

УДК 541.61.614+612.82

ВНУТРЕННЕЕ ВРЕМЯ САМООРГАНИЗУЮЩИХСЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ*И.Г. Герасимов**Донецкий национальный технический университет, г. Донецк*

Обсуждается возможность описания внутреннего времени биологических систем оператором. Для обоснования выдвинутого положения привлекаются экспериментальные литературные и собственные данные о динамике в возрастном аспекте массы тела человека и энтропии его организма, оцененной по показателям сердечно-сосудистой системы. Показано, что предлагаемый оператор внутреннего времени может быть использован для адекватного описания и прогнозирования поведения живых систем, характеризующихся колебательным поведением их термодинамических параметров.

Ключевые слова: внутреннее время, физическое время, энтропия, биологические системы.

Введение. Время – одна из основополагающих физических величин, характеризующая функционирование систем. В самоорганизующихся системах, к которым относятся живые системы, течение времени определяется иными закономерностями по сравнению с системами неживыми, не способными к самоорганизации. В последних (к ним относится и физический мир, где функционируют живые системы) время, безусловно, только возрастает, тогда как в отношении живых систем возможность разнонаправленного течения времени (возрастание, убывание) дискутируется (далее из самоорганизующихся систем будем обсуждать только живые системы, или биологические системы). В связи с этим в отношении живых и не эволюционирующих системах, или, например, в живых системах и окружающем их физическом мире изменение времени может оказаться существенно различным. Такое положение возможно, в первую очередь, потому, что живые системы в отличие от неживых активно препятствуют возрастанию собственной энтропии, задающей, по определению [1], «стрелу времени». Стрела времени – направленность изменения времени, причем более старому состоянию соответствует состояние с более высокой энтропией. Следовательно, энтропия системы, как и время в физическом мире, в процессе эволюции системы может только возрастать, если не происходят какие-то специальные события. Самоорганизующиеся неживые системы могут понижать собственную энтропию, но об их направленной активности в этом отношении говорить не приходится. В физическом мире, частью которого являются живые системы, энтропия, также исключительно возрастает, а система (мир), соответственно, стареет. Чтобы различить время в живых системах и в окружающем мире, во втором случае говорят о физическом времени, тогда как к первым может быть применимо понятие биологического, или внутреннего, времени [1 – 5], характеризующее эволюции таких систем безотносительно ко времени физическому.

Однако, судя по датам публикаций, по крайней мере, в базе данных «Medline», в последнее десятилетие интерес к проблеме внутреннего времени, как минимум, среди ученых биологических специальностей практически сошел на нет.

Тем не менее, проблема внутреннего времени в живых системах не решена и была отложена, вероятно, по причине отсутствия принципиально новых подходов к ее, если не разрешению, то хотя бы развитию, и последние публикации по этому вопросу посвящены, либо общим рассуждениям, либо повторениям устоявшихся положений (топтанье на месте).

В настоящей работе, надеясь продвинуться вперед, мы возобновили попытку приблизиться к описанию внутреннего времени с позиций онтологика [6], привлекая положения термодинамики неравновесных процессов и основываясь на полученных нами закономерностях относительно изменения энтропии и массы тела человека в динамике биологического возраста [7].

Время и энтропия. Согласно некоторым выводам, следующим из теории термодинамики неравновесных процессов, помимо «обычного» физического времени, нумерующего в классической (и квантовой) механике непрерывные последовательности точек на траектории движения (или волновые функции), любая эволюционирующая система характеризуется внутренним временем [1]. В данном случае под эволюцией (функционированием) следует понимать какое-либо (безразлично какое именно) изменение термодинамического состояния системы, которая находится в динамическом устойчивом (пусть и локальном) неравновесии. Таким образом, внутреннее время является принадлежностью любой функционирующей системы, безотносительно того, относится ли она к живым или неживым, и в общем случае может не совпадать с физическим временем, опережая его или отставая от него. В случае живых (биологических) систем знание внутреннего времени приобретает особую актуальность, поскольку внутренним

