УДК 616.12-073.97

Й. І. СТЕНЦЕЛЬ, докт. техн. наук, проф. ТІ СНУ ім.В.Даля, Сєвєродонецьк;
С. П. ПАВЛОВ, докт. техн. наук, проф. ВНТУ, Вінниця;
К. А. ЛІТВІНОВ, магістрант ТІ СНУ ім. В.Даля, Сєвєродонецьк

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ БІОЛОГІЧНОГО ОРГАНІЗМУ

На основі результатів клінічних досліджень температурних змін здорової та хворої людини, принципів реологічних переходів кількості теплової енергії та методу нульового градієнта розроблені математичні моделі термодинамічних процесів біологічного організму. Показані причини зміни термодинамічного поля здорової та хворої людини. На амплітуду зміни температури чинить вплив температура організму та час кровообігу, а також витрата крові.

Ключові слова: температура, градієнт, амплітуда, швидкість, інфекція, захворювання, кровоносна система, біологічний організм, витрата, реологічний перехід, теплова енергія.

Вступ. Біологічні організми (БО) у своїй більшості відносяться до теплокровних, для котрих характерним є наявність температурного поля, котре стабілізується за рахунок кровоносної системи. За нормальну температуру людського організму прийнята температура від $T_0 = 36{,}4^0 C$ до $36{,}6^0 C$. Вимірювання температури виконується в кожного хворого. Воно дає можливість виявити лихоманний стан і має велике значення для діагностики захворювань [1]. Стабілізація температурного поля БО здійснюється біологічною системою регулювання, об'єктом керування якої є кровоносна система. Джерелом теплової енергії є шлунково-кишкова система, котра за рахунок біохімічних перетворень формує теплову енергію, яка передається шляхом теплопереносення через стінки розгалуженої судинної системи до крові. Так як можливість такого джерела в БО є достатньо обмеженою, то зберігання теплового балансу здійснюється за рахунок зовнішньої системи енергозбереження. Збільшення температури БО може здійснюватися за рахунок появи додаткових як внутрішніх так і зовнішніх джерел теплової енергії, наприклад, за рахунок вірусного накопичення, опікового чи хімічного враження поверхні організму, внутрішніх біохімічних процесів, обумовлених тими чи іншими захворюваннями тощо. Зменшення температури БО, як правило, обумовлене, порушенням теплового балансу з навколишнім середовищем і

© Й. І. Стенцель, С. П. Павлов, К. А. Літвінов, 2014

захворюваннями судинної системи. Особливу роль в стабілізації температурного режиму БО відіграє центральна нервова система. Вона фактично забезпечує зворотний зв'язок за температурою, організовує порівняння з нормованим значенням, визначає неузгодженість між цими сигналами і видає сигнал на зміну роботи джерела теплової енергії. Якщо ця система дає відхилення від норми, то це призводить або до відчуття надмірної температури БО, або до зменшення чутливості до її зміни. Для БО, в тому числі й для людського, є притаманне зовнішнє температурне поле, яке охоплює всю зовнішню його поверхню. Як вказується в [2], при фізичній діагностиці стану здоров'я людини вимірювальний контроль температури виконується не тільки в певних її точках, але й шляхом ощупування тих чи інших зовнішніх елементів (наприклад, суглобів) або за зміною фотометричного стану (забарвлення) ділянок тіла. Значно менше в медичній практиці для діагностики стану здоров'я людини користуються методом температурної аури – розподіленням температурного поля за периметром організму. У науковій літературі такий метод називається методом пограничного шару [3-5]. Як і в нагрітих тілах, у БО за рахунок гравітаційних сил створюються теплові потоки, а відповідно й товщина теплового шару. Але на відміну від температурних полів неорганічних матеріалів у біологічному організмі можуть спостерігатися різноманітні форми їх зміни, про що свідчить зміна температури зранку та вечором, температури здорового та хворого БО в залежності від типу захворювання, температури з другорядними ефектами – відчуття жари при низькій та холоду при високій температурі, потовиділення тощо. Як показано в [1], кожне відхилення температури організму від нормальної при наявності додаткових показників зміни теплової енергії свідчить про наявність того чи іншого захворювання, а швидкість зміни термодинамічних показників – про ступінь поглиблення захворювання людини, або ступінь її видужування.У клінічній практиці використовуються дві джокерні точки контролю за температурою тіла людини: як правило, ранкова джокерна точка в межах від 7 до 9 години та вечірня – від 16 до 20 годин. За отриманими таким чином температурними точками будують ломану лінію, яка називається температурною кривою. Як правило, в першій джокерній точці температура є нижчою, від температури другої джокерної точки. На протязі дня (приблизно 12 годин) температура зростає, а на протязі ночі – спадає. Температурні добові криві навіть для здорової людини можуть мати різні форми як показано на рис. 1. Характерною ознакою температурного поля умовно здорового організму є практично незмінна амплітуда коливань температури,

