. В. Даля,  
Северодонецьк;

**Л. І. ПЕТРОСЯН**, лікар-кардіолог багатoproфiльної лікарні,  
Северодонецьк.

## ДІАГНОСТИКА ЗАХВОРЮВАННЯ ЛЮДИНИ ЗА ХАРАКТЕРОМ ЗМІНИ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Досліджуються термодинамічні процеси в біологічному організмі при захворюваннях, котрі супроводжуються екзотермічними чи ендотермічними змінами теплової енергії. Показано, що такі процеси можна описати на основі теорії реологічних перетворень теплової енергії. Приведена узагальнена нелінійна математична модель термодинамічних процесів в організмі людини, а також можливі початкові та граничні умови, при котрих можна отримати аналітичне рішення для розподілення температурного поля. У результат

ті теоретичних та експериментальних досліджень показано, що характер зміни температурного поля залежить від вікового стану людини.

**Ключові слова:** температура, людина, процес, метод, хвороба, організм, реологія, рівняння, енергія.

**Вступ.** Термодинамічні процеси протікають в кожному біологічному організмі, в тому числі й людському, і характеризують стан його здоров'я. Тому температурні зміни в організмі в цілому або його окремих частинах є одним з основних показників, котрий широко використовується в медицині. За нормовану номінальну температуру людського організму прийнята температура  $36,6^{\circ}\text{C}$  [1]. У загальному номінальна температура є індивідуальною для кожної людини і може змінюватися від  $36,2^{\circ}\text{C}$  до  $36,7^{\circ}\text{C}$ . Підвищення температури тіла людини до  $37^{\circ}\text{C}$  і вище у клінічній практиці кваліфікується як початок захворювання, яке проковується тією чи іншою причиною. Тому підвищення температури людського організму вище  $37^{\circ}\text{C}$  є першою діагностичною ознакою його захворювання.

**Аналіз останніх досліджень та літератури.** Як показано в [2] для кожного виду захворювання є свої індивідуальні характерні термодинамічні зміни, за котрими виноситься попередній діагноз щодо типу захворювання.

Кінцевий діагноз ставиться після лабораторного аналізу, наприклад, крові та інших характерних складових організму. Особливо складними з діагностичної точки зору є процеси захворювання, котрі супроводжуються одночасною дією на організм різних видів хвороб або одночасним захворюванням декількох органів різними хворобами. Як правило, діапазон зміни температур хворої людини в залежності від типу захворювання може коливатися від 34 °С до 42 °С. Як вказується в науковій літературі [1, 3], температура тіла людини на протязі доби є нестабільною і може змінюватися в широких межах. Основним джерелом теплової енергії кожного біологічного організму є біохімічні процеси, які проходять в шлунково-кишковій системі. Але при захворюванні появляються нові джерела, котрі є наслідком запальних процесів окремих органів. Якраз ті процеси, котрі викликають захворювання, створюють екзотермічний (коли температура тіла зростає), ендотермічний (коли температура тіла спадає) або суміщений ефект, котрий викликає коливальний температурний процес. Зміна температури за коливальним процесом може бути обумовлена шляхом уведення в організм лікувальних препаратів. При цьому термодинамічний процес (ТДП) може бути коливальним або колиально-загасаючим. Як правило, при захворюванні має місце накладання температури тіла, котра створюється основним джерелом тепла та хворого органу. Так як у багатьох випадках тепла енергія основного та додаткового джерел змінюється з різною амплітудою та фазою, то при їх накладанні можуть створюватися термодинамічні поля різної форми, як показано в [4]. Особливе значення для діагностики стану здоров'я людини є вивчення термодинамічних змін як здорового, так і хворого організму, характеру ТДП при захворюванні та в процесі протікання хвороби, а також частотних характеристик таких процесів, враховуючи те, що частотні зміни можуть визначати характер дії того чи іншого впливового фактора. Таким чином, розробка методів діагностування термодинамічного стану людського організму за динамічними змінами температурного поля тіла є важливою науковою задачею.