временем определяется ее (биологической системы) биологический возраст, который весьма важен для оценки перспектив, связанных с жизнью и смертью индивида или даже вида и более высоких таксономических единиц. При этом важно, что второе начало термодинамики, постулирующее рост энтропии в открытых системах (а биологические системы, безусловно, являются открытыми), справедливо только для систем, для которых обращение (обратное течение) времени приводит к состояниям, являющимся запрещенными по термодинамическим соображениям, то есть, попросту говоря, в таких системах время исключительно возрастает. Однако далеко не во всех динамических системах обращение времени, то есть возвращение к прошлому, невозможно, но подавляющее большинство систем имеют возможность самопроизвольно эволюционировать только в будущее, или иначе – исключительно стареть. Более того, обратное течение времени, омоложение системы, оказывается возможным лишь при создании специальных условий, связанных с затратами энергии, необходимой на обращение времени. Разумеется, в таком случае, энтропия в системе становится убывающей функцией физического времени, однако это оказывается возможным за счет возрастания энтропии в окружающей систему среде и в целом в системе внешняя среда – эволюционирующая система. По сути, обращение времени – это переход системы в состояние, характеризующееся в точности значениями параметров, которые были в прошлом, что не исключает наличия таких же состояний в будущем. При этом если в последнем случае энтропия системы во времени возрастает относительно предыдущих состояний, то в первом – убывает.

В общем, направленностью изменения энтропии определяется направленность изменения возраста системы: в стареющих системах энтропия увеличивается, тогда, как в противном случае она уменьшается. Именно по таким причинам говорят, что энтропия задает «стрелу времени». В случае омоложения система эволюционирует через состояния с убывающей энтропией, что можно и следует рассматривать как обратное течение, или обращение, времени. Напомним, что здесь речь идет о внутреннем (применительно к биологическим системам – биологическом) времени, поскольку физическое (внешнее) время, как и ранее (до момента обращения внутреннего времени) и таким же образом продолжает неуклонно линейно бесконечно возрастать.

В отличие от физического времени, которое представляет собой монотонно и линейно возрастающую последовательность отсчетов, внутреннее время оказывается последовательностью отсчетов, приводящих к его возрастанию, или убыванию, или оставляющих его не изменяющимся. При этом изменение внутреннего времени может происходить монотонно или немонотонно, когда оно претерпевает более или менее резкий скачек, продолжительность которого существенно меньше жизни системы, и в этом случае направление течения времени может изменяться. Внутреннее время однозначно связано с физическим временем, то есть каждому значению внутреннего времени соответствует единственное значение физического времени, включая момент времени или время, когда или в течение которого происходит скачек внутреннего времени. В связи с последним, обратное не верно: каждому значению физического времени может соответствовать как одно, так и более одного значения внутреннего времени (например, два в момент скачка, если он происходит мгновенно, или более о чем далее). Собственно скачек внутреннего времени, в том случае, когда оно уменьшается, является обращением времени, а момент начала скачка или момент мгновенного скачка – моментом обращения времени.

Существуют физические системы, посредством которых можно моделировать неоднократное обращение времени. В таких системах по достижении какого-то одного и того же значения внутреннего времени происходит скачек и обращение времени. Затем направление течения в системе внутреннего и физического времени, разумеется, совпадают, а их значения возрастают до нового достижения внутренним временем определенного значения, соответствующего скачку и обращению времени, и т. д. Иными словами, эти системы функционируют циклически, как например, цикл трикарбоновых кислот или жизненные циклы некоторых насекомых. Подобные системы, являясь открытыми, требуют для достаточно продолжительного функционирования притока извне вещества и/или энергии, как скажем, системы подобные тем, в которых протекает реакция Л.В.Белоусова–А.М.Жаботинского [7, 8].

В системах с множеством скачков и обращений времени практически одно и то же по величине значение (не путать с последовательностью отсчетов, то есть с каждым значением) внутреннего времени может соотноситься с множеством значений физического времени. Это множество конечно (имеет предел), в том же смысле, в котором наложен энергетический (энтропийный) запрет на создание вечного двигателя второго рода. Именно по такой причине, собственно реализация обращения времени возможна лишь в открытой системе, на которую термодинамический (энтропийный) запрет не распространяется, и поэтому подходить обращение времени теоретически может быть бесчисленное множество. Вот только рассчитать подходящее количество и определить качество вещества и, соответственно, количество и форму энергии, а также их потоки, для создания такой обновляющейся (омолаживающейся) «вечно» системы пока не представляется возможным хотя бы теоретически.