наприклад, в межах від 0,3 до 0,5 ^{0}C на протязі достатньо великого часу. У період між джокерними точками термодинамічні зміни БО, як правило, не вивчаються і не використовуються для діагностування стану здоров'я. На рис. 2 показані температурні криві, котрі отримані через кожні 4 години на протязі доби. З рисунків видно, що джокерні (управляючі) точки не повністю відображають характер добової зміни організму, що іноді приводить до не зовсім правильного діагнозу процесу захворювання особливо на початковому його стані. Кожний тип температурної кривої характеризує те чи інше захворювання, його складність і багато інших особливостей причин зміни температури організму. Як правило, зміна температури людини є наслідком порушення роботи того чи іншого органу, який іноді важко визначити за загальним температурним показником.

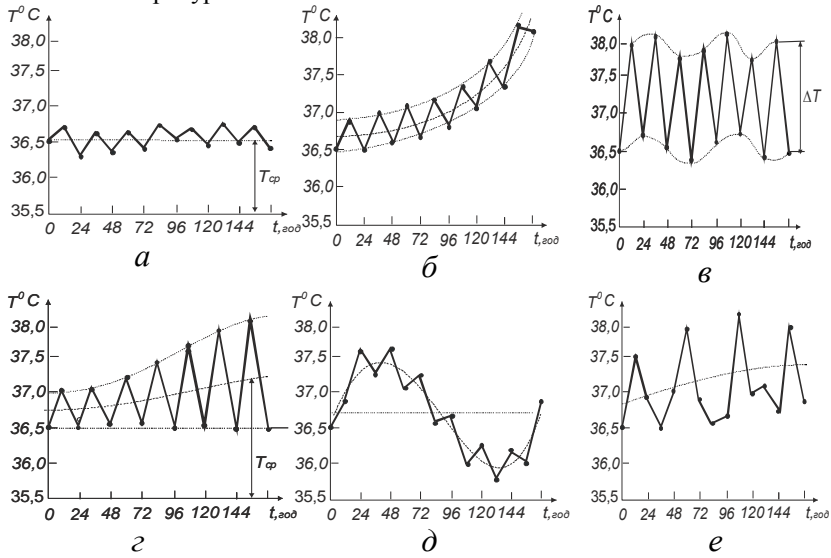

Рис. 1 – Типи температурних кривих людини в залежності від характеру добового коливання температури: *а* – температура здорової людини; *б* – прогресуюча параболічна температура параболічного типу; *в* – гектична зміна температури; *г* – прогресуюча параболічно-гектична температура; *д* – хвилеподібна зміна температури; *е* – гектично-параболічна зміна температури

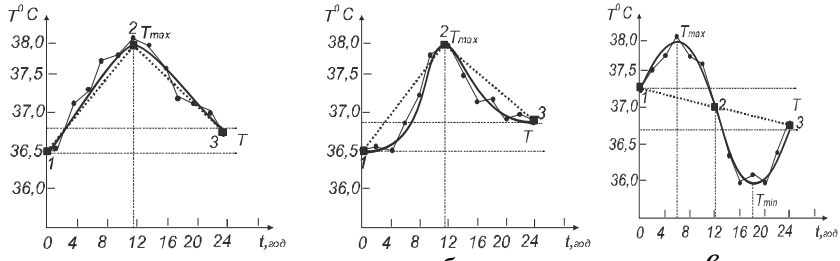

Рис. 2 – Типи температурних кривих в залежності від характеру чотирьохгодинного коливання температури: а – інтегральна зміна температури першого порядку; *б* – інтегральна зміна температури високого порядку; *в* – коливальна зміна температури

Зміна температурного поля БО тісно пов'язана з масообмінними та біохімічними процесами, котрі протікають в хворому органі, і характеризуються багатьма фізико-хімічними параметрами [2]. Окрім того, появляються термодинамічні процеси, котрі характеризуються швидкістю перенесення теплової енергії. Так як зміна температури є рушійною силою, то для БО вона приводить, по-перше, до зміни швидкості масоперенесення та біохімічних процесів організму в цілому . Тому вивчення термодинамічних процесів людини є одним із основних напрямків для створення нових принципів діагностування. Метою статті є теоретичне описання термодинамічного поля біологічного організму при наявності в ньому реологічних переходів, котрі супроводжуються біохімічними процесами.