**Мета статті та постановка проблеми.** Метою статті є дослідження термодинамічних характеристик процесів захворювання та видужування людського організму на основі принципів реологічних перетворень і методу нульового градієнта. ТДП захворювання є інерційним без запізнення або з наявністю інкубаційного періоду (з запізненням). Температура захворювання є наслідком стоку теплової енергії, котра створюється організмом від додаткових джерел. Так як людському організму притаманні захисні властивості, то підвищення температури тіла почнеться тільки після того, коли тепла енергія додат-

кового джерела перевищить деякий умовний рівень  $E_{T_0} = M\theta c_p \Delta T$ , де  $M$  - маса людини;  $\theta$  - час перебування (кровообігу);  $c_p$  - питома теплоємність тіла;  $\Delta T = T_{H_{\max}} - T_{H_0}$ ,  $T_{H_{\max}} \approx 37,0^{\circ}C$  - максимально допустима нормальна температура;  $T_{H_0} \approx 36,6^{\circ}C$  - номінальна стандартна температура здорової людини. Якщо енергія додаткового джерела  $E_{\phi}$  стає більшою енергії  $E_{T_0}$ , то починається відчуття підвищення температури за рахунок слабості, не характерного потовиділення, зміни кольору шкіряного покриву тощо. Так як підвищення температури є інерційним процесом, то швидкість її зміни після інкубаційного періоду може різко зростати. Одночасно зростатиме й протидіюча енергія організму, яку можна визначити за наступною формулою

$$E_{TL} = k_{C3} M \theta c_p (T_E - T_{H_0}), \quad (1)$$

де  $k_{C3}$  - коефіцієнт стану здоров'я людини;  $T_E$  - поточна температура хворої людини.

При такому підході до процесу захворювання енергія  $E_{TL}$  створює в людському організмі своєрідний зворотний зв'язок, що може привести до різного характеру протікання ТДП: видужування – температура починає зменшуватися; стабілізації процесу протікання хвороби – температура підвищилася до деякого максимального значення і стабілізувалася; коливального процесу, коли температура на протязі доби змінюється з однаковою амплітудою й частотою; коливально-загасаючого процесу тощо. У клінічній практиці спостерігаються й інші форми протікання процесу захворювання, наприклад, описані в [1], коли має місце накладання частоти власних коливань температурних змін людини з частотою власних коливань температурних змін хворого органу. Основними задачами роботи є описання ТДП, котрі протікають у людському організмі при його захворюванні на основі теорії реологічних переходів та методу нульового градієнта, отримання математичних моделей зміни температурного поля людини в аналітичній формі, а також їх дослідження.

**Математичні моделі реологічних переходів термодинамічного поля в людському організмі.** Розглянемо задачу, коли основне та додаткове джерело теплової енергії працюють автономно. Тоді рівняння реологічного перенесення теплової енергії цього джерела можна описати наступним диференціальним рівнянням:

$$\frac{\partial E_{\theta}(\theta_{\theta}, V)}{\partial \theta_{\theta}} = -aLV_{\Pi} \frac{\partial^2 E_{\theta}(\theta_{\theta}, V)}{\partial V^2} - \bar{v}_{\theta} S_{\theta} \frac{\partial E_{\theta}(\theta_{\theta}, V)}{\partial V} + \gamma_{\theta E}(t), \quad (1)$$

де  $E_{\theta}(\theta_{\theta}, V)$  - кількість теплової енергії, яка передається від додаткового джерела в об'єм  $V$  за час  $\theta_{\theta}$ ,  $a = \lambda / c_p \rho$  - температуропровідність біологічного матеріалу;  $L$  - довжина шляху перенесення теплової енергії;  $V_{\Pi}$  - об'єм перебування теплової енергії;  $\bar{v}_{\theta}$  - середня швидкість перенесення конвекційної складової теплової енергії від хворого органу;  $S_{\theta}$  - площа перенесення теплової енергії від хворого органу;  $\gamma_{\theta E}(t)$  - швидкість стоку теплової енергії від хворого органу за час  $t$ .

У першому наближенні приймемо, що перенесення теплової енергії є двоступеневим, тобто від додаткового джерела до поверхні хворого органу, а далі від цієї поверхні до рідинного потоку (наприклад, крові). Тоді для швидкості стоку теплової енергії  $E_{\theta C}(t)$  маємо:

$$\gamma_{\theta E}(t) = K_C \left[ \tau_{2\theta C}^2 \frac{d^3 E_{\theta}(t)}{dt^3} + \tau_{1\theta C} \frac{d^2 E_{\theta}(t)}{dt^2} + \frac{dE_{\theta}(t)}{dt} \right], \quad (2)$$

де  $K_C$  - коефіцієнт стоку теплової енергії від ураженого органа;  $\tau_{1\theta C}, \tau_{2\theta C}$  - сталі часу перенесення теплової енергії від цього органу за рахунок стоку.

