

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ЭВОЛЮЦИИ ЖИВЫХ ОРГАНИЗМОВ

Кузнецов В. Г., Яковлев С. В.

*Северо-Кавказский государственный технический университет,
Ставрополь, Россия*

Бруснев Л. А.

*Ставропольская государственная медицинская академия,
Ставрополь, Россия*

Известно рассмотрение необратимого процесса, происходящего в адиабатически замкнутой системе, возникающего при соприкосновении частей системы, имеющих различные температуры ($T_1 > T_2$), при этом выражение для производства энтропии имеет вид [1,2]:

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \frac{\partial E}{\partial t} \quad (1)$$

Также исследован процесс возрастания энтропии в твердом теле, в котором имеется градиент температур [3].

По определению изменение удельной энтропии равно

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{\partial S}{\partial E} \frac{\partial E}{\partial t} \quad (2)$$

Используя для рассмотрения указанного процесса закон сохранения энергии в дифференциальной форме, имеющий вид уравнения неразрывности, было получено следующее выражение для производства энтропии [3]

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \int_V \left(\overset{\mathbf{r}}{W} \text{grad} \left(\frac{1}{T} \right) \right) \partial V \quad (3)$$

где $\overset{\mathbf{r}}{W}$ вектор плотности потока энергии.

Выражение

$$\Theta = \overset{\mathbf{r}}{W} \text{grad} \left(\frac{1}{T} \right) = \frac{I}{T^2} (\text{grad} T)^2 \quad (4)$$

– источник искомого приращения энтропии в единице объема в единицу времени.

В настоящей работе рассмотрено производство энтропии в адиабатически замкнутой системе, в которой наряду с градиентом температуры существуют внутренние источники тепла с производительностью q (Вт/м³).

Изменение удельной энтропии по-прежнему характеризуется выражением (2), а закон сохранения энергии в дифференциальной форме имеет вид уравнения теплопроводности [4]

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \nabla^2 T + \frac{q}{c \cdot r}, \quad (5)$$

которое можно преобразовать к виду

$$\frac{\partial E}{\partial t} = l \operatorname{div}(\operatorname{grad} T) + q \quad (6)$$

где $l = a \cdot c \cdot r$ – коэффициент теплопроводности.

Учитывая что $\frac{\partial S}{\partial E} = \frac{1}{T}$, сравнивая (3) и (6), получаем

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \frac{l}{T} \operatorname{div}(\operatorname{grad} T) + \frac{q}{T} \quad (7)$$

Воспользуемся тождеством

$$\operatorname{div}\left(\frac{\operatorname{grad} T}{T}\right) = \frac{1}{T} \operatorname{div}(\operatorname{grad} T) + \operatorname{grad}\left(\frac{1}{T}\right) \cdot \operatorname{grad} T \quad (8)$$

или

$$\operatorname{div}\left(\frac{\operatorname{grad} T}{T}\right) = \frac{1}{T} \operatorname{div}(\operatorname{grad} T) - \frac{1}{T^2} (\operatorname{grad} T)^2 \quad (9)$$

Сравнивая (9) и (7), получаем

$$\frac{\partial S}{\partial t} = l \operatorname{div}\left(\frac{\operatorname{grad} T}{T}\right) + \frac{l}{T^2} (\operatorname{grad} T)^2 + \frac{q}{T} \quad (10)$$

Проинтегрируем (10) по всему объему замкнутой системы

$$\int_V \frac{\partial S}{\partial t} \partial V = \int_V l \operatorname{div}\left(\frac{\operatorname{grad} T}{T}\right) \partial V + \int_V \frac{l}{T^2} (\operatorname{grad} T)^2 \partial V \quad (11)$$

Согласно условиям решаемой задачи и по теореме Гаусса-Остроградского получим

$$\int_V \operatorname{div} \left(\frac{\operatorname{grad} T}{T} \right) \partial V = \oint_S \frac{\operatorname{grad} T}{T} \partial S = 0 \quad (12)$$

Итак, имеем

$$\int_V \frac{\partial S}{\partial t} \partial V = \int_V \frac{I}{T^2} (\operatorname{grad} T)^2 \partial V + \int_V \frac{q}{T} \partial V \quad (13)$$

Сравнивая выражения (3) и (4), отмечаем, что первый интеграл в правой части выражения (13) определяет приращение энтропии, связанное с наличием градиента температур, а второй интеграл в правой части выражения (13) определяет производство энтропии, связанное с производством тепла внутренними источниками.

В дифференциальной форме производство энтропии имеет следующий вид

$$\frac{\partial s}{\partial t} = \frac{I}{T^2} (\operatorname{grad} T)^2 + \frac{q}{T} \quad (14)$$

В линейной области выражение для производства энтропии определяется выражением [3]

$$\frac{\partial s}{\partial t} = \sum_{j=1}^n X_j J_j \quad (15)$$

где $J_j = \frac{\partial Q}{\partial t}$ – термодинамические потоки,

$X_j = \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right)_j$ – термодинамические силы.