Тем не менее, системы с обращением времени могут существовать и существуют, по меньшей мере, в случае биологических система [9]. Омоложение стареющего организма не представляется чем-то

маловероятным. При этом омоложении не обязательно должен предшествовать скачок (в указанном смысле) времени, и такой процесс может реализоваться более-менее плавно, когда при его протекании течение внутреннего времени замедляется относительно физического. В частности, организм, восстанавливающийся после перенесенного заболевания, вполне можно рассматривать как систему с замедленным относительно физического времени течением внутреннего времени. При этом после обращения времени энтропия организма уменьшается, тогда, как с развитием заболевания она резко увеличивается. Что же касается омоложения стареющего организма, то перспективы его омоложения также вполне реальны и определяются, например, естественной возрастной динамикой массы тела, которую рассмотрим на примере человека (рисунок). Данные о массе тела женщин (и мужчин), приведенные на рисунке, взяты из работы [10] и обсуждаются с другой точки зрения в работе [6].

Возрастная динамика массы тела человека. Экспериментальные данные. Обсудим взаимосвязь между физическим временем и внутренним временем. Начнем с описания экспериментальных данных зависимости массы тела человека от возраста, затем оценим возрастные изменения энтропии и, наконец, перейдем к соответствующей динамике внутреннего времени. На рис. 1 приведена зависимость массы тела женщин (кривая 1), схема зависимостей энтропии (кривая 2) и внутреннего времени (кривая 3) от возраста человека. Нижние индексы при внутреннем времени (t) означают: m – локальный максимум, p – локальный минимум; верхний индекс «0» соответствует внутреннему времени, начиная с которого возможно его обращение, остальные верхние индексы соответствуют моментам (' – первому и '' – второму) обращения времени в связи с изменением массы тела человека. Стрелки на кривой 3 указывают направленность изменения внутреннего времени; стрелки под кривой 3 (штриховые линии) – направленность изменения внутреннего времени после его обращения. Штриховыми горизонтальными линиями показано соответствие внутреннего времени и физического времени, штриховыми вертикальными линиями – соответствие внутреннего времени и энтропии в моменты обращения времени

Собственно говоря, возраст (так называемый «паспортный возраст») полностью совпадает со временем в физическом смысле последнего. Единственное (но не принципиальное) различие между ними заключается в том, что физическое время в общепринятой системе единиц (СИ) измеряется в секундах, а возраст человека, как правило, в годах (число лет). Впрочем, шкала измерения времени, естественно не отражается на характере изменения зависимых от него показателей, в том числе, конечно, и массы тела.