Підставивши (2) у рівняння (1), отримуємо:

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_{\theta}(\theta_{\theta}, V)}{\partial \theta_{\theta}} + aLV_{\Pi} \frac{\partial^2 E_{\theta}(\theta_{\theta}, V)}{\partial V^2} + \bar{v}_{\theta} S_{\theta} \frac{\partial E_{\theta}(\theta_{\theta}, V)}{\partial V} = \\ = K_C \left[ \tau_{2\theta C}^2 \frac{d^3 E_{\theta C}(t)}{dt^3} + \tau_{1\theta C} \frac{d^2 E_{\theta C}(t)}{dt^2} + \frac{dE_{\theta C}(t)}{dt} \right]. \end{aligned} \quad (3)$$

Рівняння (3) справедливе для випадку, коли хворий орган характеризується сталим об'ємом і постійністю створеної теплової енергії (до таких недугів можна віднести стаціонарні (хронічні) або квазістаціонарні захворювання окремих органів людини). У разі інших захворювань (наприклад, грипозного характеру, пневмонії, лихорадці тощо) спостерігається збільшення об'єму ураженого органу, площі теплообміну, а також кількості теплової енергії, що є предметом подальших досліджень.

Процес перенесення теплової енергії від ураженого органу до всього організму може мати різну форму. Так, наприклад, при локаль-

ному запальному процесі має місце перенесення теплової енергії за рахунок теплопровідності. Тоді рівняння (3) спрощується до наступного вигляду:

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_{\theta}(\theta_{\theta}, V)}{\partial \theta_{\theta}} + D_T \frac{\partial^2 E_{\theta}(\theta_{\theta}, V)}{\partial V^2} = \\ = K_C \left[ \tau_{2\theta c}^2 \frac{d^3 E_{\theta c}(t)}{dt^3} + \tau_{1\theta c} \frac{d^2 E_{\theta c}(t)}{dt^2} + \frac{dE_{\theta c}(t)}{dt} \right], \end{aligned} \quad (4)$$

де  $D_T$  - коефіцієнт термодифузії.

Якщо об'єм  $V$  ураження є функцією часу  $\theta_{\theta}$ , то рівняння (3) ускладнюється, так як у цьому разі потрібно знати характер цієї функції. Залежність  $V = f(\theta)$ , як правило є характерною для кожного захворювання і визначається за результатами клінічних спостережень за змінами температури ураженого органу. Попередні дослідження показують, що при діагностуванні стану здоров'я людини залежність  $V = f(\theta)$  може описуватися наступними рівняннями регресії: 1 – лінійної; 2 – параболічної та трансцендентної. При лінійній зміні ураженого об'єму від часу захворювання, приймаючи, що  $\partial V = k_V \partial \theta_{\theta}$ , де  $k_V$  - коефіцієнт, рівняння (3) набуває такої форми

$$\tau_{\theta} \frac{\partial^2 E_{\theta}(\theta_{\theta})}{\partial \theta_{\theta}^2} + \frac{\partial E_{\theta}(\theta_{\theta})}{\partial \theta} = K_C \left[ \tau_{2\theta c}^2 \frac{d^3 E_{\theta c}(t)}{dt^3} + \tau_{1\theta c} \frac{d^2 E_{\theta c}(t)}{dt^2} + \frac{dE_{\theta c}(t)}{dt} \right], \quad (5)$$

де  $\tau_{\theta} = aLV_{\theta\Pi} / (k_V + \bar{v}_{\theta} S_{\theta})$  - стала часу перенесення теплової енергії від додаткового джерела.

Рівняння (5) формально є нелінійним, якщо рахувати, що  $\theta$  і  $t$  є різним часом процесу перенесення теплової енергії. Так як на границі перенесення тепла від додаткового джерела до організму похідні  $\frac{\partial E_{\theta}(\theta_{\theta})}{\partial \theta} = \frac{dE_{\theta c}(t)}{dt} = 0$ , то згідно з методом нульового градієнта [5] рівняння (5) розділяється на наступну систему простих диференціальних рівнянь:

$$\tau_{\theta} \frac{\partial^2 E_{\theta}(\theta_{\theta})}{\partial \theta_{\theta}^2} + \frac{\partial E_{\theta}(\theta_{\theta})}{\partial \theta} = 0; \quad (6)$$

$$\tau_{2\partial c}^2 \frac{d^3 E_{\partial c}(t)}{dt^3} + \tau_{1\partial c} \frac{d^2 E_{\partial c}(t)}{dt^2} + \frac{dE_{\partial c}(t)}{dt} = 0. \quad (7)$$