С учетом (1), (15) выражение (14) может быть записано в виде:

$$\frac{\partial s}{\partial t} = \frac{1}{T_2} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{1}{T_1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) C \frac{\partial T_1}{\partial t} \quad (16)$$

где T_1 – температура внутреннего источника тепла,

T_2 – температура среды,

$T_1 - T_2 = \partial T \ll T_1$,

$$\left(\frac{1}{T_1 - \partial T} - \frac{1}{T_1} \right) \approx \frac{\partial T}{T_1^2} = \frac{1}{T_1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right),$$

C – удельная теплоемкость.

Как следует из (16), при $\frac{\partial T_1}{\partial t}; \frac{\partial T_2}{\partial t} \rightarrow 0$ временное изменение производства энтропии запишется в виде:

$$\frac{\partial^2 S}{\partial t^2} = \frac{1}{T_2} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} + \frac{1}{T_1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) C \frac{\partial^2 T_1}{\partial t^2}. \quad (17)$$

Очевидное соотношение, определяющее выделение тепла внутренними источниками $\frac{\partial Q}{\partial t} = C \frac{\partial T_1}{\partial t}$ запишется в виде:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = C \frac{\partial (T_1 + T_2 - T_3)}{\partial t}, \quad (18)$$

после преобразования получаем

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = C \left[e^{\frac{T_2}{T_1}} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \frac{\partial T_1}{\partial t} + \frac{T_2}{T_1} \frac{\partial T_2}{\partial t} \right]. \quad (19)$$

Отток тепла от внутреннего источника можно записать также в виде:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial \mathcal{Q}_0}{\partial t} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \quad (20)$$

где \mathcal{Q}_0 – удельная теплопродукция при $\frac{T_2}{T_1} \rightarrow 0$.

Исходя из представлений равновесной термодинамики о сохранении баланса тепла, которое выполняется при $\frac{\partial T_1}{\partial t}; \frac{\partial T_2}{\partial t} \rightarrow 0$, можно записать

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = \frac{\mathcal{Q}_0}{C} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) > 0, \quad (21)$$

что в свою очередь приводит к получению условия устойчивости термодинамической системы

$$\frac{\partial^2 T_1}{\partial t^2} = \frac{1}{C} \left[\left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \frac{\partial \mathcal{Q}_0}{\partial t} - \mathcal{Q}_0 \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \right] < 0. \quad (22)$$

При этом, как показано в [5], выражение (22) преобразовывается к виду

$$\frac{\partial^2 T_1}{\partial t^2} = \frac{n}{mC} \left[\frac{\partial a}{\partial t} (T_1 - T_2) - a \frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \right] < 0, \quad (23)$$

где $a = \frac{m\mathcal{G}_0}{nT_1}$ – коэффициент теплоотдачи, m – масса ограниченная поверхностью системы, n – поверхность системы.

Как указано в работе [7] производство энтропии в живом организме в состоянии покоя близком к слаборавновесному характеризуется выражением

$$\frac{\partial S}{\partial t} = \left(\frac{1}{T_2} - \frac{1}{T_1} \right) \frac{\partial Q}{\partial t}, \quad \frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} \leq 0, \quad (24)$$

где T_1 и T_2 – температура живого организма и внешней среды, соответственно,

$\frac{\partial Q}{\partial t}$ – величина полной теплопродукции живого организма.

При этом $\frac{\partial T_1}{\partial t}; \frac{\partial T_2}{\partial t} \rightarrow 0$, а производство энтропии в живом организме равно продукции энтропии во внешнюю среду.

Одновременно заметим, что при $T_1 - T_2 = \partial T \ll T_1$, что соответствует условиям обитания живых организмов, выражение (24) может быть записано в виде

$$\frac{\partial S}{\partial t} \approx \frac{1}{T_1} \left(1 - \frac{T_2}{T_1} \right) \frac{\partial Q}{\partial t}, \quad (25)$$

позволяющее заключить, что производство энтропии живых организмов в состоянии покоя достигается путем диссипации тепла при температуре тела живого организма T_1 .

С другой стороны, величина изменения теплопродукции может быть записана в виде [5,6]

$$\frac{\partial^2 Q}{\partial t^2} = \left(\frac{\partial a}{\partial t} \Pi + \frac{\partial \Pi}{\partial t} a \right) (T_1 - T_2) \leq 0 \quad (26)$$

где a – коэффициент теплоотдачи живого организма к внешней среде,

Π – поверхность тела живого организма.

