

УДК 616.07 (075.8)

Рябіченко А.В.

Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕРМОДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ЛЮДСЬКОМУ ОРГАНІЗМІ МЕТОДОМ РЕОЛОГІЧНИХ ПЕРЕХОДІВ

Рябіченко А. В. Дослідження термодинамічних процесів у людському організмі методом реологічних переходів. Виконаний аналіз термодинамічних процесів в людському організмі і показана їх складність. Показано, що добові температурні залежності здорової людини змінюються за законами реологічного перенесення теплової енергії і визначаються її віком. Найбільша абсолютна зміна добової температури спостерігається у людей старшого віку, а мінімальна – у дитячому. На основі теорії реологічних перетворень і методу нульового градієнта отримана математична модель термодинамічного процесу здорової людини, яка адекватно описує експериментальні температурні зміни.

Ключові слова: температура, людина, процес, метод, здоров'я, організм, реологія, рівняння, енергія, вік.

Рябиченко А. В. Исследование термодинамических процессов в человеческом организме методом реологических переходов. Выполнен анализ термодинамических процессов в человеческом организме и показана их сложность. Показано, что суточные температурные зависимости здорового человека изменяются по законам реологического переноса тепловой энергии и определяются его возрастом. Наибольшее абсолютное изменение суточной температуры наблюдается у людей старшего возраста, а минимальная – в детском. На основании теории реологических преобразований и метода нулевого градиента получена математическая модель термодинамического процесса здорового человека, которая адекватно описывает экспериментальные температурные изменения.

Ключевые слова: температура, человек, процесс, метод, здоровье, организм, реология, уравнение, энергия, возраст.

Ryabichenko A. The research of thermodynamic processes in the organism of person by the method of rheological transitions. The analysis of thermodynamic processes in the organism of person is fulfilled and shows their complexity. It is shown that the diurnal temperature dependences of a healthy person changing by law of the rheological transfer of thermal energy is determined by its age. The largest absolute change in daily temperature is observed in older people, and the minimum - in the children's. Based on the theory of rheological transformation and the method of zero gradient gets the mathematical model of the thermodynamic process of a healthy person, which adequately describes the experimental temperature changes.

Keywords: temperature, person, process, method, health, organism, rheology, equation, energy, age.

Вступ. Термодинамічні процеси в кожному біологічному організмі, у тому числі й людському, є надзвичайно важливими для діагностування стану їх здоров'я. Прийнято [1], що номінальна середня температура людини рівна 36,6 °С. Для кожної людини номінальна температура тіла є індивідуальною. Як правило, діапазон зміни температур коливається від 36,2 °С до 36,7 °С. Як вказується в науковій літературі [1, 3], номінальна температура тіла людини на протязі доби є нестабільною: вранці вона мінімальна, а ввечері – максимальна. Тому у клінічній практиці, як правило, контролюється температура тіла людини зранку та ввечері. Різниця цих температур для здорової людини є незначною і складає на протязі доби приблизно 1,5 °С. Окрім того, зміна температури в таких же межах може здійснюватися й за рахунок фізичних навантажень, перегріву, вживання алкоголю та калорійних продуктів живлення. Таким чином, для здорової людини амплітуда коливання температури тіла на протязі доби практично є сталою і змінюється в залежності від дії впливових на організм факторів. Основним джерелом теплової енергії кожного біологічного організму є біохімічні процеси, які проходять в шлунково-кишковій системі. Теплова енергія від джерела передається організму як кровоносною так і лімфатичною системою і накопичується в м'язовій, кістковій та інших частинах тіла за рахунок стоку цієї енергії. Такий процес в біологічному організмі відноситься до реологічного, так як має місце рух матеріальних потоків (продукти живлення, вода і кисень), джерело теплової енергії (біохімічний реактор у формі шлунково-кишкової системи) і накопичувач цієї енергії, який складається з кровоносною, лімфатичною, м'язовою, кістковою системи тощо. За рахунок теплової енергії в організмі людини здійснюються масообмінні та енергетичні (теплові) процеси, наприклад перенесення мікроелементів та інших речовин, електричних зарядів для створення електромагнітного поля людини, живлення серцево-судинної системи та системи мозку [3, 4]. Біологічному організму притаманні інші джерела теплової енергії, котрі обумовлені як суцільними, так і локальними запальними захворюваннями. Такі захворювання створюють теплову енергію, котра теж передається кровоносною та лімфатичною системою. Окрім того, при таких захворюваннях досить часто створюються речовини, котрі при взаємодії з кров'ю чи лімфатичною рідиною виділяють теплову енергію, таким чином, ускладнюють процес захворювання. Звідси випливає, що у процесі захворювання організму доцільно контролювати