Враховуючи, що швидкості перенесення теплової енергії та стоку є постійними, рівняння (6) і (7) приймають наступну форму:

$$\tau_{\theta} \frac{\partial E_{\theta}(\theta_{\theta})}{\partial \theta_{\theta}} + E_{\theta}(\theta_{\theta}) = k_{\Pi} E_{\partial 0}; \quad (8)$$

$$\tau_{2\partial c}^2 \frac{d^2 E_{\partial c}(t)}{dt^2} + \tau_{1\partial c} \frac{dE_{\partial c}(t)}{dt} + E_{\partial c}(t) = k_C E_{\theta}(\theta_{\theta}), \quad (9)$$

де  $k_{\Pi}$  і  $k_C$  - коефіцієнти перенесення і стоку теплової енергії відповідно;  $E_{\partial 0}$  - тепла енергія, яка створюється в ураженому органі за рахунок біохімічних процесів.

Як відомо [1-4], людському організму притаманні захисні функції, котрі проявляються на початку дії зовнішніх чи внутрішніх подразників, а фактично виконують роль своєрідного компенсатора. Виходячи зі сказаного, людський організм у процесі захворювання являє собою розімкнену систему регулювання за збуренням, структурна схема якої показана на рис. 1, де *ОЛ* - організм людини; *ХО* – уражений (хворий) орган; *БК* - біокомпенсатор. На деякий орган *ХО* діють збуджуючі фактори (наприклад, бактерії), котрі призводять до створення додаткової теплової енергії  $E_{\theta}(\theta_{\theta})$ . Частина останньої у формі стоку  $E_{2\theta}(t)$  додається до номінальної енергії організму людини *ОЛ*, а частина цієї енергії  $E_{1\theta}(t)$  – на біокомпенсатор *БК*. Якщо компенсуюча енергія  $E_K(t) = E_{2\theta}(t)$ , то впливу теплової енергії на загальну енергію тіла людини не буде, тобто  $E_0(t) = E_C(t)$ , а значить не буде підвищуватися температура організму.

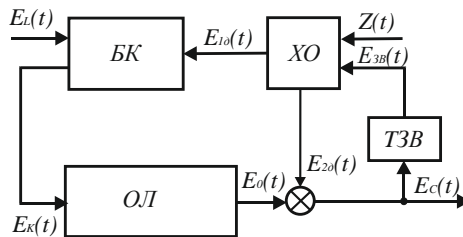


Рис. 1 - Структурна схема термодинамічних процесів хворої людини

При  $E_{2\theta}(t) > E_K(t)$  кількість теплової енергії  $E_C(t)$  стане більшою відносно номінальної енергії  $E_0(t)$  тіла, що приведе до підвищення температури. Так як уражений орган є складовою людського організму, то підвищення його температури автоматично призводить до появи температурного зворотного зв'язку (ТЗВ). Цей зв'язок може мати як позитивний, так і негативний вплив на процес захворювання людини. Так, при ГРЗ (гостре респіраторне захворювання), грипозному та деяких інших захворювання, цей ТЗВ приводить до послаблення дії бактерій, а відповідно, до стабілізації хвороби. Наприклад, при таких захворюваннях лікарі не рекомендують використовувати жарознижуючі засоби при підвищенні температури організму до  $38^{\circ}\text{C}$ . При інших захворюваннях, наприклад, пневмонії, туберкульозі тощо ТЗВ може привести до значного підвищення температури. У цьому випадку рекомендується вживати одночасно різні лікувальні засоби, включаючи й жарознижуючі. Останні в організмі людини створюють енергію  $E_L(t)$ , яка підсилює роль компенсатора БК.

**Термодинамічні моделі процесу захворювання людини.** При вищерозглянутому структурному підході до протікання ТДП захворювання швидкість зміни енергії  $E_0(\theta)$  в організмі людини, яка створює температуру  $T(\theta)$ , можна описати таким диференціальним рівнянням [6-8]:

$$\tau_n^n \frac{\partial^n T(\theta)}{\partial \theta^n} + \dots + \tau_i^i \frac{\partial^i T(\theta)}{\partial \theta^i} + \dots + \tau_2^2 \frac{\partial^2 T(\theta)}{\partial \theta^2} + \tau_1 \frac{\partial T(\theta)}{\partial \theta} = k_z Z(\theta), \quad (10)$$

де  $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_i, \dots, \tau_n$  - сталі часу;  $\gamma_c$  - швидкість стоку теплової енергії з організму.