В работе [7] доказано, что величина $a(t)$ есть убывающая функция времени, т. е. $\frac{\partial a}{\partial t} < 0$. Из выражения (26) следует, что возможно сохранение величины $\frac{\partial Q}{\partial t} \geq 0$. Тогда

$$-\frac{\partial a}{\partial t} \Pi \geq \frac{\partial \Pi}{\partial t} a > 0, \quad (27)$$

что существенно для живого организма при сохранении состояния покоя не равного равновесному, из которого живой организм уже не может удалиться.

Таким образом, из выражений (24-27) следует, что возможно длительное существование в состоянии покоя, при этом $\frac{\partial T_1}{\partial t}; \frac{\partial T_2}{\partial t} \rightarrow 0$, т. е. достигается состояние температурного гомеостаза и гомеостатирования среды обитания.

В филогенезе живых организмов величина Π ограничена предельной массой (M) тела живого организма, т. к. известно, что отношение $\frac{M}{\Pi}$ есть величина постоянная, например, для гомойотермных организмов [5,6], что в конечном счете приводит к нарушению функций органов живого организма и его вырождению.

Однако из вышеуказанного следует, что если отношение $\frac{M}{\Pi} = const$ выполняется, или, например, значительному увеличению Π соответствует незначительное увеличение M , длительность развития с сохранением практически постоянно удельной теплопродукции может быть значительной.

В живом организме есть орган, для которого возможно выполнение данного условия – это мозг живого организма, значительному изменению поверхности которого соответствует значительно меньшее, чем для других органов тела, увеличение массы.

Этот путь эволюционного развития и использовали живые организмы, но больше всех преуспел человек, который смог в дополнение к температурному гомеостазу создать условия гомеостатирования внешней

среды (жилища, одежда, применение огня), что в состоянии покоя привело к формированию мозга, позволяющего вести рассудочную деятельность.

Вышеизложенное составляет сущность термодинамических принципов эволюции живых организмов.

Выводы

Сущность необходимых термодинамических принципов эволюции живых организмов заключается в том, что, как доказано в статье, величина коэффициента теплоотдачи живого организма в филогенезе и онтогенезе является убывающей функцией времени в состоянии покоя, при постоянных температурах тела и внешней среды и для поддержания неизменной полной теплопродукции необходимо увеличение поверхности тела живого организма, что определяет удаление живого организма от состояния покоя.

При невыполнении в отдельном органе живого организма – мозге, известной в физиологии зависимости массы всего живого организма от его поверхности, например для гомойотермных организмов, возникает увеличение массы и поверхности мозга, позволяющее живым организмам, при достижении гомеостатирования внешней среды, эволюционизировать путем формирования мозга не снижая удельной теплопродукции, что подтверждается эволюцией гомойотермных организмов.

Если формирование мозга отсутствует, то, при достижении гомеостатирования внешней среды, эволюция живых организмов приводит к увеличению поверхности тела живых организмов и, соответственно, к пропорциональному увеличению их массы, при этом происходит снижение удельной теплопродукции, что подтверждается гибелью гиперфауны.

Выживание наиболее приспособленных живых организмов при воспроизводимых условиях внешней среды не связано с достижением ими состояния покоя и с изменением удельной теплопродукции в филогенезе, что подтверждается конкуренцией биоценозов и составляет сущность идиоадаптации.

Полученные результаты позволяют выполнить термодинамическое обоснование пунктуализма эволюционного процесса, известного как ароморфоз Северцева, т. е. показать, что пунктуализм изменений связан с периодическим достижением гомеостатирования среды обитания живых организмов, при этом прогрессивные изменения в живом организме, возникают как результат противодействия состоянию покоя при гомеостатировании среды обитания.

Необходимо отметить, что человек достиг состояния температурного гомеостаза и гомеостатирования среды обитания в состоянии покоя, что привело к прогрессивному увеличению его размеров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Левич, В. Г. Введение в статистическую физику / В. Г. Левич. – М.: Гостехиздат, 1954. – С. 141.
2. Волькенштейн, М. В. Биофизика / М. В. Волькенштейн. – М.: Наука, 1988. – С. 16-19, 307-308, 566-573.
3. Ансельм, А. И. Основы статистической физики и термодинамики / А. И. Ансельм. – М.: Наука, 1973. – С. 355-357.
4. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М.: Энергия, 1969. – С. 15-18, 27-28.
5. Шмидт-Ниельсон, К. Размеры животных: почему они так важны / К. Шмидт-Ниельсон. – М.: Мир, 1987. – 259 с.
6. Проссер, Л. Сравнительная физиология животных: Пер. с англ. / Л. Проссер, Ф. Браун. – М.: Мир, 1967. – С. 11-123.
7. Кузнецов, В. Г. Производство энтропии в адиабатической замкнутой системе с градиентом температуры и производством тепла и применение этих условий к термодинамической модели живых организмов / В. Г. Кузнецов // Биофизика. – 2003. – Т. 48. – Вып. 3. – С. 572-573.