Постановка задачі. Як показано в [3], всі термодинамічні процеси жорстко пов'язані з біохімічними перетвореннями за рахунок інфекційних або інших захворювань. Такий процес у загальному випадку описується наступним диференціальним рівнянням

$$\frac{\partial}{\theta}\left[\frac{\partial T_P}{\partial \theta}+\frac{q_P}{c_P\rho V_P}z\exp\left(-E/RT_P\right)\right]=\operatorname{div}\left(\frac{\lambda}{c_P\rho}\operatorname{grad}T_P+vT_P\right), \quad (1)$$

де T_P - поточна температура біохімічного перетворення;

c_P - питома теплоємність біологічного середовища;

ρ - щільність середовища;

θ - час теплоперенесення джерела теплової енергії (біохімічного перетворення);

λ - коефіцієнт теплопровідності середовища;

q_P - кількість теплоти, яке виділяється при хімічному перетворенні;

z - експоненціальний коефіцієнт;

E - енергія активації біохімічної реакції;

R - універсальна стала;

V_P - об'єм біохімічного перетворення;

v_P - лінійна швидкість перенесення теплової енергії.

Після диференціювання рівняння (1) за змінними і часом біохімічного перетворення отримуємо

$$\left[\frac{\partial^2 T_P}{\partial\theta^2}+\frac{z}{c_P\rho V_P}\frac{\partial q_P}{\partial\theta}\exp\left(-E/RT_P\right)+\left(\frac{q_P z}{c_P\rho V_P}\frac{E}{RT_P^2}\right)\frac{\partial T_P}{\partial\theta}\exp\left(-E/RT_P\right)\right]= \\ =\operatorname{div}\left(\frac{\lambda}{c_P\rho}\operatorname{grad}T_P+vT_P\right) \tag{2}$$

Приймаючи до уваги, що $\frac{\partial T_P}{\partial\theta}=\frac{1}{c_P\rho V_P}\frac{dq}{d\theta}$, а $\frac{\partial^2 T_P}{\partial\theta^2}=\frac{1}{c_P\rho V_P}\frac{d^2 q}{d\theta^2}$, де q - кількість теплової енергії, яка переноситься від джерела тепла потоком з температурою T_P, рівняння (2) приймає наступну форму

$$\frac{d^2 q}{d\theta^2}+z\frac{\partial q_P}{\partial\theta}\exp\left(-E/RT_P\right)+\left(\frac{q_P z}{c_P\rho V_P}\frac{E}{RT_P^3}\right)\frac{dq}{d\theta}\exp\left(-E/RT_P\right)= \\ =c_P\rho V_P\operatorname{div}\left(\frac{\lambda}{c_P\rho}\operatorname{grad}T_P+vT_P\right) \tag{3}$$

Якщо $\frac{dq}{d\theta}=\frac{\partial q_P}{\partial\theta}$, то

$$\frac{d^2 q}{d\theta^2}+\left[1+\frac{q_P}{c_P\rho V_P}\frac{E}{RT_P^2}\right]z\exp\left(-\frac{E}{RT_P}\right)\frac{\partial q_P}{\partial\theta}= \\ =c_P\rho V_P\operatorname{div}\left(\frac{\lambda}{c_P\rho}\operatorname{grad}T_P+vT_P\right) \tag{4}$$

Позначимо $\frac{1}{\tau_P} = z\left(1 + \frac{q_P}{c_P \rho V_P} \frac{E}{RT_P^2}\right)\exp\left(-\frac{E}{RT_P}\right)$. Тоді рівняння (4) спрощується й приймає таку форму

$$\tau_P \frac{\partial^2 q_P}{\partial \theta^2} + \frac{\partial q_P}{\partial \theta} = \frac{v_P \lambda V_P}{a}\left(\frac{a}{v_P}\frac{\partial^2 T_P}{\partial x^2} + \frac{\partial T_P}{\partial x}\right), \quad (5)$$

де τ_P - стала часу процесу створення теплової енергії за рахунок біохімічного перетворення; x - напрямок перенесення теплової енергії.

Математичні моделі термодинамічних процесів. У біологічному організмі перенесення теплової енергії здійснюється, як правило, за рахунок кровоносної системи. Основний кровоносний потік здійснюється аортою з об'ємною витратою $F_A = v_A S_A = \pi D_A^2 v_A$, де v_A - лінійна швидкість крові в аорті; S_A - поперечний перетин аорти; D_A - умовний її діаметр. Нехай лінійна швидкість v_P перенесення теплової енергії від інфікованої ділянки БО до потоку крові є пропорційною лінійній швидкості v_A руху крові, тобто $v_P = k_A v_A$, де k_A - коефіцієнт пропорціональності, який залежить від місця захворювання організму. Якщо у місці захворювання (наприклад, внутрішні органи) є багато кровоносних судин, то коефіцієнт k_A збільшується. Швидкість v_A руху крові в аорті можна визначити за формулою: $v_A = F_A / \pi D_A^2$. Якщо прийняти, що лінійна швидкість $v_A = L/\vartheta$, де L - умовна довжина кровоносної системи; ϑ - час перенесення крові в організмі, то $x = k_A v_A \vartheta = k_A F_A \vartheta / \pi D_A^2$. Для кожної людини час ϑ є індивідуальний і залежить від структури кровоносного розгалуження, його еквівалентного діаметру, тиску наповнення і фізико-хімічних параметрів крові. Враховуючи сказане, рівняння (5) запишемо в такій формі

