

ДЕЯКІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЖИВОГО ОРГАНІЗМУ ТА МЕРТВОГО ТІЛА З ТОЧКИ ЗОРУ ТЕРМОДИНАМІКИ

Б. В. БОРИСЕВИЧ, доктор ветеринарних наук, професор, кафедри анатомії, гістології і патоморфології тварин ім. акад. В. Г. Касьяненка, <https://orcid.org/0000-0002-0015-6350>

В. В. ЛІСОВА, кандидат ветеринарних наук, доцент, кафедри анатомії, гістології і патоморфології тварин ім. акад. В. Г. Касьяненка, <https://orcid.org/0000-0002-5169-4503>

О. Т. ПОЛАДОВА, аспірантка* кафедри анатомії, гістології і патоморфології тварин ім. акад. В. Г. Касьяненка, <https://orcid.org/0000-0002-5402-3289>

Національний університет біоресурсів і природокористування України
E-mail: bbv60@ukr.net

Анотація. Представлені результати аналізу деяких характеристик живого організму та мертвого тіла з точки зору термодинаміки. Відомо, що від народження живого організму ентропія живого тіла наростає й на момент смерті досягає свого максимуму. Після смерті залишається мертво (фізичне) тіло, яке також характеризується своєю ентропією. Виходячи з цього, загальну ентропію будь-якого живого організму можна представити як суму ентропій живого тіла та фізичного тіла. Оскільки живому тілу притаманні всі ознаки життя, ентропію живого тіла можна назвати ентропією життєвої сутності. Отже, ентропію живого організму можна представити як суму ентропій життєвої сутності та фізичного тіла. Живий організм являє собою термодинамічну систему, побудовану з двох підсистем – життєвої сутності (ЖС) та фізичного тіла (ФТ). Водночас ФТ після смерті живого організму може існувати самостійно без ЖС.

Отже, живий організм із точки зору термодинаміки має дві окремі складові частини – життєву сутність організму та фізичне тіло. Оскільки ентропія характеризує внутрішню енергію системи і з урахуванням того, що принаймні одна зі складових системи ЖС–ФТ може існувати самостійно, то, відповідно до законів термодинаміки, ЖС та ФТ можна також розглядати як окремі термодинамічні системи, кожна з яких може існувати самостійно.

Як і будь-яке фізичне тіло, мертво тіло характеризується певною внутрішньою енергією. Після смерті мертво тіло людини й теплокровних тварин охолоджується до температури оточуючого середовища. Отже, загальну енергію мертвого тіла можна представити як суму зв'язаної енергії

* Науковий керівник – доктор ветеринарних наук, професор Б. В. Борисевич

мертвого тіла, яка залишається в цьому тілі та енергії мертвого тіла, яка віддається в зовнішнє середовище в вигляді тепла.

Ключові слова: *термодинаміка, живий організм, мертве тіло, термодинамічна система, температура, енергія, ентропія*

Актуальність

Мертве тіло не здатне функціонувати як цілісна жива біологічна система. Проте живе та мертве тіло, як і будь-яке матеріальне тіло, являє собою, насамперед, фізичне тіло. Відповідно до цього на живе та мертве тіло поширюються всі закони фізики, насамперед – термодинаміки.

Термодинаміка – це розділ фізики, що вивчає найбільш загальні властивості будь-яких макроскопічних систем і способи передачі й перетворення енергії в таких системах (Bazarov, 2010). У термодинаміці вивчаються стани та процеси, для описання яких вводиться поняття температури. Термодинамічна температура – це абсолютний показник температури. Вона є одним з основних параметрів термодинаміки (Tisza, 1966).

Також одним із фундаментальних понять термодинаміки є термодинамічна система. Термодинамічна система – це тіло (чи сукупність тіл), здатне (здатних) обмінюватися з іншими тілами (чи між собою) енергією та (або) речовиною, які виділяються (реально чи подумки) для вивчення. Термодинамічна система являє собою макроскопічну фізичну систему, яка складається з великої кількості частинок і не потребує для свого опису мікроскопічних характеристик окремих її складових частин (Kvasnicov, 2002).

Процеси, що відбуваються в термодинамічних системах, описуються макроскопічними величинами (тем-

пература, тиск, концентрація компонентів тощо), які вводяться для опису систем, що складаються з великої кількості частинок, і не застосовуються до окремих молекул і атомів (на відміну, наприклад, від величин, що вводяться в механіці чи електродинаміці) (Dirdin et al., 2005).

Аналіз останніх досліджень та публікацій

У сучасній науковій літературі як підрозділи термодинаміки розглядаються біологічна термодинаміка і термодинаміка людини. Біологічна термодинаміка – це кількісне вивчення енергетичних перетворень, що відбуваються в живих організмах, структурах і клітинах, а також природи та функції хімічних процесів, що лежать в основі цих перетворень (Haupie, 2001).

Термодинаміка людини – це наука про енергетичні та ентропічні аспекти процесів людської діяльності. На даний час існує близько трьох десятків різних напрямків цієї термодинаміки (Georgescu-Roegen, 1993). Водночас вивчаються різні аспекти термодинаміки живої людини (Aoki, 1991; Batato, 1990; Voregowda et al., 2016).