зміну температури в різних місцях людського організму, особливо там, де передбачається місце захворювання. Особливе значення для діагностики стану здоров'я людини є вивчення термодинамічних змін як здорового, так і хворого організму, характеру термодинамічних процесів при початковому захворюванні, а також частотних характеристик таких процесів, враховуючи те, що частотні зміни можуть визначати характер дії того чи іншого впливового фактора. Таким чином, розробка простих методів діагностування термодинамічного стану людського організму за перехідними процесами зміни температури тіла є важливою науковою задачею.

Мета статті і постановка досліджень. Метою статті є дослідження термодинамічних характеристик здорового людського організму на основі реологічних перетворень теплової енергії та методу нульового градієнта. Розрахунок перехідних процесів складних об'єктів описаний в [5]. Метод заснований на розкладанні нелінійного диференціального рівняння методом нульового градієнта на систему простих лінійних диференціальних рівнянь, як правило, першого та другого порядку, котрі розв'язуються сумісно за відомими аналітичними залежностями.

Якщо основне джерело теплової енергії працює стабільно, то процес її перенесення можна описати наступним рівнянням [6-8]:

$$\frac{\partial E_T(\theta, V)}{\partial \theta} = -aLV_{\Pi} \frac{\partial^2 E_T(\theta, V)}{\partial V^2} - \bar{v}S \frac{\partial E_T(\theta, V)}{\partial V} + \gamma_E(t), \quad (1)$$

де $E_T(\theta, V)$ - кількість теплової енергії, яка передається від джерела в об'єм V за час θ , $a = \lambda / c_p \rho$ - температуропровідність біологічного матеріалу; L - довжина шляху перенесення теплової енергії; V_{Π} - об'єм перебування теплової енергії; \bar{v} - середня швидкість перенесення конвекційної складової теплової енергії; S - площа перенесення; $\gamma_E(t)$ - швидкість стоку теплової енергії за час t .

У першому наближенні приймемо, що перенесення теплової енергії є двоступеневим, тобто від джерела до стінки, а далі від стінки до рідинного потоку (крові та лімфи). Тоді для швидкості стоку теплової енергії $E_{TC}(t)$ маємо:

$$\gamma_E(t) = \tau_{2c}^2 \frac{d^3 E_{TC}(t)}{dt^3} + \tau_{1c} \frac{d^2 E_{TC}(t)}{dt^2} + \frac{dE_{TC}(t)}{dt}, \quad (2)$$

де τ_{1c}, τ_{2c} - сталі часу перенесення теплової енергії за рахунок стоку.

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

$$\begin{aligned} \frac{\partial E_T(\theta, V)}{\partial \theta} + aLV_{\Pi} \frac{\partial^2 E_T(\theta, V)}{\partial V^2} + \bar{v}S \frac{\partial E_T(\theta, V)}{\partial V} = \\ = \tau_{2c}^2 \frac{d^3 E_{TC}(t)}{dt^3} + \tau_{1c} \frac{d^2 E_{TC}(t)}{dt^2} + \frac{dE_{TC}(t)}{dt}. \end{aligned} \quad (3)$$

Рівняння (3) є нелінійним і, як вказується в [9], загального аналітичного рішення не має. Задача полягає у дослідженні термодинамічного стану людського організму у патологічно нормальному (здоровому) стані при дії на нього факторів, котрі призводять до суттєвих температурних змін.