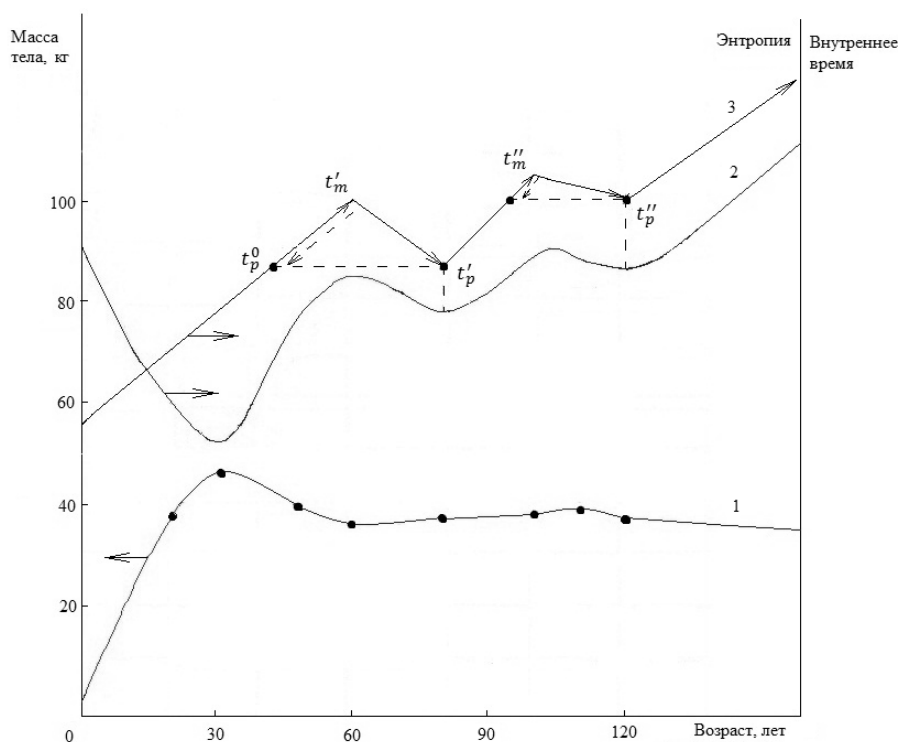


Рис. 1

Как видно из рис. 1 и как можно показать, используя соответствующую регрессионную модель, масса тела человека (M) изменяется с возрастом (t) по следующему уравнению, описывающему затухающий колебательный процесс:

$$M = M_{\infty} [e^{-\tau t} \cos(\omega t + \varphi) + 1], \quad (1)$$

где M_∞ – значение величины M при $t \rightarrow \infty$, τ – инкремент затухания, ω – частота, φ – фаза.

Таблица 1
Константы уравнения (1)

Величина	Мужчины	Женщины
M_∞ , кг	63,4	57,2
T , лет	42,6	38,1
ω , рад./лет	0,0736	0,0824
τ , лет ⁻¹	0,0518	0,0579
φ , рад.	3,18	3,10

Численные значения констант уравнений (1) для массы тела мужчин и женщин приведены в табл. 1.

После дифференцирования уравнения (1) легко найти экстремумы функции:

$$t_{extr} = (1/\omega)[\text{arctg}(-\tau\omega) - \varphi] \pm nT. \quad (2)$$

Здесь $n = 0, 1, 2, \dots, k$ – номер экстремума, T – период, лет.

Может быть, для человека наиболее существенно то, что, как видно из таблицы, колебания массы тела человека совершаются с периодичностью примерно равной 40

лет, начиная практически с момента рождения. Кроме того, важно, что масса – величина термодинамическая, на основании чего допустимо и логично обсуждать ее изменения с позиций термодинамики.

Возрастная динамика энтропии и внутреннего времени. Теория и эксперимент. Схема изменения энтропии, динамика которой рассчитана по показателям сердечно-сосудистой системы [11], приведенная на рисунке (кривая 2), указывает на то, что в течение жизни человек проходит чередующиеся периоды старения (увеличение энтропии) и омоложения (уменьшение) энтропии. Исключение составляет возраст до примерно 30 лет, когда уменьшение энтропии определяется ростом и развитием (самоорганизацией) организма [12]. Соответственно, в этот период внутреннее время (схематично показано ломаной линией на рисунке, кривая 3) возрастает, после чего его колебания совпадают с динамикой энтропии. Первый локальный максимум энтропии соответствует первому локальному минимуму массы тела, второй локальный максимум энтропии – первому локальному максимуму массы тела и т. д., а минимумы энтропии приходится на точки перегиба кривой масса тела – возраст (физическое время).

Таким образом, изменение энтропии, начиная с определенного возраста человека, может быть поставлено в соответствие с изменением массы тела. Тогда уравнение для расчета локальных экстремумов энтропии, очевидно следующее из (2), выглядит следующим образом:

$$t_{extr} = (2/\omega)[\text{arctg}(-2\tau\omega) - \varphi] \pm nT/2, \quad (3)$$

где n – целое число, значения которого изменяются, начиная от единицы.

В том случае, когда в системе не происходит никаких пертурбаций, например скачков внутреннего времени, его динамика, несомненно, также имеет колебательный характер (на рисунке аппроксимировано отрезками ломаной, кривая 3), причем начало колебаний приходится или на момент рождения, или даже на момент оплодотворения яйцеклетки. Динамика внутреннего времени, начиная с первого локального максимума, в точности следует за динамикой энтропии, то есть, очевидно, что величина внутреннего времени определяется величиной энтропии и равна ей с точностью до константы.