Якщо ліву частину рівняння (10) замінити квадратурами [6] зі сталими часу  $\tau_1 = \tau_{1j}$  і  $\tau_2^2 = \tau_{2j}^{2j}$ , де  $j$  - номер квадратури, а також приймаючи, що швидкість стоку описується рівнянням (2), то отримуємо:

$$\tau_2^2 \frac{\partial^3 T^{(1/j)}(\theta)}{\partial \theta^3} + \tau_1 \frac{\partial^2 T^{(1/j)}(\theta)}{\partial \theta^2} + \frac{\partial T^{(1/j)}(\theta)}{\partial \theta} = k_z \frac{Z(\theta)}{\partial \theta}, \quad (11)$$

де  $Z(\theta)$  - збудники, котрі створюють теплову енергію за час  $\theta$ ;  $\tau_{1c}$ ,  $\tau_{2c}$  - сталі часу стоку;  $k_z$  - коефіцієнт перетворення дії збудника в теплову енергію.

Теплова енергія, яка характеризується температурою  $T^j(\theta)$ , від ураженого органа передається людському організму. Як правило, такий процес є двостадійним і може бути описаний наступним рівнянням:

$$\tau_{2zc}^2 \frac{d^2 T_{zc}(t)}{dt^2} + \tau_{1zc} \frac{dT_{zc}(t)}{dt} + T_{zc}(t) = k_{cz} T(\theta), \quad (12)$$

де  $T_x(t)$  - температура стоку теплової енергії від ураженого органу;  $\tau_{1zc}$ ,  $\tau_{2zc}$  - сталі часу стоку;  $k_{cz}$  - коефіцієнт передачі.

Якщо швидкість впливу збудника є сталою, то рівняння (11) приводиться до вигляду:

$$\tau_2^2 \frac{\partial^2 T^{(1/j)}(\theta)}{\partial \theta^2} + \tau_1 \frac{\partial T^{(1/j)}(\theta)}{\partial \theta} + T^{(1/j)}(\theta) = k_z Z_0. \quad (13)$$

Як правило, стік теплової енергії з організму є аперіодичною функцією, та при відповідних початкових умовах рішенням рівняння (12) буде:

$$T_{zc}(t) = k_{cz} T(\theta) \left[ 1 - \frac{p_{2c}}{p_{2c} - p_{1c}} \exp(p_{1c}t) + \frac{p_{1c}}{p_{2c} - p_{1c}} \exp(p_{2c}t) \right], \quad (14)$$

де  $p_{1c,2c} = -(\tau_{1zc} / 2\tau_{2zc}^2) \pm \sqrt{(\tau_{1zc} / 2\tau_{2zc}^2)^2 - (1/\tau_{2zc}^2)}$  - корені характеристичного рівняння.

Рівняння (13) може описувати як аперіодичний так і коливальний процес. Якщо перенесення тепла від ураженого органу є аперіодичним, то  $\tau_1 / \tau_2 > 2$  і його рішенням буде:

$$T_{II}^{(1/j)}(\theta) = k_z Z_0 \left[ 1 - \frac{p_2}{p_2 - p_1} \exp(p_1\theta) + \frac{p_1}{p_2 - p_1} \exp(p_2\theta) \right], \quad (15)$$

де  $p_{1,2} = -\tau_1 / 2\tau_2^2 \pm \sqrt{(\tau_1 / 2\tau_2^2)^2 - (1/\tau_2^2)}$  - корені характеристичного рівняння.

Якщо процес перенесення тепла є коливальним, наприклад, при лихоманці [1], то рівняння (13) матиме наступне рішення:

$$T_K^{(1/j)}(\theta) = k_z Z_0 \left\{ 1 - \exp(\alpha\theta) \left[ \cos(\omega_0\theta) + \frac{\alpha}{\omega_0} \sin(\omega_0\theta) \right] \right\}, \quad (16)$$

де  $\alpha = -\tau_1 / 2\tau_2^2$  - ступінь загасання коливального перехідного процесу;

$\omega_0 = \sqrt{(1/\tau_2^2) - (\tau_1/2\tau_2^2)^2}$  - частота власних коливань.