$$\tau_P \frac{d^2 q}{d\theta^2} + \frac{\partial q_P}{\partial \theta} = \left(\frac{\pi}{k_A}\right)\left(\frac{\lambda}{a}\right)\left(\frac{V_P}{\vartheta}\right)\left(\frac{LD_A^2}{\vartheta}\right)\left[\left(\frac{\pi}{k_A}\right)\left(\frac{a}{Lv_A}\right)\left(\frac{LD_A^2}{\vartheta}\right)\frac{\partial^2 T_P}{\partial F_A^2} + \frac{\partial T_P}{\partial F_A}\right] \quad (6)$$

Аналізуючи рівняння (6) з точки зору розмірності, можна зробити наступні висновки. Добуток $\left(\frac{\lambda}{a}\right)\left(\frac{V_P}{\vartheta}\right) = \frac{\Delta q_P}{\Delta T_P} = \frac{dq_P}{dT_P} = K_q = const$ - є градієнтом зміни теплової енергії, яка викликає відповідну зміну температури нагріву крові (можна прийняти, що для даного БО є сталим);

відношення $LD_A^2/\vartheta = F_{A0}$ - об'ємна витрата крові в кровоносній системі здорової людини; $Lv_A = a_0$ - коефіцієнт температуропровідності кровоносної системи здорової людини; $a/a_0 = \delta_a$ - відносне значення температуропровідності. З врахуванням обумовленого, рівняння (6) приймає вигляд

$$\tau_P \frac{d^2 q}{d\theta^2} + \frac{\partial q_P}{\partial \theta} = \frac{\pi K_q F_{A0}}{k_A}\left[\frac{\pi \delta_a F_{A0}}{k_A}\frac{\partial^2 T_P}{\partial F_A^2} + \frac{\partial T_P}{\partial F_A}\right]. \qquad (7)$$

Рівняння (7) описує процес захворювання біологічного організму, в результаті чого збільшується кількість теплової енергії, а відповідно, підвищується його температура. Аналізуючи рівняння (7), можна зробити наступні висновки:

1.У результаті захворювання проходить біохімічний процес, який супроводжується виділенням теплової енергії в часі θ тривалості хвороби, котра переноситься в організмі кровоносною системою.

2..Ступінь захворювання K_q визначається об'ємною витратою теплової енергії, яка переноситься від інфекційної частини організму і залежить від сталої τ_P біохімічної реакції, а також від часу ϑ кровообігу крові в кровоносній системі.

3.Швидкість підвищення температури організму залежить від об'ємної витрати F_{A0} крові в кровоносній системі, від відносного значення температуропровідності хворого та здорового організму. .

Рівняння (7) запишемо таким чином

$$\tau_{2P}^2 \frac{d^2 q_P(\theta)}{d\theta^2} + \tau_{1P}\frac{\partial q_P(\theta)}{\partial \theta} = \frac{\pi \delta_a F_{A0}}{k_A}\frac{\partial^2 T_P(\vartheta, F_A)}{\partial F_A{}^2} + \frac{\partial T_P(\vartheta, F_A)}{\partial F_A}, \qquad (8)$$

де $\tau_{2p}^2 = \frac{k_A}{\pi K_q F_{A0}}\tau_P^2$; $\tau_{1P} = \frac{k_A}{\pi K_q F_{A0}}$ - сталі часу.

З (8) випливає, що права його частина описує кількість теплової енергії, котра передається від інфікованої частини організму до інших його частин. Так як рівняння (8) є оптимізаційним, котре визначає рівність теплової енергії, котра виділяється в результаті біохімічного процесу і виводиться з інфікованого об'єму. Таке рівняння згідно з теорією реологічних переходів можна описати наступною системою диференціальних рівнянь:

$$\frac{\pi\delta_a F_{A0}}{k_A}\frac{\partial^2 T_P(\vartheta,F_A)}{\partial {F_A}^2}+\frac{\partial T_P(\vartheta,F_A)}{\partial F_A}=-\frac{T_P(\vartheta,F_A)}{F_{A0}}; \quad (9)$$

$$\tau_{2P}^2\frac{\partial^2 q_P(\theta)}{d\theta^2}+\tau_{1P}\frac{\partial q_P(\theta)}{\partial\theta}+q_P(\theta)=0, \quad (10)$$

де $q_{0P}(\theta,F_{A0})$ - кількість теплової енергії, яка передається кровоносній системі здорової людини.