Траектория движения внутреннего времени исходит из особой точки (неустойчивый фокус), значение в которой не равно нулю (в момент рождения внутреннее время, очевидно, ненулевое), и вблизи которой система находится до тех пор, пока ее энтропия не достигнет первого локального максимума. Фазовый портрет внутреннего времени (зависимость его второй производной по времени от первой производной) имеет вид расходящейся спирали с тремя витками. Два витка этой спирали соответствуют двум периодам изменения внутреннего времени с минимумами примерно в 70 и 120 лет физического времени. Начиная с третьего витка спирали, отображающей фазовый портрет, значения внутреннего времени отдаляются от особой точки более существенно, чем на первых двух, поскольку значения энтропии и, соответственно, внутреннего времени в период, предшествующий гибели организма (после примерно 120 лет для человека), увеличиваются более значительно по сравнению с предшествующим возрастом. Резкое увеличение энтропии указывает на перерегулирование в функционирующей системе, что является компенсаторной реакцией на возникающее в системе рассогласование элементов, а собственно возрастание энтропии ведет к ее физической гибели (смерти) [6]. Гибели организма, предшествует увеличение его внутреннего времени до какого-то предельного значения, величина которого, как и величина энтропии живого организма, конечна, и в случае человека, судя по всему, определяется возрастом, равным примерно 150 лет, после чего следует неминуемая смерть индивида, по крайней мере, вида *homo sapiens*. Попутно заметим, что в связи с таким положением все рассуждения о возможном продлении жизни человека свыше 150 лет лишены физического (и биологического) смысла.

Определим внутреннее время как оператор T^* (физическое время, как и ранее, – t). В соответствие оператору T^* можно поставить оператор энтропии (S^* или H^* , по терминологии [1]). Упрощая (не очень существенно), запишем очевидное равенство:

$$T^* = \pm k t - T, \quad (4)$$

где k – скорость изменения внутреннего времени в зависимости от физического времени, T – константа, имеющая размерность времени, причем знак минус перед ней указывает на то, что в отсутствие патоло-

гии внутренне время не может опережать физическое, и $T = 0$, когда $T^* \equiv t$ ($k = 1$), то есть, когда внутренне время совпадает с физическим временем. Уравнение (4) выполняется, начиная от глобального максимума массы тела (примерно 30 лет для человека, рисунок, кривая 1), причем знак при k зависит от направления изменения энтропии: $k > 0$ при увеличении энтропии, и $k < 0$ в противном k случае (в экстремумах $k = 0$, $T^* \equiv T$). Замедленному развитию или замедленному старению соответствуют значения $k < |1|$ ($T = 0$), а ускоренному развитию или старения – $k > |1|$ ($T = 0$).

Упомянутое упрощение заключается в том, что зависимость $T^*(t)$, строго говоря, не линейна, поскольку с ее приближением к экстремумам, скорость изменения внутреннего времени уменьшается до нуля. Для более точного описания взаимосвязи между физическим и внутренним временем следует использовать плавную функцию, например, параболическую. Тем не менее, в широком диапазоне t , в том числе не очень далеко от экстремумов, линейная аппроксимация зависимости внутреннего времени от физического времени – вполне допустимое приближение. Во всяком случае, отклонение от линейности не влияет на общие закономерности и не требует корректировки положений, вытекающих из обсуждения предложенной модели и в первом приближении для не очень тонких (но и не очень грубых) оценок внутреннего времени в первом приближении можно использовать уравнение (4).

Опуская в уравнении (4) константу T , которая может быть элементом оператора, раскроем смысл оператора времени:

$$T^* = \begin{cases} k_m t, & t < t_m \\ t_m^{\square}, & t_m \rightarrow t_p^{\square}, t = t_m^{\square} \\ -k_p t, & t_m^{\square} < t < t_p^{\square} \end{cases} \quad (5)$$

где $t_m - t$ в локальном максимуме, $t_p - t$ в локальном минимуме или минимальное t (физическое время) до значения которого возможно обращение внутреннего времени (t_p^0), то есть $t_p^0 > 0$; верхние индексы при t_p^{\square} и t_m^{\square} ([\square], [\square], ... [\square]) указывают на то, что значения соответствующих локальным экстремумам времен не единственные; очевидно, что в момент обращения времени $k_m = k_p = 1$.