Термодинамічні моделі нормального стану людини. Для аналітичного розв'язку рівняння (3) використаємо метод нульового градієнта [6], згідно з яким це рівняння при відповідних початкових умовах приводиться до системи звичайних диференціальних рівнянь:

$$\frac{\partial E_T(\theta, V)}{\partial \theta} + aLV_{\Pi} \frac{\partial^2 E_T(\theta, V)}{\partial V^2} + \bar{v}S \frac{\partial E_T(\theta, V)}{\partial V} = 0; \quad (4)$$

$$\tau_{2c}^2(\Phi_i) \frac{d^2 E_T(t)}{dt^2} + \tau_{1c}(\Phi_i) \frac{dE_T(t)}{dt} + E_T(t) = E_T(\theta, V). \quad (5)$$

Важливим для діагностики стану здоров'я людини є характер перенесення теплової енергії від джерела до стоку, тобто кровоносної системи. Якщо швидкість перенесення теплової енергії від джерела є сталою (система працює нормально), то позначивши $\partial E_T(\theta, V) / \partial \theta = E_T(\theta, V) / \theta_{\Pi}$ у рівнянні (4), маємо:

$$aLV_{\Pi} \frac{\partial^2 E_T(\theta, V)}{\partial V^2} + \bar{v}S \frac{\partial E_T(\theta, V)}{\partial V} + \frac{E_T(\theta, V)}{\theta_{\Pi}} = 0, \quad (6)$$

де θ_{Π} - час перебування теплової енергії в об'ємі V_{Π} .

Нехай кількість теплової енергії, яка передається до кровоносної системи, дорівнює кількості теплової енергії, котра переноситься судинами. Тоді, позначивши $\partial V = F_K \partial \theta$, де F_K - об'ємна витрата крові, рівняння (6) набуває такого вигляду:

$$\frac{aLV_{\Pi}}{F_K^2} \frac{\partial^2 E_T(\theta, V)}{\partial \theta^2} + \frac{\bar{v}S}{F_K} \frac{\partial E_T(\theta, V)}{\partial \theta} + \frac{1}{\theta_{\Pi}} E_T(\theta, V) = E_{T0}, \quad (7)$$

де E_{T0} - кількість теплової енергії, яка виділяється в результаті біохімічного реакційного процесу.

Позначивши сталі часу $\tau_{2K}^2 = aLV_{\Pi}\theta_{\Pi} / F_K^2$ і $\tau_{1K} = \bar{v}S\theta_{\Pi} / F_K$, рівняння (7) приймає наступну форму лінійного диференціального рівняння другого порядку:

$$\tau_{2K}^2 \frac{\partial^2 E_T(\theta, V)}{\partial \theta^2} + \tau_{1K} \frac{\partial E_T(\theta, V)}{\partial \theta} + E_T(\theta, V) = E_{T0}. \quad (8)$$

Як видно з (8), характер процесу перенесення теплової енергії від джерела до кровоносної системи залежить від сталих часу τ_{1K} і τ_{2K} . Для здорової людини швидкість стоку теплової енергії є практично сталою, тобто $\partial E_T(\theta, V) / \partial \theta = const$. Тоді рівняння (8) приводиться до такої спрощеної форми:

$$\tau_{1K} \frac{\partial E_T(\theta, V)}{\partial \theta} + E_T(\theta, V) = E_{T0}. \quad (9)$$

Рішенням рівняння (9) при відповідних початкових умовах буде:

$$E_T(\theta, V) = E_{T0}(1 - \exp(-t / \tau_{1K})). \quad (10)$$

Стік теплової енергії здорової людини, як правило, є двостадійним аперіодичним, тобто $\tau_{1K} / \tau_{2K} > 2$. У цьому випадку термодинамічний процес описуватиметься таким рівнянням:

$$E_T(t) = E_T(\theta, V) \left[\frac{P_2}{p_2 - p_1} \exp(p_1 t) + \frac{P_1}{p_2 - p_1} \exp(p_2 t) \right], \quad (11)$$

де $p_{1,2} = -\frac{\tau_{1K}}{2\tau_{2K}^2} \pm \sqrt{\left(\frac{\tau_{1K}}{2\tau_{2K}^2}\right)^2 - \frac{1}{\tau_{2K}^2}}$ - корені характеристичного рівняння.

