

ТЕХНОГЕННА БЕЗПЕКА

УДК 536.4:61

doi: 10.31498/2225-6733.39.2019.201079

© Волошин В.С.¹, Азархов А.Ю.²**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ТЕРМОДИНАМИКИ ОРГАНИЗМА
ЧЕЛОВЕКА С ПОЗИЦИЙ ОТХОДООБРАЗОВАНИЯ В СОПОСТАВЛЕНИИ
С ИСКУССТВЕННЫМИ ТЕХНОЛОГИЯМИ**

В работе исследованы особенности функционирования человеческого организма с позиций его термодинамики. Составлена условная кибернетическая модель метаболизма для человеческого организма, отражающая главные пути поступления и расходования энергии. Рассчитан примерный материальный и энергетический баланс организма человека в метафизических терминах. Представлены сопоставительные характеристики человека и некоторых технических систем как отходообразующих по соизмеримым показателям функций сродства α_n и отторжения γ_n . Дана оценка корреляции термодинамических показателей наиболее древних технологий: производства сыра, вина, хлеба, то есть первых по настоящему искусственных пищевых технологий в сравнении с термодинамикой продуцирования самого человеческого организма, по крайней мере, в отношении таких показателей, как функции сродства и отторжения. Показано, что все тепловые процессы, происходящие в организме человека, являются термодинамически устойчивыми и явно неравновесными, что свидетельствует о его высокой термодинамической эффективности в отношении отходов жизнедеятельности, а состояние термодинамического равновесия или близкое к нему связано только с угнетением этой системы или ее гибелью. Представлено условие термодинамической неравновесности в биологической системе в терминах функций сродства и отторжения как для отходообразующей системы в терминах теории графов. Показано, что организм в условиях такого баланса параметров исходного сырья (пищи) с некоторой периодичностью превращает его в аминокислоты, углекислый газ, воду и др., тем самым самостоятельно препятствует достижению мгновенного термодинамического равновесия. Энтропия человеческого организма зависит от эффективности его работы, направленной на поддержание своих функций (РАМ) и на выполнение внешней работы (РАЛ), и зависит от условий протекания как метаболизма, так и катаболизма. В работе представлено решение задачи условий термодинамического двуединства для организма человека по аналогии и в сопоставлении с искусственными технологиями. По диаграммам функций $\sigma[S] = f(\lambda, J_{x,x})$ и $\Delta E = \varphi(\lambda, J_{x,x})$ выполнен сопоставительный анализ, подтвердивший существование условий для термодинамической неравновесности и термодинамического двуединства метаболических процессов в организме человека. Рассчитаны условия термодинамической устойчивости для организма человека в состоянии покоя, для работ средней тяжести, для физически тяжелых работ. Показано, что такие данные совпадают с диаграммами термодинамической устойчивости, построенными для воды, водных растворов, различных агрегатных состояний воды, принимая во внимание, что организм человека на 80% состоит именно из этой жидкости.

Ключевые слова: организм человека, вода, тепловая работа, тепловой баланс, продукты жизнедеятельности, термодинамика неравновесных состояний, термодинамическое двуединство, искусственные технологии.

¹ д-р техн. наук, профессор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

² д-р мед. наук, профессор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

Волошин В.С., Азархов О.Ю. Порівняльний аналіз термодинаміки організму людини з позицій відходоутворення в зіставленні зі штучними технологіями. В роботі досліджені особливості функціонування людського організму з позицій його термодинамізму. Складено умовну кібернетичну модель метаболізму для людського організму, що відображає головні шляхи надходження і витрачання енергії. Розрахований приблизний матеріальний і енергетичний баланс організму людини в метафізичних термінах. Представлені порівняльні характеристики людини і деяких технічних систем як відходоутворювальних по порівнянним показникам функцій спорідненості α_n і відторгнення γ_n . Дана оцінка кореляції термодинамічних показників найбільш древніх технологій: виробництва сиру, вина, хліба, тобто перших по справжньому штучних харчових технологій в порівнянні з термодинамікою продукування самого людського організму, принаймні, в відношенні таких показників, як функції спорідненості і відторгнення. Показано, що всі теплові процеси, що відбуваються в організмі людини є термодинамічно стійкими і явно нерівноважними, що свідчить про його високу термодинамічну ефективність щодо відходів життєдіяльності, а стан термодинамічної рівноваги або близький до нього пов'язаний тільки з пригніченням цієї системи або її загибеллю. Представлено умову термодинамічної нерівноважності в біологічній системі в термінах функцій спорідненості і відторгнення як для відходоутворювальної системи в термінах теорії графів. Показано, що організм в умовах такого балансу параметрів вихідної сировини (їжі) з певною періодичністю перетворює його в амінокислоти, вуглекислий газ, воду та ін., тим самим самостійно перешкоджає досягненню миттєвої термодинамічної рівноваги. Ентропія людського організму залежить від ефективності його роботи, спрямованої на підтримку своїх функцій (РАМ) і на виконання зовнішньої роботи (РАЛ), і залежить від умов протікання як метаболізму, так і катаболізму. У роботі представлено рішення задачі умов термодинамічної двоєдності для організму людини за аналогією і в зіставленні з штучними технологіями. За діаграмами функцій $\sigma[S] = f(\lambda, J_{x,x})$ і $\Delta E = \varphi(\lambda, J_{x,x})$ виконаний порівняльний аналіз, який підтвердив існування умов для термодинамічної нерівноваги і термодинамічної двоєдності метаболічних процесів в організмі людини. Розраховані умови термодинамічної стійкості для організму людини в стані спокою, для робіт середньої тяжкості, для фізично важких робіт. Показано, що такі дані збігаються з діаграмами термодинамічної стійкості, що побудовані для води, водних розчинів, різних агрегатних станів води, беручи до уваги, що організм людини на 80% складається саме з цієї рідини.

