

3. Simonenko A.N. Tyagovo-privodnaya kharakteristika mashinno-traktornogo agregata [Traction-and-drive characteristics of a machine-tractor unit]. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*, 2016; 1 (71): 37-40. (in Rus.).

4. Ksenevich I.P., Varlamov G.P., Kolchin N.N. et al. Mashinostroeniye. Entsiklopediya v soroka tomakh. Sel'skohozyajstvennyye mashiny i oborudovanie [Engineering. Encyclopedia in forty volumes. Agricultural machinery and equipment] Vol. IV-16. Moscow, Mashinostroenie, 2002: 720. (in Rus.).

#### Критерии авторства

Алдошин Н.В., Панов А.И., Мехедов М.А. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Алдошин Н.В., Панов А.И., Мехедов М.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 18.10.2018

5. Matin Md.A., Fielkea John M., Desbiolles Jacky M.A. Furrow parameters in rotary strip-tillage: Effect of blade geometry and rotary speed. *Biosystems Engineering*, 2014; 118:7-15. DOI: 10.1016/j.biosystemseng.2013.10.015 (In English)

6. Vetokhin V.I., Panov I.M., Shmonin V.A., Yuzbatshev V.A. Tyagovo-privodnye kombinirovannyye pochvoobrabatyvayushchiye mashiny. Teoriya, raschet, rezul'taty ispytaniy: monografiya [Traction-and-drive combined soil cultivators. Theory, calculation, test results: Monograph]. Kiev, Feniks, 2009: 264. (in Rus.).

#### Contribution

Aldoshin N.V., Panov A.I., Mehedov M.A. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Aldoshin N.V., Panov A.I., Mehedov M.A. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

#### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on October 18, 2018

## ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК / FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

### ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

УДК 631.53.01.2

## ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗРАБОТКИ СПОСОБА ОЦЕНКИ ЖИЗНЕСПОСОБНОСТИ СЕМЯН

**АНДРЕЕВ ВЛАДИМИР КОНСТАНТИНОВИЧ**, канд. техн. наук, доцент

E-mail: andreev\_v\_k@mail.ru

**ВОСКОБОЙНИКОВ ВЛАДИМИР АЛЕКСАНДРОВИЧ**, докт. техн. наук, профессор

E-mail: vosk1914@mail.ru

**АНДРЕЕВА НАДЕЖДА ВЛАДИМИРОВНА**, инженер

E-mail: fatelm@mail.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

Методы определения жизнеспособности биологических объектов основаны на выявлении различий в их реакции на воздействие внешних параметров среды. Для анализа существующих методов определения жизнеспособности семян и создания предпосылок для разработки экспрессного метода оценки этого показателя использованы основы анализа процессов вещественно-энергетических преобразований материальных систем при протекании в них биотехнологических процессов. Общим подходом анализа биотехнологических процессов, протекающих при хранении и последующей их циклической активизации, являются закономерности многовариационных превращений энергии, т.е. по существу это термодинамический подход. Согласно этому положению, биосистема зерновки сравнивалась с четырьмя системами: изолированной, энергетически консервативной, динамически стационарной и динамически квазистационарной. Формализованы энергетические условия, при которых биосистемы под влиянием внешних воздействий скачкообразно переходят в другое качественное состояние. По форме переходного процесса судят о жизнеспособности исследуемых зерновок. Теоретически обосновано, что оценку жизнеспособности семян экспрессным методом можно производить только в результате катастрофического перехода из одного физиологического состояния семени в другое в результате экстремальных воздействий с контролем внутренней энергии, преобразующейся при ответной физиологической реакции. Предложено получать информацию о преобразовании внутренней энергии семенами пшеницы с помощью измерений биоэлектрических параметров.

**Ключевые слова:** термодинамика, жизнеспособность семян, способы оценки жизнеспособности семян, воздействия на биосистему, отклик биосистемы на воздействия, диссипаторы.