Підставивши рівняння (10) у (11), маємо:

$$E_T(t) = kE_{T0} [1 - \exp(tp_3)]^n \left[\frac{P_2}{p_2 - p_1} \exp(p_1 t) + \frac{P_1}{p_2 - p_1} \exp(p_2 t) \right], \quad (12)$$

де k - коефіцієнт передачі; $p_3 = 1 / \tau_{1K}$; n - показник термодинамічного захисту людини.

На рис. 1,а приведені оброблені методом кореляційного аналізу результати експериментальних спостережень за температурою здорового людського організму з різними

віковими групами: крива 1 – діти від 5 до 8 років; крива 2 – діти від 10 до 16 років; крива 3 – дорослі від 25 до 45 років і крива 4 – дорослі старші 45 років. Визначався приріст температури відносно нормальної $T_H=36,6\text{ }^{\circ}\text{C}$. Отримані результати потребують, звичайно, ще обґрунтованого вивчення, але перші їх висновки говорять про наступне. По-перше, чим менший вік людського організму, тим більший час початкового змищення температурних кривих (наприклад, зранку) (точки a_1-a_4), при котрому починається підвищення температури. При цьому максимальна амплітуда підвищення температури (точки b_1-b_4) з віком людини збільшується і зміщується вліво. Точки c_1-c_4 умовно характеризують температуру в кінці доби. На рис. 1,б приведені такі ж температурні криві, розраховані за формулою (12). Значення коренів p_1 , p_2 і p_3 визначалися методом підбору за максимальними температурами в точках « b_1-b_4 ». Порівнюючи криві рис. 1,а і 1,б, бачимо їх подібність. Це дає підставу стверджувати про можливість описувати термодинамічний стан людського організму математичними залежностями. Викликає зацікавленість наявність показника ступені « n » у рівнянні (12), який назовемо віковим показником термодинамічного режиму людини.

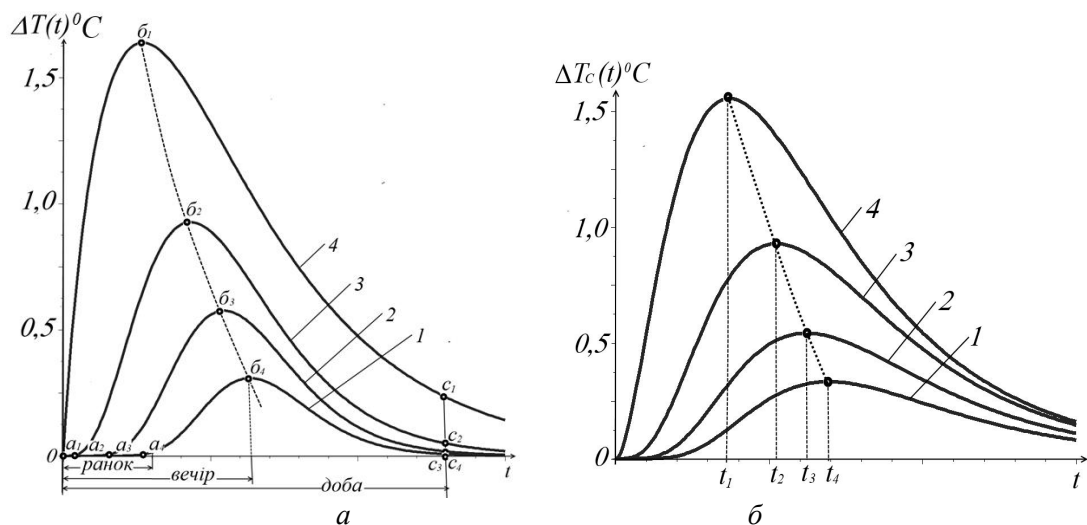


Рис. 1. Термодинамічні криві зміни теплової енергії людини при нормальному стані здоров'я експериментальні (а) і теоретичні (б)