Ключові слова: організм людини, вода, тепла робота, тепловий баланс, продукти життєдіяльності, термодинаміка нерівноважних станів, термодинамічна двоєдність, штучні технології.

V.S. Voloshin, O.Yu. Azarkhov. Comparative analysis of thermodynamics of a human organism from the standpoint of waste formation as compared to artificial technologies. The paper studies the features of the functioning of the human body from the standpoint of its thermodynamism. A conditional cybernetic model of the human body metabolism has been compiled, it reflecting the main routes of energy input and expenditure. The approximate material and energy balance of the human body in metaphysical terms has been calculated. Comparative characteristics of a human being and some technical systems are presented as waste-forming in terms of comparable indicators of affinity functions α_n and rejection functions γ_n . The correlation between the thermodynamic parameters of the most ancient technologies, such as production of cheese, wine, bread, that is, the first truly artificial food technologies in comparison with the thermodynamics of the production of the human body itself, has been estimated, at least in relation to such indicators as affinity and rejection functions. It has been shown that all thermal processes occurring in the human body are thermodynamically stable and clearly nonequilibrium, which indicates its high thermodynamic efficiency in relation to waste products, and the state of thermodynamic equilibrium or close to it only results from either the inhibition of

this system or its death. The condition of thermodynamic nonequilibrium in a biological system has been presented in terms of affinity and rejection functions, as for a waste generating system in terms of graph theory. It has been shown that the body, in conditions of such a balance of the parameters of the feedstock (food), with a certain frequency, turns it into amino acids, carbon dioxide, water, etc., thereby independently preventing the achievement of instant thermodynamic equilibrium. The entropy of the human body depends on the efficiency of its work aimed at maintaining its functions (PAM) and on the performance of external work (PAL) and depends on the conditions of the course of both metabolism and catabolism. The paper presents a solution to the problem of conditions of thermodynamic dualism for the human body, by analogy and in comparison with artificial technologies. Using the function diagrams $\sigma[S] = f(\lambda, J_{x,x})$ and $\Delta E = \varphi(\lambda, J_{x,x})$, a comparative analysis has been carried out, confirming the existence of conditions for thermodynamic nonequilibrium and thermodynamic bi-unity of metabolic processes in the human body. The conditions of thermodynamic stability have been calculated for the human body at rest, for moderate work, for physically hard work. It has been shown that such data coincide with the diagrams of thermodynamic stability plotted for water, aqueous solutions, various states of aggregation of water, in view of the fact that 80% of the human body consists of this fluid.

Keywords: human body, water, thermal work, heat balance, waste products, thermodynamics of nonequilibrium states, thermodynamic dual unity, artificial technologies.

Постановка проблеми. Человеческий организм с позиций термодинамики представляет собой эффективно действующую тепловую систему. Она предназначена для переработки некоторого биологического сырья – пищи – при помощи кислорода воздуха и воды в энергию движения мышц для последующего поддержания деятельности организма и совершения внешней полезной работы самого различного назначения. Система имеет свои отходы в виде газов, водного раствора определенного качества и твердых продуктов биологического распада, выводимых из организма. В основе функционирования такой системы лежат процессы *метаболизма*, т. е. превращения веществ в энергию их окислением, которые находятся в основе жизнедеятельности организма человека [1]. Человек создал для своего же блага огромное количество искусственных технологий, которые в термодинамическом плане не являются совершенными, приводят к появлению отходов, в равной мере, это относится и к человеческому организму. Сопоставление термодинамики, собственно, человеческого организма и искусственных технологий может дать хотя бы оценочный ответ о путях и возможностях развития нашего индустриализованного мира.

Анализ последних исследований и публикаций. В рамках этого краткого исследования не ставится цель тщательного и подробного описания всей физиоэнергетики человека. Это большие и сложные исследования в совершенно другой области знаний [1-4], более точные, чем предложенные здесь. Тем не менее, оценочный анализ усредненных данных физиоэнергетических исследований человека может дать сравнительную информацию о его термодинамической эффективности.

Цель работы – выполнить сопоставительный анализ термодинамической эффективности биологической системы, а именно, человеческого организма и искусственных технологий, созданных тем же человеком, и определить некоторый идеальный конечный результат для искусственных термодинамических систем.

Изложение основного материала. С точки зрения кибернетики человек как термодинамическая машина на входе имеет поступления сырья в виде белка, жиров и углеводов, воды, кислорода, азота в количестве, необходимом для поддержания жизнедеятельности (табл. 1). Энергия жизнедеятельности включает, в частности, энергию экзотермических реакций окисления, которая расходуется на поддержание функционирования собственно организма, накопления резервного жира и для выполнения внешней работы (умственной, физической, различной степени тяжести).