Численные значения t_m^{\square} и t_p^{\square} (t_{extr}) определяются уравнением (3). При этом (см. уравнение (3)) для t_m значения $n = 4q - 2$, что приводит к нечетным экстремумам, а для $t_p - n = 4q - k$ четным ($q = 1, 2, \dots$). Величина t_p^0 не определяется оператором (5), однако, численно $t_p^0 = t_p$, и, согласно наложенному ограничению ($t_p^0 > 0$), величина t_p^0 отлична от нуля. Момент обращения времени соответствует условию $t_m \rightarrow t_p$. При этом оператор внутреннего времени T^* явным образом связан с оператором энтропии S^* (или H^*), и эти операторы численно равны между собой с точностью до констант, определяющих, в частности, размерность каждого из них. Существенно, что величина s – конечна, то есть при $t_m^{\square} > t_m^s$ ($s \gg 1$) обращение времени не может быть реализовано ни при каких обстоятельствах, и, более того, оператор T^* утрачивает физический смысл. Очевидно, в случае организма человека это условие имеет место при $t \approx 150$ лет.

В результате обращения времени система переходит в состояние, в котором она находилась в предшествующий период физического времени, то есть происходит ее омоложение. Строго говоря, омоложение системы не обязательно должно быть связано с ее нахождением в экстремальных точках. Однако локальные экстремумы близки к точкам бифуркаций, если не совпадают с ними. В точках бифуркации система стоит перед альтернативным выбором дальнейшей траектории движения. В частности, для человека областям локальных экстремумов энтропии соответствует увеличение вероятности смерти (точки перегиба на кривой логарифма интенсивности смертности [13]). По таким причинам, омоложение наиболее вероятно в точках локальных минимумов энтропии и внутреннего времени, что и показано на рисунке. Таким образом, описание внутреннего времени оператором (5) согласуется, по крайней мере, с экспериментальными данными о динамике массы тела и энтропии, оцененной по показателям сердечно-сосудистой системы человека. Нужно думать, что динамика внутреннего времени других организмов, термодинамика поведения которых в возрастном аспекте имеет колебательный характер, подчиняется выявленным в результате проведенного анализа закономерностям. Обратим вместе с тем внимание на то, что все приведенные рассуждения справедливы лишь по завершении роста и развития системы (для человека в возрасте примерно 30 лет), то есть возможность обращения времени в растущих и развивающихся системах оказывается под сомнением. Пожалуй, в таком положении нет ничего экстраординарного: обратное течение внутреннего времени в случае растущих и развивающихся организмов следует рассматривать не как омоложение, а как деградацию или, по крайней мере, как замедление нормального развития и роста (явление, безусловно, отрицательное).

Заключение. В отличие от физического времени, не существует каких-либо термодинамических запретов на обращение (обратное течение) внутреннего времени открытых термодинамических систем, каковыми являются, в частности, биологические, живые системы, в том числе, организм человека. Напротив, имеется достаточно экспериментальных наблюдений и данных, указывающих на возможность

омоложения или хотя бы замедленного старения живых организмов, не исключая человека. На возможность обращение внутреннего времени налагаются лишь некоторые ограничения, обусловленные общими физическими законами.

Динамика внутреннего времени системы определяется динамикой ее термодинамических параметров, в первую очередь, динамикой энтропии. Собственно внутреннее время системы (как и энтропия) может быть представлено оператором, определяющим его поведение в экстремумах (точках бифуркаций) и между ними. Такое представление внутреннего времени позволяет не только описать поведение системы и оценить ее возраст, но открывает новые перспективы в плане реализации замедления старения, то есть омоложения организма, предостерегая вместе с тем, в частности, от необоснованных попыток неограниченного продления жизни индивидуума, например, человека.