Рівняння (9), яке описує процес перенесення температури від інфекційної ділянки тіла до кровоносної системи, запишемо таким чином

$$\frac{\pi\delta_a F_{A0}^2}{k_A}\frac{\partial^2 T_P(\vartheta,F_A)}{\partial {F_A}^2}+F_{A0}\frac{\partial T_P(\vartheta,F_A)}{\partial F_A}+T_P(\vartheta,F_A)=0, \quad (11)$$

де T_{P0} - температура нагріву ураженої частини організму.

Так як кількість теплової енергії $\partial q(\theta)=c_P\rho F_A\partial T_P(\theta)$, то рівняння (10) можна записати таким чином

$$\tau_{2P}^2\frac{\partial^2 T_P(\theta)}{d\theta^2}+\tau_{1P}\frac{\partial T_P(\theta)}{\partial\theta}+T_P(\theta)=T_{P0}. \quad (12)$$

У рівнянні (11) виконаємо наступне. Так як об'ємна витрата $F_A=V_K/\vartheta$, де V_K - об'єм крові в кровоносній системі, то, диференціюючи це рівняння за часом ϑ перенесення теплової енергії, отримуємо, що $\partial F_A=(V/\vartheta_0)\partial\vartheta$, де ϑ_0 - час кровообміну здорової людини. Враховуючи обумовлене, рівняння (11) приймає наступну форму

$$\tau_{2F}^2\frac{\partial^2 T_P(\vartheta,F_A)}{\partial\vartheta^2}+\tau_{1F}\frac{\partial T_P(\vartheta,F_A)}{\partial\vartheta}+T_P(\vartheta,F_A)=0, \quad (13)$$

де $\tau_{2F}^2=\frac{\pi\delta_a F_{A0}^2\vartheta_0^4}{k_A V_K^2}$; $\tau_{1F}=\frac{F_{A0}\vartheta_0^2}{V_K}$ - сталі часу перенесення теплової енергії кровоносною системою.

Як показує рівняння (13), процес перенесення температури $T_P(\vartheta,F_A)$, яка формується тепловим потоком хворої ділянки тіла, у залежності від об'ємної витрати крові в судинній системі описується градієнтним рівнянням другого порядку. Це свідчить про те, що в результаті зміни витрати крові F_A за рахунок теплопередачі проходить

нагрівання крові, у результаті чого збільшується температура організму. У залежності від зміни цієї витрати температура крові може приймати як аперіодичний, так і коливальний характер. Якщо врахувати, що поточна температура $T_P(\vartheta, F_{A0}) = T_P[(\vartheta_0 \pm \Delta\vartheta), F_{A0}]$, то рішення рівняння (11) може приймати наступні форми:

- аперіодичний характер зміни температури

$$\Delta T_P(\vartheta, F_{A0}) = \Delta T_P(\theta)\left\{\begin{array}{l} 1 - \dfrac{p_1}{p_2 - p_1}\exp\left[-\, p_1 k_X(\vartheta_0 \pm \Delta\vartheta)\right] + \\ + \dfrac{p_2}{p_2 - p_1}\exp\left[-\, p_1 k_X(\vartheta_0 \pm \Delta\vartheta)\right] \end{array}\right\}; \qquad (14)$$

- коливальний характер зміни температури

$$\Delta T_P(\vartheta, F_{A0}) = \Delta T_P(\theta)\left\{\begin{array}{l} 1 - \exp\left[-\, \alpha k_X(\vartheta_0 \pm \Delta\vartheta)\right]\cos\left[\omega k_X(\vartheta_0 \pm \Delta\vartheta)\right] + \\ + \dfrac{\alpha}{\omega}\sin\left[\omega k_X(\vartheta_0 \pm \Delta\vartheta)\right] \end{array}\right\}; \qquad (15)$$

- критичний характер зміни температури

$$\Delta T_P(\vartheta, F_{A0}) = \Delta T_P(\theta)\left\{1 - \frac{k_X(\vartheta_0 \pm \Delta\vartheta)}{\tau_{2F}}\exp\left[-\frac{k_X(\vartheta_0 \pm \Delta\vartheta)}{\tau_{2F}}\right]\right\}, \qquad (16)$$

де $p_{1,2} = -\dfrac{\tau_{1F}}{2\tau_{2F}^2} \pm \sqrt{\left(\dfrac{\tau_{1F}}{2\tau_{2F}^2}\right)^2 - \dfrac{1}{\tau_{2F}^2}}$ - корені характеристичного рівняння;

$\alpha_F = \dfrac{\tau_{1F}}{2\tau_{2F}^2}$ - ступінь загасання;

$\omega_F = \sqrt{\dfrac{1}{\tau_{2F}^2} - \left(\dfrac{\tau_{1F}}{2\tau_{2F}^2}\right)^2}$ - власна частота коливань;

k_X - характерний коефіцієнт типу лихорадки.