В качестве отходов в такой системе выступают продукты биологического распада в виде мочи и кала, газов, количество которых относительно невысоко. Не будут тщательно рассмот-

рены другие отходы, например, выделения из организма воды через кожу с потом или пары воды с выдыхаемым воздухом. Также не будут рассмотрены обратные катаболическим процессы анаболизма, то есть эндотермического превращения воды и диоксида углерода, азота и др. в органику при помощи энергии солнца.

Таблица 1

Примерный материальный баланс организма человека в метафизических терминах*

№ п/п	Материальный приход			Материальный отход		
	Наименование	Ед. изм.	Кол-во	Наименование	Ед. изм.	Кол-во
1	Белок	г/сут	100-200	сухой остаток кала	г/сут	45-70
2	Углеводы	г/сут	365-575	сухой остат. мочи	г/сут	8-15
3	Жиры	г/сут	100-150			
4	Воздух	м ³ /сут	14,0	O ₂	м ³ /сут	0-1,54
				CO ₂	м ³ /сут	0,42-7,56
				H ₂	м ³ /сут	0-0,55
				N	м ³ /сут	6,5-12,8
				CH ₄	м ³ /сут	0-7,8
	ИТОГО (сухой):	г/сут	565-925	ИТОГО (сухой):	г/сут	53-85
5	Вода всех видов	г/сут	1000-2000	Вода всех видов	г/сут	750-1590
	ВСЕГО:	г/сут	1565-2850	ВСЕГО:	г/сут	813-1775

* – данные усредненные, не учитывают материальные выделения через кожу и легкие.

Эффективность усвоения человеческим организмом вещественной части поглощаемого сырья, в данном случае, пищи, по данным табл. 1, $\eta = 1 - (53 \div 85) / (565 \div 925) = 0,85 \div 0,94$ достаточно высока, что свидетельствует о высокой энергетической эффективности механизмов метаболизма.

Рассмотрим, как изменяется функция сродства α_n и функция отторжения γ_n [5] для такой системы, как человеческий организм (табл. 2), и сравним эти данные с работой других технических систем, составляющих основу современной производительной деятельности человека. Здесь: P_k – компонент производственной базы системы; R_i – компонент базы отходов системы; C_j – компонент сырьевой базы системы. Подобные сопоставления носят несколько механистический характер, но для темы данной работы они вполне информативны и позволяют провести сравнительный анализ возможностей искусственных технологий.

Таблица 2

Сопоставление человека и технических систем как отходообразующих по показателям функций сродства α_n и отторжения γ_n

n(1,1,14)	Наименование «технологии»	$\alpha_n = \sum_{k=1}^K P_k / \sum_{j=1}^J C_j$	$\gamma_n = \sum_{i=1}^I R_i / \sum_{j=1}^J C_j$
1	Метаболизм биологической системы (человек): - по твердым компонентам сырья; -с учетом жидкой и газообразной составляющих	0,89	0,093
		0,56	0,33-0,49
2	Технология производства хлеба: - по твердым компонентам сырья; -с учетом жидкой и газообразной составляющих	0,78	0,205
		0,55	0,43-0,45

Продолжение таблицы 2

3	Технология сыроварения: - по твердым компонентам сырья; -с учетом жидкой и газообразной составляющих	0,85 0,54	0,11-0,14 0,41-0,445
4	Технология виноделия	0,83	0,15
5	3D-печать материальных объектов (без технологий подготовки сырья)	0,94	0,06
6	Технология производства чугуна: - по твердым компонентам сырья; -с учетом жидкой и газообразной составляющих.	0,38 0,27	0,61 0,72
7	Технология механической обработки металла (металлообрабатывающие станки)	0,54	0,46
8	Технология прокатно-штамповочная	0,69	0,31
9	Технологии строительства зданий	0,59	0,40
10	Технологии дорожных работ	0,67	0,31
11	Нанотехнологии	0,68-0,95	0,05-0,32
12	Технологии водоподготовки	0,715	0,294
13	Технологии переработки твердых бытовых отходов	0,616	0,395
14	Технологии производства упаковки и одноразовых предметов	0,645	0,320

Следует обратить внимание на близость таких древних технологий, как производство сыра, вина, хлеба, то есть первых по настоящему искусственных пищевых технологий в сравнении с продуцированием человеческого организма, по крайней мере, в отношении таких показателей, как *функции сродства и отторжения*. И там, и здесь эти показатели находятся в узких и очень близких пределах – $0,78 \div 0,89$ и $0,093 \div 0,14$, соответственно. По-видимому, объяснения здесь могут быть самыми очевидными (близкими к ним могут быть лишь значения этих функций для технологии 3D-печатания – $0,94$ и $0,05$, соответственно), но только без учета отходов при подготовке исходного сырья.

Рассмотрим условную схему функционирования человеческого организма как тепловой машины (рис. 1). Примем к рассмотрению только катаболические (экзотермические) процессы, при которых происходит основной распад, расщепление сложных органических соединений до более простых аминокислот, глюкозы, сахаров, углекислого газа, воды и др. и выделение энергии экзотермических реакций ($E_{экз}$).