У доступній світовій літературі ми не знайшли публікацій, у яких мертве тіло (труп) розглядалося б із точки зору термодинаміки.

Мета дослідження. Оскільки принципи термодинаміки застосовуються для опису та кількісної характеристики будь-яких фізичних тіл, ми

поставили собі за мету описати деякі властивості живого та мертвого тіла як фізичного тіла із застосуванням таких принципів. Водночас із точки зору термодинаміки різниця між мертвим тілом людини та тварини відсутня.

Матеріали і методи дослідження

Оскільки закони фізики описують фізичні характеристики, справедливі для будь-якого конкретного тіла із всієї генеральної сукупності аналогічних тіл, ми провели аналіз живого та мертвого тіла (трупа) як фізичної категорії. Аналіз цих тіл, як фізичних, проведений нами із застосуванням загальноприйнятих у сучасній фізиці законів, постулатів і формул термодинаміки (Glagolev and Morosov, 2007).

Результати дослідження та їх обговорення

Живе та мертво тіло, як і будь-яке фізичне тіло, мають певну внутрішню енергію. Частина внутрішньої енергії, яка не може бути конвертована в роботу, в термодинаміці називають ентропією (Glagolev and Morosov, 2007). Відомо, що від народження живого організму його ентропія наростає й на момент смерті досягає свого максимуму (Аоки, 1991). Таку ентропію можна позначити як ентропію живого тіла $S_{\text{ЖТ}}$. Проте після смерті залишається мертво (фізичне) тіло, яке також характеризується певним рівнем ентропії, яку на час настання смерті (без урахування наступного трупного охолодження) можна позначити як ентропію мертвого (фізичного) тіла $S_{\text{ФТ}}$.

Таким чином, загальну ентропію будь-якого живого організму ($S_{\text{ЖО}}$) можна представити в вигляді:

$$S_{\text{ЖО}} = S_{\text{ЖТ}} + S_{\text{ФТ}}, \quad (1)$$

Оскільки живому тілу притаманні всі ознаки життя, ентропію живого тіла можна назвати ентропією життєвої сутності ($S_{\text{ЖС}}$). Відповідно до цього:

$$S_{\text{ЖТ}} = S_{\text{ЖС}}, \quad (2)$$

З урахуванням рівняння (2), рівняння (1) можна представити в вигляді:

$$S_{\text{ЖО}} = S_{\text{ЖС}} + S_{\text{ФТ}}, \quad (3)$$

Виходячи з цього, живий організм являє собою термодинамічну систему, побудовану з двох підсистем – життєвої сутності (ЖС) та фізичного тіла (ФТ). При цьому ФТ після смерті живого організму може існувати самостійно без ЖС. Така система (живий організм = ЖС + ФТ) є невірноваженою, оскільки в стані рівноваги в термодинамічній системі відсутні потоки енергії та матерії, рухаючі сили та зміни наявних фаз (Bazarov, 2010; Tisza, 1966).

З рівняння (3) випливає, що живий організм з точки зору термодинаміки має дві окремі складові частини – життєву сутність організму та фізичне тіло. Оскільки ентропія характеризує внутрішню енергію системи і з урахуванням того, що принаймні одна із складових системи ЖС–ФТ може існувати самостійно, то відповідно до законів термодинаміки ЖС та ФТ можна також розглядати як окремі термодинамічні системи, кожна з яких теоретично може існувати самостійно – це не протирічить жодному із законів і постулатів термодинаміки.

Мертве (фізичне) тіло являє собою гетерогенну термодинамічну систему, оскільки складається з багатьох частин (органів, тканин, клітин і міжклітинної речовини, часто відокремлених одна від одної) з різними фізичними властивостями (Kvasnicov, 2002).

Як і будь-яке фізичне тіло, мертво тіло характеризується певною

енергією. Ця енергія включає в себе теплову енергію (кінетична енергія руху мікроскопічних частинок), потенційну енергію маси спокою фізичного тіла, хімічну енергію (потенційна енергія хімічних зв'язків), енергію іонізації (потенційна енергія, яка утримує електрони в їх атомах і молекулах) і ядерну енергію (потенційна енергія, яка утримує нуклеони в атомних ядрах) (Хауніе, 2001). Всі ці види енергії у своїй сукупності представляють внутрішню енергію мертвого тіла (U_{MT}). Сучасні методи дослідження не дозволяють точно встановити величину такої енергії. Проте після настання смерті мертве тіло має певну термодинамічну температуру. У людини й теплокровних тварин ця температура зазвичай вища, ніж температура оточуючого середовища. Згідно з постулатом Клаузіуса теплота не може самостійно переходити від менш нагрітого тіла до більш нагрітого (Kvasnicov, 2002). Відповідно до цього мертве тіло людини й теплокровних тварин охолоджується до температури оточуючого середовища (відбувається вирівнювання температур мертвого тіла та оточуючого середовища).