Рівняння (15) і (16) запишемо таким чином:

$$T_{\Pi}(\theta) = (k_z Z_0)^j \left[ 1 - \frac{P_2}{p_2 - p_1} \exp(p_1 \theta) + \frac{P_1}{p_2 - p_1} \exp(p_2 \theta) \right]^j; \quad (17)$$

$$T_K(\theta) = (k_z Z_0)^j \left\{ 1 - \exp(\alpha \theta) \left[ \cos(\omega_0 \theta) + \frac{\alpha}{\omega_0} \sin(\omega_0 \theta) \right] \right\}^j. \quad (18)$$

Підставивши (17) і (18) у рівняння (14) отримуємо термодинамічні моделі для різних видів захворювань та вікового стану  $j$  людського організму. Термодинамічні криві для чотирьох вікових категорій (ВК) людини при грипозному захворюванні, котре супроводжується плавним підвищенням температури та характеризується інкубаційним періодом  $t_{\text{инк}}$ , показані на рис. 2, а та описуються наступним рівнянням:

$$T_{zc}(t) = k_{zc} (k_z Z_0)^j \left[ 1 - \frac{P_2}{p_2 - p_1} \exp(p_1 \theta) + \frac{P_1}{p_2 - p_1} \exp(p_2 \theta) \right]^j * \left[ 1 - \frac{P_{2c}}{p_{2c} - p_{1c}} \exp(p_{1c} t) + \frac{P_{1c}}{p_{2c} - p_{1c}} \exp(p_{2c} t) \right]. \quad (19)$$

Інкубаційний період найменший для четвертої ВК, який може тривати до однієї доби й менше, а найбільший – для першої. З цього можна зробити висновок, що при ураженні організму людини першої та четвертої ВК однаковою об'ємною долею бактерій грипу, за рахунок більш швидкого виявлення підвищення температури тіла людини четвертої ВК захворювання можна локалізувати раніше, ніж для першої. Так як для першої ВК за інкубаційний період накопичується в організмі значно більша об'ємна доля бактерій, ніж для четвертої, та спостерігається зменшення захисних властивостей організму, максимум термодинамічної кривої зміщається вправо, що свідчить про затягування в дітей хвороби. Але при дії на останню лікувальними засобами швидкість видужування є більшою.

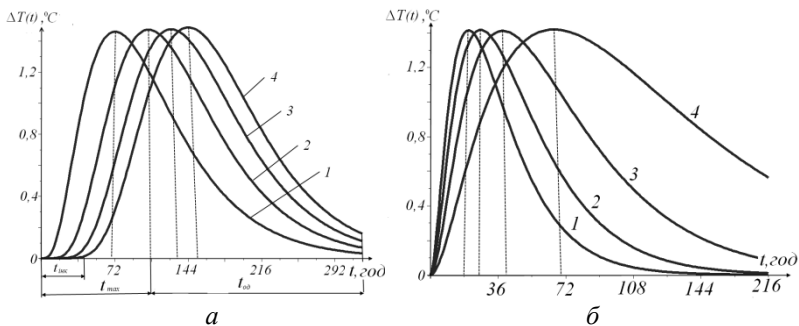


Рис. 2 - Температурні криві захворювання людини: *а* – при грипозному захворюванні; *б* – при ГРЗ

На рис. 2, *б* приведені термодинамічні криві для чотирьох ВК людського організму при ГРЗ. На підставі клінічних і теоретичних досліджень такий процес можна описати наступним рівнянням:

$$T_{zc}(t) = k_{cz} (k_z Z_0)^j \left( \frac{p_2}{p_2 - p_1} \right)^j \left[ \exp(p_1 \theta) + \frac{p_1}{p_2} \exp(p_2 \theta) \right]^j * \left[ 1 - \frac{p_{2c}}{p_{2c} - p_{1c}} \exp(p_{1c} t) + \frac{p_{1c}}{p_{2c} - p_{1c}} \exp(p_{2c} t) \right]. \quad (20)$$

З рис. 2, *б* видно, що при такому захворюванні практично немає інкубаційного періоду для всіх ВК. Найбільш вразливою є перша ВК, а до найменш вразливої групи відноситься четверта. Якщо для першої ВК характерне достатньо швидке видужування, то для четвертої процес видужування є тривалим. У клінічній практиці спостерігаються захворювання, котрі супроводжуються коливальними змінами температури людського організму. До таких захворювань відносяться хвороби серцево-судинної, шлунково-кишкової системи та багато інших. Такі хвороби умовно можна розділити на дві групи. До першої групи відносяться захворювання, при яких термодинамічний процес ураженого органу має достатньо слабкий коливально-загасаючий характер (рис. 3, *а*), а до другої – захворювання, при котрих цей процес має коливальний характер з постійною амплітудою та частотою (рис. 3, *б*).