Все эти процессы являются термодинамически неустойчивыми и, что для нас особенно важно, явно неравновесными [6, 7]. Этот факт может свидетельствовать о высокой эффективности организма человека в отношении отходов его жизнедеятельности. Состояние, близкое к термодинамическому равновесию, наступает лишь тогда, когда все компоненты пищи, попавшие в организм при помощи процессов катаболизма и анаболизма, в конечном результате превращаются в воду и углекислый газ, новые аминокислоты и другой строительный материал. Термодинамическая саморегуляция организма (в состоянии сильной неравновесности) заключается в том, чтобы обеспечить регулирование расхода и распределение выделяемой энергии для нужд всего организма (PAV) и для совершения внешней работы (PAL). Ради этого, в целом, метаболизм человека направлен на то, чтобы поддерживать термодинамическую неравновесность максимально долгое время.

Источником энергии $E_{экз}$ в организме являются белки (P-proteines), жиры (F-fats) и углеводы (C-carbohydrates), каждый в своей пропорции (табл. 3). Например, при расщеплении 1 г белка в организме выделяется 17,2 кДж энергии (4,1 ккал). Но не весь белок тратится на производство энергии. Энергетическая ценность белка для организма составляет менее 30%. Часть энергии белка тратится на выполнение других функций, например, строительство клеток тела и

др. (PAV). А белок для получения энергии E_0 (см. рис. 1) разлагается последовательно на простые аминокислоты, а затем на аммиак, мочевину, H_2O и CO_2 , которые постепенно выводятся из организма.

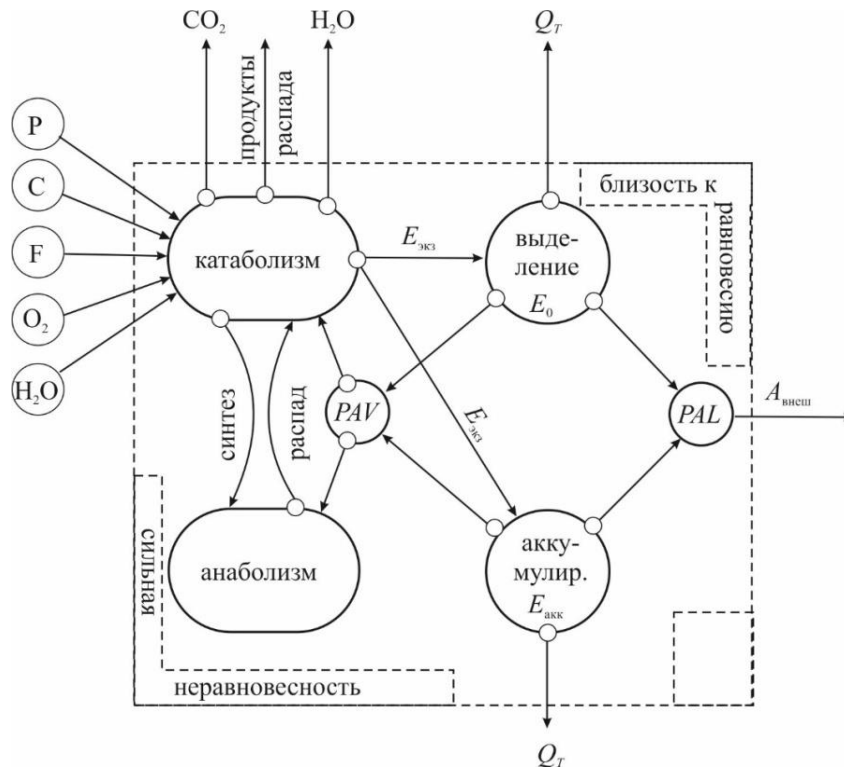


Рис. 1 – Условная модель метаболизма для человеческого организма (обозначения по тексту)

Такие же закономерности соотносятся и с переработкой углеводов и жиров [2, 3, 8]. Углеводы дают энергии также в количестве 17 кДж/г, но энергетическая доля углеводов составляет 55-60% общего поступления энергии в организм. Энергетическая ценность жиров составляет 38 кДж/г, но их доля в энергетическом балансе организма менее 30%. Другие существенные источники энергии в организме отсутствуют.

Расходная часть суточного энергетического баланса организма весьма многообразна и включает: расход энергии на базовый (основной) обмен веществ и внутренние функции организма (PAV); расход энергии на пищеварение и усвоение пищи (PAV); расход энергии для осуществления внешней физической деятельности (PAL), результатом которой является внешняя работа $A_{\text{внеш}}$.

В частности, под основным обменом (PAV) понимается минимальное количество энергии, необходимое для обеспечения нормальной жизнедеятельности в условиях относительного физического и психического покоя и нормальными условиями окружающей среды. Эта энергия расходуется на процессы клеточного метаболизма, кровообращение, дыхание, выделение, поддержание температуры тела, функционирование жизненно важных нервных центров мозга, постоянную секрецию эндокринных желез [2, 3].