Як показують експериментальні дослідження (рис. 1), температурні криві мають коливальний характер. Тому можна вважати, що відношення сталих часу τ_{1P}/τ_{2P} є завжди більше двох., тобто температурний процес є коливальним з більшою або меншою амплітудою T_{P0}. Період коливання зміни температури є практично однаковим і можна

рахувати, що він дорівнює 12 годинам. При наступних початкових умовах: $\theta = 0 \quad T_P(0) = 0$, при $\theta \to \infty \quad T_P(\infty) = T_P(\vartheta, F_{A0})$ рішенням рівняння (12) буде:

$$\Delta T_P(\theta) = T_{P0}\left[1 - \exp(-\alpha_T \theta)\cos(\omega_T \theta)\right], \tag{17}$$

де $\alpha_T = -\tau_{1P} / 2\tau_{2P}^2$ - ступінь загасання амплітуди температурного поля;

$\omega_T = \sqrt{\frac{1}{\tau_{2P}^2} - \left(\frac{\tau_{1P}}{2\tau_{2P}^2}\right)^2}$ - власна частота коливань.

З врахуванням (17) математичні моделі температурних кривих мають вигляд:

1.Для здорового організму при нормальній температурі T_{P0}

$$\Delta T_P(\theta) = T_{P0}\left\{1 - \frac{p_1}{p_2 - p_1}\exp\left[-p_1 k_X \vartheta_0\right] + \frac{p_2}{p_2 - p_1}\exp\left[-p_1 k_X \vartheta_0\right]\right\} * .$$
$$* \exp(-\alpha_T \theta)\cos(\omega_T \theta) \tag{18}$$

2.Для хворої людини з підвищеною температурою тіла і сталою її зміною в часі

$$\Delta T_P(\Delta\vartheta, \theta) = T_{P0}\left\{\begin{array}{l} 1 - \frac{p_1}{p_2 - p_1}\exp\left[-p_1 k_X (\vartheta_0 - \Delta\vartheta)\right] - \\ -\frac{p_2}{p_2 - p_1}\exp\left[-p_1 k_X (\vartheta_0 - \Delta\vartheta)\right] \end{array}\right\} * .$$
$$* \exp(-\alpha_T \theta)\cos(\omega_T \theta) \tag{19}$$

3.Для хворої людини з підвищеною температурою тіла і наростаючим характером її зміни в часі

$$\Delta T_P(\Delta\vartheta, \theta) = T_{P0}\left\{\frac{k_X(\vartheta_0 - \Delta\vartheta)}{\tau_{2F}}\exp\left[-\frac{k_X(\vartheta_0 - \Delta\vartheta)}{\tau_{2F}}\right]\right\} * .$$
$$* \exp(-\alpha_T \theta)\cos(\omega_T \theta) \tag{20}$$

4. Для хворої людини з коливальною наростаючою зміною температури

$$\Delta T_P(\Delta\vartheta,\theta)=T_{P0}\left\{\begin{array}{l}1-\exp\left[-\alpha_F k_X(\vartheta_0-\Delta\vartheta)\right]\cos\left[\omega_F k_X(\vartheta_0\pm\Delta\vartheta)\right]+\\+\dfrac{\alpha_F}{\omega_F}\sin\left[\omega_F k_X(\vartheta_0-\Delta\vartheta)\right]\end{array}\right\}*$$
$$*\exp(-\alpha_T\theta)\cos(\omega_T\theta) \quad (21)$$

5. Для хворої людини з коливальною зміною температури та практично сталою її амплітудою

$$\Delta T_P(\Delta\vartheta,\theta)=T_{P0}\left\{1-\exp\left[-\alpha_F k_X(\vartheta_0-\Delta\vartheta)\right]\cos\left[\omega_F k_X(\vartheta_0-\Delta\vartheta)\right]\right\}*$$
$$*\exp(-\alpha_T\theta)\cos(\omega_T\theta). \quad (22)$$