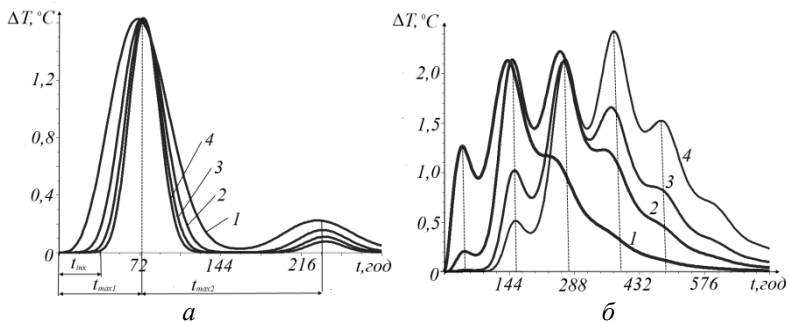


Рис. 3. Температурні криві захворювання людини:  
 а – при шлунково-кишковому розладі; б – при пневмонії

Найбільш складними є захворювання другої групи, так як у цьому випадку спостерігаються суттєвий вплив накладання термодинамічних змін ураженого органа на ТДП організму, як показано в [1]. Для першої групи захворювання може мати місце як інкубаційний період (наприклад, при захворюванні серцевої системи), так і одночасність досягнення максимуму температури не залежно від ВК людини. Сам процес протікання хвороби є достатньо тривалим, так як при цьому можуть спостерігатися хвилеподібні зміни температури тіла.

Такий ТДП можна описати наступним рівнянням:

$$T_{zc}(t) = k_{cz} (k_z Z_0)^j \left\{ 1 - \exp(\alpha\theta) \left[ \cos(\omega_0\theta) + \frac{\alpha}{\omega_0} \sin(\omega_0\theta) \right] \right\}^j * \left[ 1 - \frac{p_{2c}}{p_{2c} - p_{1c}} \exp(p_{1c}t) + \frac{p_{1c}}{p_{2c} - p_{1c}} \exp(p_{2c}t) \right]. \quad (21)$$

Щодо другої групи коливальних змін ТДП в організмі людини, то вони потребують значно глибшого вивчення результатів клінічних спостережень, так як кожна ВК людини має свої індивідуальні властивості. Теоретично такі захворювання коливального типу можна описати такою математичною моделлю:

$$T_{zc}(t) = k_{cz} (k_z Z_0)^j \left\{ 1 - \exp(\alpha\theta) \left[ 1 + \frac{\alpha}{\omega_0} \sin(\omega_0\theta) \right] \right\}^j * \left[ 1 - \frac{p_{2c}}{p_{2c} - p_{1c}} \exp(p_{1c}t) + \frac{p_{1c}}{p_{2c} - p_{1c}} \exp(p_{2c}t) \right]. \quad (22)$$

На рис. 3, б виділені деякі характерні області термодинамічних кривих (показані пунктирними лініями) котрі відповідним чином визначають характерні риси процесу захворювання, тривалості хвороби та видужування. Як показують експериментальні дослідження, як правило, тривалість захворювань коливального характеру є значною навіть у тих випадках, коли технологія лікування приймається за оптимальну.

**Висновки.** Виконані експериментальні та теоретичні дослідження ТДП людського організму в процесі його захворювання та протікання хвороби. Показано, що інкубаційний період залежить від типу хвороби: при грипозному захворювання цей період є характерним для всіх ВК людини, а при ГРЗ – він є практично відсутнім. Запропонована структурна схема протікання захворювання людини, яке супроводжується ТДП. Запропоновано процес захворювання представляти розімкненою системою управління термодинамічним режимом хворої людини з позитивним зворотним зв'язком за температурою організму людини. Це дозволяє оцінити процес захворювання і попередити можливість появи критично високих температур в організмі. Показано, що ТДП при протіканні хвороби можуть бути аперіодичного, коливально-загасаючого та коливального характеру. Час досягнення максимального підвищення температури тіла є найменшою для людей середнього та старшого віку, а інкубаційний період для них є мінімальним. При ГРЗ інкубаційний період відсутній практично для всіх ВК людини. Таке захворювання найбільш легко переносять діти, а тривалість захворювання є мінімальною. Найбільш вразливі до ГРЗ є люди середнього та старшого віку. До найбільш простих форм захворювання можна віднести хвороби, котрі протікають за коливально-загасаючим ТДП. У них спостерігаються дві (іноді й більше) загасаючих хвиль протікання захворювання. Амплітуда другої хвилі може бути як малою, так і достатньо великою, що може бути причиною діагностування нового захворювання. Захворювання, які супроводжуються коливальним характером зміни температури організму можна віднести до найбільш складних, так як поява коливань може бути пов'язана з резонансними факторами, які мають місце в організмі.