Численный разбег данных по каждой из статей энергетического баланса весьма существенный и зависит от огромного количества факторов как внешних, так и внутренних для самого организма [4]. Для простоты анализа будем иметь дело с усредненными антропометрическими данными человека и нормальными условиями окружающей среды.

При усвоении более 85% химической энергии метаболизма наибольшее значение, которое может достичь коэффициент полезного действия человеческого организма, не превышает 30%. И то только в случае выполнения хорошо освоенной привычной работы с одновременным участием мышечной системы ног и туловища [3].

Таблица 3

Энергетический баланс человека со средними антропометрическими данными в сутки при нормальных условиях

№ п/п	Энергетические поступления в организм			Энергетические расходы организма, кДж/сут		
	Наименование	Энерго-продуктивность	Потребление человеком	Всего энергии, кДж/сут	Вид расхода энергии	Величина расхода
1	Белки (Р) (менее 30%)	17,2 кДж/г	≤200 г	≤3500	Физический труд (РАЛ)	5400-8700
2	Углеводы (С) (55-60%)	17,0 кДж/г	≤575 г	≤9900	Основной обмен (РАV)	3400-5100
3	Жиры (F) (менее 30%)	38,0 кДж/г	≤150 г	≤5700	Накопление жиров (E _{акк})	1600-2200
					Тепловые потери (Q _T): - испарением пота - конвекцией и излучением - теплопроводностью	~3900 ~1300 ~2100 ~500
4	ИТОГО		≤845 г	≤19000	ИТОГО	14300-19900
					Δ*:	(+)4700÷(-)900

* – отражает опосредованные аккумулирующие свойства организма человека:

+Δ – накопление (аккумуляция) энергии (E_{акк}) в организме для получения избыточного жира; -Δ – расход внутренней энергии жира на внешние потребности организма.

Весьма интересные для нас невозвратные теплотери в окружающую среду со стороны организма осуществляются в основном за счет испарения пота с поверхности кожи (30%), конвективного рассеяния и теплоизлучения (55%). За счет теплопередачи для нормальных условий такие теплотери сравнительно невелики (менее 15%). Эти виды теплового обмена с окружающей средой зависят от состояния внешних параметров окружающей среды (температуры воздуха, влажности, его подвижности вблизи тела человека), от защищенности тела одеждой, ее характеристик и от параметров самого организма (температуры, открытости и влажности кожи, скорости испарения влаги с поверхности кожи, уровня физической нагрузки и др.). При нормальных условиях теплотери с единицы поверхности тела в зависимости от типа органа (голова, руки и др.) находятся в пределах 1,35 кДж/(м²·мин). Для человека со средними антропометрическими данными теплотери могут составлять до 4000 кДж/сут (см. табл. 3). Оценочный тепловой КПД организма человека при нормальных условиях составляет 84% (см. табл. 3). Это достаточно высокое значение, превышающее КПД многих технических систем, созданных человеком.

В основе термодинамической неравновесности любой системы находятся ее макропараметры между нормальными и текущими их значениями. Очевидная задача термодинамической системы, в том числе, организма человека, в полном соответствии с законами термодинамики заключается в том, чтобы привести ее к равновесию, причем только в одном направлении, без обратимости. С образованием энтропии.

Термодинамическая неравновесность в биологическом организме поддерживается состоянием материального баланса в многоуровневой системе, которой является любая биологическая система, в виде уравнения

$$\frac{d(\alpha_n R_{i,n} - \gamma_n P_{k,n})}{dR} = 0$$

для всех n -х бинарных отображений между функциями сродства и отторжения в отношении конкретных компонентов исходного сырья (пищи, кислорода и внутренних промежуточных компонентов биологической системы)

$$\psi: \alpha_n \rightarrow \gamma_n.$$

Организм в условиях такого баланса параметров исходного сырья с некоторой периодичностью превращает его в аминокислоты, углекислый газ, воду и др., самостоятельно *препятствуя достижению мгновенного термодинамического равновесия*. Для этого организм имеет собственные возможности в виде аккумулированной энергии и накопленного жира, что позволяет постоянно поддерживать собственное функционирование. Такими способностями не обладает ни одна искусственная система, ни один технологический процесс, созданный человеком. В этом плане биологическая система млекопитающего является уникальной как идеальный конечный результат для любого термодинамического объекта. Состояние полного термодинамического равновесия в организме может означать начало его разрушения и гибель [7]. Поэтому для поддержания устойчивой и возобновляемой термодинамической неравновесности человек обладает механизмами периодичности дыхания, питания, выделения отходов, работы сердечной системы как способов системной подпитки организма сырьем и его производными.

Очевидно, что термодинамически неравновесные системы с явной необратимостью обладают качеством создавать безусловную энтропию. Причем величина диссипации биологической энергии достаточно велика, но организм приспособился к использованию многих явлений рассеяния для своей пользы. К ним относятся процессы терморегуляции, испарение пота с поверхности кожи, регулирование кровотока, как носителя тепловой энергии по сосудам, способность к мышечным сокращениям как способ регулирования теплопередачи и др. Поэтому расчет энтропии человеческого организма может носить только оценочный характер. Важную роль в этом играют процессы условного накопления энергии ($E_{акк}$), аккумулирующие свойства жира, сахара в организме, процессы формирования промежуточных аминокислот и др.