Попередні висновки пов'язують значення цього показника з віком людини. У результаті його визначення встановлено, що для прийнятих при досліджуванні вікових груп показник є близьким до квадратичного. Так, наприклад для людей старшої групи показник $n_4 \approx 2$, середньої $n_3 \approx 4$, підліткової $n_2 \approx 6$ і дитячої - $n_1 \approx 8$, котрі відповідають кривим 1 – 4 на рис. 1,б. Така залежність потребує ще додаткового аналізу та вивчення. Виходячи зі сказаного, можна зробити попереднє припущення: у людському організмі людини закладені багатократні захисні функції, яких найбільше мають діти. З віком частина цих функцій зменшується, а людський організм стає більш вразливим до захворювань під дією різних внутрішніх і зовнішніх факторів. Подальші дослідження полягають у вивченні дії впливових факторів процесу стоку теплової енергії на характер зміни термодинамічних кривих людини.

Висновки. Виконані експериментальні та теоретичні дослідження термодинамічних процесів людського організму та показано, що температура людини на протязі дня зростає нелінійно й у вечірній час досягає максимального значення. Абсолютне збільшення температури залежить від вікового стану людини, який умовно розділений на чотири групи: до першої групи віднесені діти від 5 до 8 років, до другої – (підліткова група) від 10 до 16 років, до третьої – люди середнього віку від 25 до 45 років і 4 група – люди старше 45 років. Показано, що з віком людини її максимальна добова температура може зростати приблизно на $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ від нормальної. Окрім того, настання максимуму цієї температури зміщується вліво. Чим менший вік людини, тим пізніше починає зростати ранкова температура. Показано, що характер зміни температури людського організму у першу чергу визначається процесом перенесення теплової енергії від джерела (шлунково-кишкової системи) до кровоносної системи і визначається, в основному, конвекційною

складовою потоку теплової енергії. Установлено, що для здорової людини швидкість перенесення теплової енергії практично є сталою. Теоретичні дослідження процесу перенесення теплової енергії показали, що її стік залежить від реологічного переходу, який можна описати експоненціальною функцією. Показано, що рівняння реологічного перенесення теплової енергії за формою та характером з достатньою точністю описують експериментальні криві термодинамічного режиму здорової людини, що дозволяє зробити висновок про можливість їх використання для клінічних досліджень з метою діагностики стану її здоров'я. Потрібно відмітити, що виконані дослідження є попередніми, котрі бажано було би продовжити з метою вдосконалення критерію оцінки стану здоров'я людини. Не зовсім вивченим є процес квадратичної зміни процесу перенесення теплової енергії у залежності від віку людини, що приводить до підвищення її температури та зміщення термодинамічної кривої вліво.

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. Автоматизація технологічних процесів хімічних виробництв / Й. І. Стенцель. – К.: ІСДО, 1995. – 360 с.
6. Стенцель Й.І. Математичне моделювання хімічних процесів на основі теорії реологічних переходів / Й. І. Стенцель // Вісник СНУ імені В.Даля. Науковий збірник. – №5 (111). – Ч.2. – 2007. – С. 91-97.
7. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А. В. Лыков. – М.: Высш. шк., 1967. – 599 с.
8. Эккерт Э. Р. Теория тепло-и массообмена / Э. Р. Эккерт, Р. М. Дрейк. - М.: Госэнергоиздат, 1962. – 562 с.
9. Вайнберг А. М. Математическое моделирование процессов переноса. Решение нелинейных краевых задач / А. М. Вайнберг. – Москва-Иерусалим, 2009. – 210 с.