**Список літератури:** 1. *Василенко В. Х.* Пропедевтика внутренних болезней /В. Х. Василенко, А. Л. Гребенева, Н. Д. Михайлова и др. – М.: Медицина, 1974. – 528 с. 2. *Ремизов А. Н.* Медицинская и биологическая физика /А. Н. Ремизов. – М.: Высшая школа, 1987. – 638 с. 3. *Орлов В. Н.* Руководство по электрокардиографии /В. Н. Орлов. – М.: Медицина, 1984. – 526 с. 4. *Виноградов А. В.* Дифференциальный диагноз внутренних болезней /А. В. Виноградов. – М.: Медицина, 1980. – 836 с. 5. *Стенцель Й. І.* Фотоколориметричні газоаналізатори /Й. І. Стенцель – К.: ІСДО, 1995. – 124 с. 6. *Стенцель Й. І.* Автоматизація

технологічних процесів хімічних виробництв / *Й. І. Стенцель*. – К. : ІСДО, 1995. – 360 с.  
7. *Стенцель Й. І.* Математичне моделювання хімічних процесів на основі теорії реологічних переходів / *Й. І. Стенцель* // Вісник Східноук. нац університету. Науковий збірник. - №5 (111). - 2007. – С. 91-97. 8. *Лыков А. В.* Теория теплопроводности / *А. В. Лыков*. – М. : Высш. шк., 1967. – 599 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Vasilenko, V. Kh, A. L. Hrebeneva, N. D. Mykhaylova et al. *Propedevtyka vnutrennykh bolezney*. Moscow:Medytsyna, 1974. Print.2. Remyzov, A. N. *Medytsynskaya y byolohycheskaya fizyka*. Moscow : Visshaya shkola, 1987. Print. 3. Orlov, V. N. *Rukovodstvo po elektrokardyyografyy*. Moscow: Medytsyna, 1984. Print.4. Vynohradov, A. V. *Dyfferentsyal'nyy dyahnoz vnutrennykh bolezney*. Moscow: Medytsyna, 1980. Print.5. Stentsel', Y. I. *Fotokolorymetrychni hazoanalizatory*. Kyiv: ISDO, 1995. Print.6. Stentsel', Y. I. *Avtomatyzatsiya tekhnolohichnykh protsesiv khimichnykh vyrobnystv*. Kyiv: ISDO, 1995. Print.7. Stentsel', Y. I. “Matematychnе modelyuvannya khimichnykh protsesiv na osnovi teoryi reolohichnykh perekhodiv.” *Visnyk Skhidnouk. nats universytetu. Naukovyy zbirnyk*. No. 5 (111). 2007. 91-97. Print.8. Likov, A. V. *Teoryya teploprovodnosti*. Moscow: Vissh. shk., 1967. Print.

*Надійшла (received) 14.04.2015*

УДК 620.179.14

**Б. М. ГОРКУНОВ**, д-р техн. наук, проф. НТУ "ХПИ",  
**Н. Н. СИРЕНКО**, канд.техн.наук, проф. НТУ "ХПИ",  
**И. В. ТЮПА**, канд.техн.наук, доц. НТУ "ХПИ",  
**А. А. ТИЩЕНКО**, канд.техн.наук, доц. НТУ "ХПИ"

## РАСШИРЕНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ С ПРОСТРАНСТВЕННО-ПЕРИОДИЧЕСКИМИ ПОЛЯМИ

В работе рассмотрены вопросы теории электромагнитных преобразователей для многопараметровых измерений с полями, которые имеют пространственно-периодическую структуру. Показано, как с помощью зависимостей амплитудных пространственных гармоник можно расположить секции измерительных обмоток с тем, чтобы выделить из сигнала преобразователя необходимые гармоники. Приведены графики зависимостей нормированных амплитуд и фаз. Описан алгоритм определения электромагнитных и геометрических параметров цилиндрических изделий. Сделан вывод о том, что электромагнитные преобразователи позволяют осуществлять многопараметровый контроль за счет использования определенного числа отдельных пространственных гармоник зондирующего поля.

**Ключевые слова:** электромагнитный преобразователь, пространственно-периодическое поле, многопараметровые измерения, электромагнитные параметры.

© Б. М. Горкунов, Н. Н. Сиренко, И. В. Тюпа, А. А. Тищенко, 2015

*ISSN 2079-4525. Вісник НТУ «ХПІ». 2015. № 19 (1128)*

15