В частности, если организм теряет свои качества выделять энергию для собственного поддержания, то такая термодинамическая система будет ускоренно стремиться к равновесию. Значит можно говорить, что в основе тепловой деятельности человеческого организма лежат в равной степени процессы, близкие к термодинамическому равновесию, и процессы с сильной термодинамической неравновесностью. То есть мы приходим к тому, что как тепловая машина, человеческий организм также термодинамически двуедин, как и любой другой технологический процесс [9]: одни и те же компоненты сырья (пищи, кислорода и др.) относятся к получаемой энергии одновременно как сильно неравновесная система и как система, расположенная вблизи термодинамического равновесия. Первые из них рассчитываются по уравнениям баланса для избыточной энтропии при малых возмущениях для сильно неравновесных систем И. Пригожина [10]:

$$\frac{\partial[\delta^2(\rho z)]}{2\partial t} = \sigma[\delta z_n] - \left\{ \frac{\delta w_j}{\delta T} + v_j \delta^2(\rho S) - \sum_n \delta(\rho_n \Delta_n) \delta \frac{\mu_n}{T} - \frac{1}{T} [\delta \rho_{i,j} \delta v_i + \frac{1}{2} \rho v_j (\delta v_j)^2] \right\},$$

а вторые подлежат расчету по уравнениям линейной термодинамики Л. Онсагера [10], для которых уравнение баланса энтропии имеет вид:

$$\sigma[S] = \frac{\partial(\rho S)}{\partial t} + \text{div} J > 0$$

или в упрощенной форме

$$\sigma[S] = J_n F_n + J_i P_i > 0,$$

где $\sigma[S]$ – производство энтропии в единицу времени и на единицу объема (силовая характеристика источника энтропии); $J = \frac{w}{T} - \sum_n (\rho_n \Delta_n \frac{\mu_n}{T}) + \rho S v$ – поток энтропии в слабо неравновесной системе; $n = 1 \dots N$ – число компонент сырьевой базы; w – скорость химической реакции (при наличии таковой) в молях в единицу времени; ρ_n – парциальная плотность компоненты n ; Δ_n – диффузионный поток компоненты n ; μ_n – значение химического потенциала каждой компоненты на единицу массы; F_n – компонента внешней силы на единицу массы; P_i – компонента тензора давления внешней силы на единицу массы; z_n – массовая концентрация компоненты n ; v_n – макроскопическая скорость переноса компоненты n ; e – плотность энергии на единицу массы.

Мы приходим к известным нам расчетам качественных диаграмм функций $\sigma[S] = f(\lambda, J_{x,x})$ и $\Delta E = \varphi(\lambda, J_{x,x})$ в их сопоставительном оценивании (рис. 2).

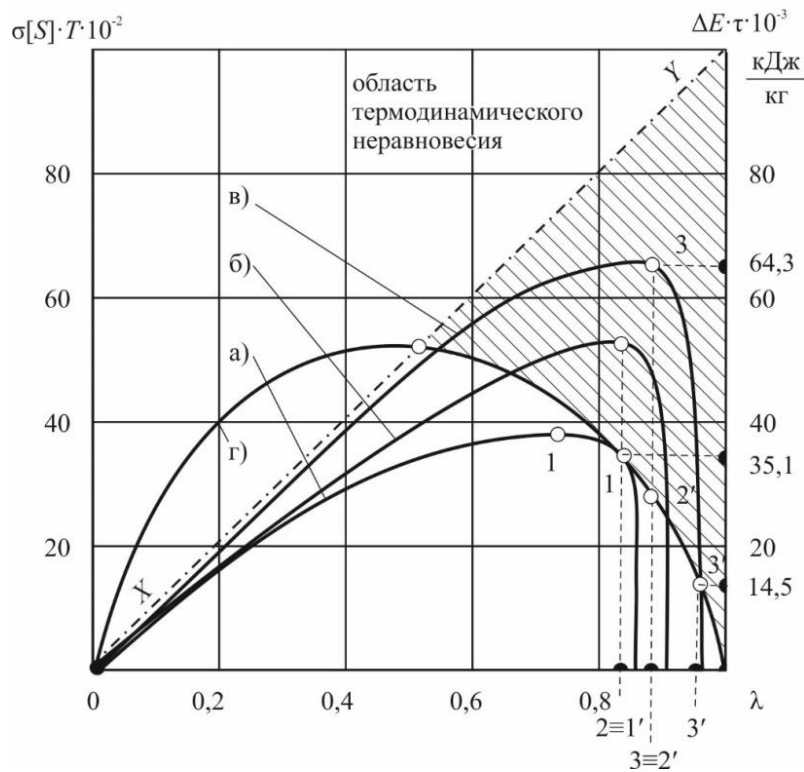


Рис. 2 – Термодинамическая устойчивость неравновесных систем в организме человека: XY – медиана условной равнозначности для равновесного состояния; а – состояние покоя; б – для работ средней тяжести; в – для физически тяжелых работ; г – кривая Онсагера для процесса метаболизма в биологической системе