Отже, загальну енергію мертвого тіла (E_{MT}) можна представити в вигляді:

$$U_{MT} = U_{MT3} + U_{MT3C}, \quad (4)$$

де U_{MT3} – зв'язана енергія мертвого тіла, яка залишається в цьому тілі (внутрішня енергія);

U_{MT3C} – енергія мертвого тіла, яка віддається в зовнішнє середовище в вигляді тепла.

Тобто, після настання смерті мертве тіло виконує певну роботу щодо передачі тепла в оточуюче середовище, проте, частина енергії мертвого тіла залишається в цьому тілі й не

конвертується в таку роботу. З цієї точки зору U_{MT3} являє собою ентропію мертвого тіла після його охолодження (S_{OMT}):

$$U_{ФМТЗ} = S_{OMT}, \quad (5)$$

З урахуванням цього, формула (4) може бути представлена в наступному вигляді:

$$U_{MT} = S_{OMT} + U_{ТВЗС}, \quad (6)$$

Висновки і перспективи. Живий організм із точки зору термодинаміки складається з двох термодинамічних систем – життєвої сутності організму та фізичного тіла. Відповідно до законів термодинаміки кожна з цих систем може існувати самостійно.

Загальна енергія мертвого тіла являє собою суму зв'язаної енергії мертвого тіла, яка залишається в цьому тілі, та енергії мертвого тіла, яка віддається в зовнішнє середовище у вигляді тепла.

Зв'язана енергія мертвого тіла являє собою ентропію охолодженого мертвого тіла.

Наступними етапами дослідження є встановлення термодинамічних показників мертвого тіла, пов'язаних з його охолодженням після смерті.

References

- Bazarov, I. P. (2010). *Termodinamyca*. Sankt-Petersburg-Moscow-Krasnodar: Lan, 384.
- Glagolev, K. V., Morosov, A. N. (2007). *Fisicheskaya termodinamyca*. Moscow: MNTU im. Baumana Press, 270.
- Dirdin, V. V., Malshin, A. A., Yanina, T. I., Yolkin, I. S. (2005). *Termodinamyca*. Kemerovo: KuzGTU Press, 148.
- Kvasnicov, I. A. (2002). *Termodinamyca i statisticheskaya fizika. Teoriya ravnovesnyh system*. Tom 1. Moscow: URSS, 240.
- Aoki, I. (1991). Entropy principle for human development, growth and aging *J. Theor. Biol.*, 150(2): 215–223.

- Batato, M. (1990). Energetics of the human body [Article in french]. Schweiz Z. Sportmed., 38(3): 133–141.
- Biological thermodynamics. https://en.wikipedia.org/wiki/Biological_thermodynamics.
- Boregowda, S., Handy, R., Sleeth, D., Merryweather, A. (2016). Measuring entropy change in a human physiological system. Journal of Thermodynamics, 123(2): 147–155.
- Georgescu-Roegen, N. (1993). Thermodynamics and we, the humans / In: Entropy and bioeconomics: Proceedings of the first International Conference of the E.A.B.S. – Milan, 184–01.
- Haynie, D. (2001). Biological Thermodynamics. Cambridge: Cambridge University Press, 864.
- Human thermodynamics (online course). <https://Udemy.com>.
- Tisza, L. (1966). Generalized Thermodynamics. Cambridge (Massachusetts) – London: The M.I.T. Press, 384.
-

Borisevich, B. V., Lisova, V. V., Poladova, O. T. (2019). SOME CHARACTERISTICS OF A LIVING ORGANISM AND A DEAD BODY IN TERMS OF THERMODYNAMICS.

Ukrainian Journal of Veterinary Sciences, 10(4): 144–148, <https://doi.org/10.31548/ujvs2019.04.019>

Abstract. Presented results of the analysis of some characteristics of a living organism and a dead body in terms of thermodynamics. It is known that from the birth of a living organism entropy of the living body increases and at the moment of death reaches its maximum. After death remains a dead (physical) body, which is also characterized by its entropy. Based on this, the total entropy of any living organism can be represented as the sum of the entropies of a living body and a physical body. Since the living body is inherent in all signs of life, entropy of the living body can be called “entropy of the vital essence”. Thus, entropy of a living organism can be represented as the sum of the entropies of the vital essence and physical body. On this basis, the living organism is a thermodynamic system, built of two subsystems – the vital entity (VE) and the physical body (FB). In this case, FB after the death of a living organism can exist independently without the VE. Thus, in terms of thermodynamics, a living organism has two separate components – the vital essence of the organism and the physical body. Since entropy characterizes the internal energy of the system and given that at least one of the components of the VE-FB system can exist independently, according to the laws of thermodynamics, the VE and FB can also be considered as separate thermodynamic systems, each of which can exist independently. Like any physical body, a dead body is characterized by a certain internal energy. After death, the dead body of human and warm-blooded animals is cooled to ambient temperature. Thus, the total energy of the dead body can be represented as the sum of the associated energy of the dead body that remains in that body and the energy of the dead body that is released into the environment in the form of heat.

Keywords: thermodynamics, living organism, dead body, thermodynamic system, temperature, energy, entropy

Подано до друку 6 вересня 2019 року