В общем, синтез физических и биологических представлений, основанный на положениях онтологии [5, 6], позволяет получить новые представления о функционировании живых систем в возрастном аспекте (рост и развитие, старение и гибель, а также замедление старения и омоложение). Вместе с тем, выявленные в работе закономерности, далеко не исчерпывают поведение биологических систем в обсуждаемом аспекте, поскольку предлагаемый подход представляет лишь одну из первых попыток описания внутреннего времени функционирующих живых систем с позиций теории термодинамики неравновесных процессов, широко используемой в онтологике – логике функционирования живых систем, базирующейся на общефизических закономерностях.

РЕЗЮМЕ

Обговорюється можливість описання внутрішнього часу біологічних систем оператором. Для обґрунтування висунутого положення притягуються експериментальні літературні та власні дані про динаміку у віковому аспекті маси тіла людини та ентропії його організму, яка оцінена за показниками серцево-судинної системи. Показано, що оператор внутрішнього часу, який запропоновано, може бути використований для адекватного описання та прогнозування функціонування живих систем, що характеризуються коливальною поведінкою їх термодинамічних параметрів.

Ключові слова: внутрішній час, фізичний час, ентропія, біологічні системи.

SUMMARY

Is discussed possibility description intrinsic time of biological systems by operator. For motivation introduced position are have up in age aspect experimental literary and own data about masses of body man and entropy its organism, evaluated on factor of cardiovascular system. It shown that proposed operator of intrinsic time can be used for identical description and forecasting of purpose the live systems which describe oscillatory behavior their thermodynamic parameter.

Keywords: intrinsic time, physical time, entropy, operator, biological systems.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пригожин И. От существующего к возникающему / И. Пригожин. – М.: Наука, 1985.– 328 с.
2. Canaple L. The days and nights of cancer cells / L. Canaple, T. Kakizawa, V. Laudet // Cancer. Res. – 2003. – Vol. 63, No 22. – P. 7545–7552.
3. Gunji Y. Pigment color patterns of molluscs as an autonomous process generated by asynchronous automata / Y. Gunji // Biosystems. – 1990. – Vol. 23, No 4. – P. 317–334.
4. Gunther B. Duality in physiological time: Euclidean and fractal / B. Gunther, E. Morgado // Biol. Res. – 1996. – Vol. 29, No 3. – P. 305–311.
5. Schroots J. J. The nature of time: implications for research on aging / J.J. Schroots, J.E. Birren // Compr. Gerontol. C. – 1988. – Vol. 2, No 1. – P. 1–29.
6. Герасимов И. Г. Основные проблемы онтологии на этапе ее становления / И. Г. Герасимов // Вісн. Донецького нац. ун-ту. Сер. А. Природничі науки. – 2011. – № 1. – С. 136–140.
7. Герасимов И. Регулирование в биологических системах: неравновесная термодинамика и ионно-электронные поля / И. Герасимов. – Saarbrücken: LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co.KG, 2011. – 310 с.
8. Белоусов Л.В. Математическая биология развития / Л.В. Белоусов. – М.: Наука, 1982. – С. 102–111.
9. Жаботинский А.М. Колебательные процессы в биологических и химических системах. Т. 2 / А.М. Жаботинский, А.Н. Заикин. – Пущинский научный центр, 1971. – С. 279–283.
10. Герасимов И.Г. Векторизация времени в биологических системах / И.Г. Герасимов // Вестн. новых мед. технологий. – 2001. – Т. 8, № 2. – С. 95–97.
11. Власов Ю. А. Кровообращение и газообмен чело века: справочное руководство / Ю.А. Власов, Г.Н. Окунева. – Новосибирск, 1992. – 319 с.
12. Герасимов И. Г. Использование энтропийных характеристик для оценки биологического возраста и функционального состояния организма / И.Г. Герасимов // Пробл. старения и долголетия. – 1996. – Т. 6, № 1-2. – С. 32–35.
13. Климонтович Ю.Л. Уменьшение энтропии в процессе самоорганизации. S-теорема (на примере перехода через порог генерации) / Ю.Л. Климонтович // Письма в журн. теор. физики. – 1983. – Т. 8. – С. 1412.
14. Гаврилов Л. А. Биология продолжительности жизни / Л. А. Гаврилов, Н.С. Гаврилова. – М.: Наука, 1991. – 280 с.

Поступила в редакцию 10.09.2013 г.