Как следует из диаграммы, кривая энергоёмкости организма ($E_{p,c,f}$) в зависимости от состояния покоя или тяжести совершаемой работы в определенном масштабе при $0 < \lambda < 0,5$ может совпадать с линейной медианой равнозначности XY, проходящей через точку перегиба кривой $\sigma[S] = f(\lambda, J_{x,x})$. Но в пределах $\lambda = J_{0,x} / J_{0,0} \geq 0,85$ кривая имеет явно выраженные собственные точки перегиба, где выполняется условие $\Delta E_{\max} \geq \sigma[S]$, что означает существование явной термодинамической неравновесности за пределами указанного ограничения. Например, при состоянии покоя (кривая а) суточная величина энергии в размере $35,1 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 3032$ кДж/сут может быть потрачена на PAV, при этом энтропия системы составит $35,1 \cdot 293 \cdot 10^{-2} = 102,84$ кДж/кг·К. Для тяжелой работы эти показатели, соответственно, равны $64,3 \cdot 3600 \cdot 24 \cdot 10^{-3} = 5555$ кДж/сут и $64,3 \cdot 293 \cdot 10^{-2} = 188,4$ кДж/кг·К, что также показывает на условия неравновесности для такой энергетической системы.

Сравнивая подобные диаграммы для человека с диаграммами для воды [11], можно отметить их сопоставимость. Это возможно и правильно, потому что организм человека со всем многообразием его тепловых процессов на 80% состоит из воды. Величина $\lambda \geq 0,85$ дает представление о том, что для выполнения некоторой внешней работы при средней мощности в 250-260 Вт человек способен расходовать до 7000 кДж энергии в сутки. Но при этом его энтропия, по сравнению с энтропией в состоянии покоя, возрастает в 2-3 раза, что свидетельствует о низкой эффективности использования мышечной энергии человека для выполнения внешних работ.

Выводы

С целью удовлетворения растущих потребностей человека в получении материальных благ, в историческом разрезе, вначале дополнительно к физическому труду собственно человека использовалась энергия животных, а затем появились искусственные технические системы, источники совершенно другой по мощности и качеству энергии. Постоянно развивающиеся и

энергетически более эффективные такие системы были направлены на усиление совокупной мощности человека в его трудовой деятельности. Самые простые расчеты показывают, что при этом энтропия системы «человек-машина» снижается не менее чем в семь раз. То есть мы имеем дело с более организованной, по сравнению с человеческим организмом, негэнтропийной системой, стремящейся к минимуму диссипации.

Список использованных источников:

1. Нельсон Д. Основы биохимии Ленинджера : в 3 т. Т. 1. Основы биохимии. Структура и катализ / Д. Нельсон, М. Кокс. – М. : Лаборатория знаний, 2017. – 694 с.
2. Большой практикум по физиологии человека и животных : в 2 т. Т. 2. Физиология висцеральных систем / А.Д. Ноздрачев [и др.]. – М. : Академия, 2007. – 544 с.
3. Філімонов В.І. Фізіологія людини : підручник / В.І. Філімонов. – 3-тє вид., випр. – Київ : Медицина, 2015. – 488 с.
4. Comfort limits for heated ceiling / P.O. Fanger, L. Banhidi, B.W. Olesen, G. Langkilde // ASHRAE Transaction. – 1980. – Vol. 2596. – Pp. 141-156.
5. Волошин В.С. Методы управления ресурсопотоками в экологических циклах / В.С. Волошин, П.М. Семенченко. – Донецк : Донеччина, 1997. – 72 с.
6. Вапняр В.В. Структура иерархической двухуровневой модели гомеостаза человека в определении роли неравновесной термодинамики и синергетики при инфекционном процессе / В.В. Вапняр // Успехи современного естествознания. – 2007. – № 7. – С. 43-45.
7. Старение и неравновесная термодинамика. Давняя мечта: каким же может быть способ победить старение? [Электронный ресурс]. – Режим доступа : www.vechnayamolodost.ru/articles/teorii-stareniya/starenie-i-neravnovesnaya-termodynamika.
8. Мартинчик А.Н. Физиология питания : учебник / А.Н. Мартинчик. – М. : Академия, 2013. – 240 с.
9. Волошин В.С. Природа отходообразования (в приложении к управлению отходами) / В.С. Волошин. – Мариуполь : Рената, 2007. – 666 с.
10. Гленсдорф П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуации / П. Гленсдорф, И. Пригожин; под ред. Ю.А. Чизмаджаева. – 2-е изд. – М. : Едиториал УРСС. – 2003. – 280 с.
11. Волошин В.С. Питьевая вода. Невостребованные требования / В.С. Волошин, В.А. Бурко // Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення : зб. наук. статей XIII Міжнародної науково-практичної конференції (Харків, 11-15 вересня 2017 р.) / УКРНДІЕП. – Харків, 2017. – С. 124-131.