Тривалість часу ϑ_0 кровообігу для кожної людини є індивідуальним, від якого залежить амплітуда коливання температури особливо хворої людини. У середньому цей час визначається об'ємом крові в організмі та параметрами роботи серця – об'ємом крові $\upsilon_{1i}[мл]$, який виштовхується в аорту за 1 такт і кількістю тактів N_i роботи серця за хвилину. Таким чином, об'ємну витрату крові в $i-$ому організмі можна визначити за формулою: $F_{iK}=0{,}06\upsilon_{1i}N_i\left[м^3/год\right]$. Якщо об'єм крові в $i-$ому організмі дорівнює V_{0i}, то час кровообігу $\vartheta_{0i}=16{,}7V_{0i}/\upsilon_{1i}N_i\left[год\right]$. При підвищенні температури організму швидкість кровообігу збільшується, що приводить до зменшення часу ϑ на величину $\Delta\vartheta$, а відповідно до збільшення швидкості перенесення теплової енергії. Таким чином створюється ефект позитивного зворотного зв'язку, котрий приводить до ще більшої температури тіла, як показано на рис. 1 *б*, *г* і *е*.

Висновки. Розглянуті теоретичні основи процесів теплоперенесення в біологічному організмі при умові, що останнє знаходиться в деякому середовищі з ідеальними теплоізолюючими властивостями. Теплова енергія, яка виділяється в результаті біохімічної реакції в тій чи іншій частині організму, розповсюджується за рахунок реологічних переходів через стінки кровоносних судин до потоку крові та рівномірно розноситься по всьому його об'ємі. При цьому приймалося, що теплова енергія від її джерела (вражена область організму) накопичується в об'ємі кровоносної системи та рівномірно в часі передається мускульній та іншій частині організму. Так як вимірювальний контроль температури здійснюється через значні проміжки часу (приблизно через 12 годин), то приймалося, що її значення на поверхні тіла (у певних її місцях) приблизно дорівнює температурі крові. За аналогією з хімічними процесами біохімічні реакції теж можна характеризувати

енергією біологічної активації E, котра визначається ступенем взаємодії біологічної тканини з подразниками. Добова зміна температури організму здійснюється за косинусною формою незалежно від стану його здоров'я. Амплітуда коливань добової температури для здорового організму практично є сталою і визначається ступенем загасання температурного поля, котрий залежить від таких параметрів організму, як: градієнта зміни теплової енергії від температури $\partial q_P / \partial T_P$, об'ємної витрати F_{A0} крові в кровоносній системі, кількості поточної теплової енергії q_{P0}, котра виділяється в організмі, теплофізичних параметрів крові (як правило, теплоємності та густини), об'єму V_P кровоносної системи. Важливим параметром, який визначає амплітуду $\Delta T_P = T_{PP} - T_{PB}$, де T_{PP}, T_{PB} - ранкова та вечірня температури відповідно, зміни температури є час ϑ_0 кровообігу в організмі. Чим меншим є цей час, тим меншою є різниця між ранішньою та вечірньою температурами такого організму. Величина амплітуди ΔT_P залежить від номінальної температури T_{P0} організму. Чим нижчою є нормальна температура організму, тим меншою буде амплітуда ΔT_P. Збільшення амплітуди зміни температури при нормальному її значенні свідчить про початок захворювання організму (наприклад, інкубаційний період інфекційного захворювання, початок онкологічного чи серцево-судинного захворювання). При захворюванні, котре супроводжується зміною (збільшенням або зменшенням) температури організму відповідно збільшується або зменшується час кровообігу на величину $\Delta\vartheta = \vartheta_0 - \vartheta$, де ϑ - поточний час кровообігу. Якщо $\Delta\vartheta > 0$ збільшується перенесення теплової енергії, в результаті чого відчувається ефект «жари» навіть у тому випадку, коли температура тіла є близькою до нормальної. При $\Delta\vartheta < 0$ відчувається ефект «холоду» навіть у тому випадку, коли температура тіла є значно більшою від нормальної.

Список літератури. **1**. *Ремизов А. Я.* Медицинская и биологическая физика.- М.: «Высшая школа». – 1987. - 638 с. **2**. Препедевтика внутренних болезней /Под ред. *В .Х. Василенко*, *А. Л. Гребенева, Н. Д. Михайловой.* – М.: Медицина, 1974. – 528 с. **3**. *Стенцель Й. І., Злепко С. М., Павлов С. В*. Фізичне та математичне моделювання термодинамічних методів діагностики стану здоров'я людини. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. Міжнародний науково-технічний журнал. №1 (25). – 2013. С. 66-73. **4**. *Хоблер Т.* Теплопередача и теплообмінники. Пер. с польс. – Л.: Госхимиздат, 1961. – 820 с. **5.** *Кутателадзе С. С*. Основы теории теплообмена. – М.: Машгиз, 1962. – 368 с. **6**. *Лыков А. В. и Михайлов Ю. А.* Теория тепло-и массопереноса. – М.: Госэнергоиздат, 1963. – 389 с. **7**. *Де Гроот С., Мазур П.* Неравновесная термодинамика. Пер. С франц. – М.: Мир, 1964, - 456 с. **8**. *Эккерт Э. Р., Дрейк Р. М.* Теория тепло-и массообмена. - М.: Госэнергоиздат, 1962. – 562 с. **9**. *Лыков А. В.* Теория теплопроводности. – М.:

Высш. шк., 1967. – 599 с. **10**. *Мак-Адамс В. Х*. Теплопередача. Пер с англ..- М.: Металлургиздат, 1961. – 669 с. **11**. *Таганов И. Н*. Моделирование процессов массо- и энергопереноса. – Л.: Химия, 1979. - 203 с. **12**. *Стенцель Й. І*. Математичне моделювання технологічних об'єктів керування: Навч. посібник. – К.: ІСДО, 1993. – 328 с. **13**. *Стенцель Й. І.* Математичне моделювання хімічних процесів на основі теорії реологічних переходів. Вісник Східноук.нац університету. Науковий збірник. №5 (111),.Ч.2.- 2007. – С. 91-97. **14**. *Стенцель Й. І., Рябіченко А. В., Петросян Л. І,, Літвінов К. А.* Принцип реологічних переходів при діагностуванні роботи серцевої системи електрокардіологічним методом. Вісник НТУ «ХПІ» Збірник наукових праць. Серія «Енергоенергетика та перетворювальна техніка». №34(1007).- 2013. С. 24-32.

Bibliography (transliterated): 1. Remizov A. Ja. *Medicinskaja i biologicheskaja fizika*.- Moscow.«Vysshaja shkola». – 1987. **2**. *Prepedevtika vnutrennih boleznej* /Pod red. V .H. Vasilenko, A. L. Grebeneva, N. D. Mihajlovoj. – Moscow: Medicina, 1974. **3**. Stencel` J. I., Zlepko S. M. end Pavlov S. V. "Fizy`chne ta matematy`chne modelyuvannya termody`namichny`x metodiv diagnosty`ky` stanu zdorov'ya lyudy`ny`". *Opty`ko-elektronni informacijno-energety`chni texnologiyi. Mizhnarodny`j naukovo-texnichny`j zhurnal*. #1 (25). – 2013. 66-73. Print. **4**. Xobler T. *Teploperedacha y` teploobminny`ky`*. Per. s pol`s. – L.: Gosxy`my`zdat, 1961. **5**. Kutateladze S. S. *Osnovy teorii teploobmena*. – . Moscow: Mashgiz, 1962. **6**. Lykov A. V. i Mihajlov Ju. A. *Teorija teplo-i massoperenosa*. – Moscow.: Gosjenergoizdat, 1963. **7**. De Groot S., Mazur P. *Neravnovesnaja termodinamika*. Per. S franc. – M.: Mir, 1964. **8**. Jekkert Je. R. end Drejk R. M. *Teorija teplo-i massoobmena*. - MG Moscow osjenergoizdat, 1962. **9**. Lykov A. V. *Teorija teploprovodnosti*. – Moscow.: Vyssh. shk., 1967. **10**. Mak-Adams V. H. *Teploperedacha*. Per s angl..- . Moscow: Metallurgizdat, 1961. **11**. Taganov I. N. *Modelirovanie processov masso- i jenergoperenosa*. – L.: Himija, 1979. **12**. Stencel` J. I. *Matematy`chne modelyuvannya texnologichny`x ob'yektiv keruvannya*: Navch. posibny`k. – K.: ISDO, 1993. **13**. Stencel` J. I. "Matematy`chne modelyuvannya ximichny`x procesiv na osnovi teoriyi reologichny`x perexodiv." *Visny`k Sxidnouk.nacz universy`tetu. Naukovy`j zbirny`k*. #5 (111),.Ch.2.- 2007. – 91-97. Print. **14**. Stencel` J. I., Ryabichenko A. V., Petrosyan L. I, end Litvinov K. A. "Pry`ncy`p reologichny`x perexodiv pry` diagnostuvanni roboty` sercevoyi sy`stemy` elektrokardiologichny`m metodom." *Visny`k NTU «XPI» Zbirny`k naukovy`x pracz`. Seriya "Energoenergety`ka ta peretvoryuval`na texnika"*. #34(1007).- 2013. 24-32. Print.

Поступила (received) 30.05.2014