Reference:

1. Nel'son D., Koks M. *Osnovy biokhimii Lenindzhera. Tom 1 : Osnovy biokhimii. Stroenie i kataliz* [The basics of biochemistry of Leninger. Volume 1: The basics of biochemistry. Structure and Catalysis]. Moscow, Laboratoriia znaniy Publ., 2017. 694 p. (Rus.)
2. Nozdrachev A.D., Markov A.G., Poliakov E.L., Bagaev V.A., Eshchenko N.D., Zhuravlev V.L., Zavarina L.B., Karpushe A.V., Kovalenko R.I., Lapitskii V.P., Nikitin S.O., Osipova N.S., Ovsianikov V.I., Pariiskaia E.N., Sibarov D.A., Tolkunov Iu.A., Tsygan V.A., Chernysheva M.P. *Bol'shoi praktikum po fiziologii cheloveka i zhivotnykh. Tom 2 : Fiziologiya vistseral'nykh sistem* [A large workshop on the physiology of humans and animals. Vol. 2 : Physiology of Visceral Systems]. Moscow, Academy Publ., 2007. 544 p. (Rus.)
3. Filimonov V.I. *Fiziologiya liudini* [Human physiology]. Kiev, Meditsina Publ., 2015. 488 p. (Ukr.)
4. Fanger P.O., Banhidi L., Olesen B.W., Langkilde G. Comfort limits for heated ceiling. *ASHRAE Transaction*, 1980, vol. 2596, pp. 141-156.
5. Voloshin V.S., Semenchenko P.M. *Metody upravleniia resursopotokami v ekologicheskikh tsiklakh* [Resource Flow Management Methods in Ecological Cycles]. Donetsk, Donechchina Publ., 1997. 72 p. (Rus.)
6. Vapnyar V.V. *Struktura ierarkhicheskoi dvukhurovnevoi modeli gomeostaza cheloveka v opredelenii roli neravnovesnoi termodynamiki i sinergetiki pri infektsionnom protsesse* [The structure of the hierarchical two-level model of human homeostasis in determining the role of nonequilibrium thermodynamics and synergetics in the infectious process]. *Uspekhi sovremennogo estestvozn-*

- naniia – *Advances in current natural sciences*, 2007, no. 7, pp. 43-45. (Rus.)
7. Starenie i neravnovesnaia termodinamika. Davniaia mechta: kakim zhe mozhет byt' sposob pobedit' starenie? (Aging and nonequilibrium thermodynamics. An old dream: what could be a way to defeat aging?) Available at: www.vechnayamolodost.ru/articles/teorii-stareniya/starenie-i-neravnovesnaya-termodinamika (accessed 25 June 2019).
 8. Martinchik A.N. *Fiziologiya pitaniia* [Physiology of nutrition]. Moscow, Academy Publ., 2013. 240 p. (Rus.)
 9. Voloshin V.S. *Priroda otkhodoobrazovaniia (v prilozhenii k upravleniiu otkhodami)* [The nature of waste generation (as annex to waste management)]. Mariupol, Renata Publ., 2007. 666 p. (Rus.)
 10. Glensdorf P., Prigogine I. *Termodinamicheskaia teoriia struktury, ustoychivosti i fluktuatsii* [Thermodynamic theory of structure, stability and fluctuations]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2003. 280 p. (Rus.)
 11. Voloshin V.S., Burko V.A. Pit'evaia voda. Nevostrebovannye trebovaniia. *Zb. nauk. statei XIII Mizhn. nauk.-prakt. konf. «Ekologichna bezpeka: problemi i shliakhi virishennia»* [Drinking water. Unclaimed Requirements. Proceedings of 13th Int. Sci.-Techn. Conf. «Environmental safety: problems and solutions»]. Kharkiv, 2017, pp. 124-131. (Rus.)

Рецензент: В.А. Маслов
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 03.09.2019

УДК 614.0.084

doi: 10.31498/2225-6733.39.2019.201080

© Костенко Т.В.¹, Костирка О.В.², Березовський А.І.³,
Землянський О.М.⁴, Головка Д.І.⁵

ПРОПОЗИЦІЇ ЩОДО ПІДТРИМАННЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ В ПІДКОСТЮМНОМУ ПРОСТОРІ РЯТУВАЛЬНИКА

В статті розглянуто актуальне питання підтримання комфортного температурного режиму в підкостюмному просторі рятувальника під час ліквідації пожеж. Спосіб охолодження підкостюмного середовища за допомогою проточної схеми охолодження з використанням в якості холодоагенту води або піноутворюючого розчину має певний недолік в холодний період року, а саме вплив на тіло людини контрастних температур, які створюють небезпеку переохолодження організму. Для попередження дії низьких температур в холодну пору року запропоновано використання в системі охолодження колектора-підігрівача, виконаного з еластичного теплопровідного матеріалу, який виконує подвійну функцію: нагрів холодоагенту, а також екранує зовнішню оболонку протитеплого костюму від прямої дії теплових променів та конвекційних газових потоків. Запропоноване технічне рішення дозволить покращити температурний режим в підкостюмному просторі рятувальника.

Ключові слова: рятувальник, теплові травми, холодоагент, колектор, підкостюмний простір.

¹ д-р техн. наук, доцент, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, м. Черкаси, tatiana.kostenko@gmail.com

² канд. техн. наук, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, м. Черкаси, olesiakostyrka@ukr.net

³ канд. техн. наук, доцент, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, м. Черкаси, andrey82-07@ukr.net

⁴ канд. техн. наук, доцент, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, м. Черкаси, omzem1@gmail.com

⁵ студент, Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України, м. Черкаси, golovkod11@gmail.com