**Формат цитирования:** Андреев В.К., Воскобойников В.А., Андреева Н.В. Энергетическое обоснование разработки способа оценки жизнеспособности семян // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. №1(89). С. 19-25.

## ENERGY CONSIDERATIONS FOR A METHOD OF ASSESSING THE VIABILITY OF SEEDS

**VLADIMIR K. ANDREYEV, PhD (Eng), Associate Professor**

E-mail: andreev\_v\_k@mail.ru

**VLADIMIR A. VOSKOBOINIKOV, DSc (Eng), Professor**

E-mail: vosk1914@mail.ru

**LUBOV' V. ANDREYEVA, engineer**

E-mail: fatelm@mail.ru

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, 127550, Russian Federation

Methods for determining the viability of biological objects are based on the identification of differences in the response of objects to the effects of external environmental parameters. To analyze the existing methods for determining the viability of seeds and providing prerequisites for the development of a rapid method for estimating this indicator, use was made of the fundamentals of the analysis of material-energy transformations of material systems in the course of biotechnological processes occurring in them. The most general approach to the analysis of biotechnological processes occurring during storage and subsequent cyclic activation is the regularities of multivariate energy transformations, i.e. this is actually a thermodynamic approach. On this basis, the grain biosystem was compared with the following systems: an isolated system; an energy conservative system; a dynamically stationary system; and a dynamically quasi-stationary system. The authors have formalized energy conditions, in which biosystems jump into other qualitative states under the influence of external factors. The viability of the examined grain is determined according to the form of the transient process.

**Key words:** thermodynamics, viability of seeds, methods of assessing the viability of seeds, effects on biosystem, biosystem response to impacts, dissipators.

**For citation:** Andreyev V.K., Voskoboinikov V.A., Andreyeva L.V. Energy considerations for a method of assessing the viability of seeds. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019; 1(89): 19-25. (in Rus.).

**Введение.** Использование при посеве высококачественных семян является одним из важных резервов увеличения продукции сельскохозяйственного производства. Одним из важнейших показателей качества является всхожесть семян, определение которой требует несколько суток. В связи с этим продолжительное время разрабатываются экспрессные способы оценки всхожести, целью которых в большинстве являлось снижение времени на определение этого показателя.

Большинство известных способов определения жизнеспособности семян требует затрат времени (до нескольких часов), использование различных химических веществ, трудоемко и субъективно.

Таким образом, исследование, разработка и техническая реализация экспрессного способа, обеспечивающего объективную оценку жизнеспособности семян, является актуальной задачей.

**Цель работы** – энергетическое обоснование разработки экспрессного способа оценки жизнеспособности семян.

**Материал и методы.** Основой для исследования являлась теория процессов преобразования материальных систем на основе представлений о температуре и энтропии.

**Результаты и обсуждения.** Все методы определения жизнеспособности семян основаны на выявлении различий в реакции жизнеспособных и нежизнеспособных

семян на внешнее воздействие. В настоящее время общепризнанной теорией процессов преобразования материальных систем в результате внешних воздействий считают термодинамику со статистическим обоснованием [1, 2], выделяя три ее раздела: термодинамику равновесных процессов, термодинамику линейных неравновесных процессов и термодинамику нелинейных неравновесных процессов. В основе термодинамики лежат энергетические представления о температуре и энтропии.

Поскольку семена являются биологическим объектом, то с целью выработки теоретических основ для сопоставления известных методов определения их жизнеспособности с единых позиций и обоснования экспресс-метода определения жизнеспособности семян пшеницы были проанализированы, основы термодинамики биологических систем, представленные в литературных источниках [3-6]. Для биологических систем характерно:

- возможность нахождения в различных физиологических состояниях (покой, физиологическая активность, возбуждение);
- теплопродукция в результате метаболизма;
- адаптация и эволюция;
- обратная связь;
- переход в нежизнеспособное состояние (некроз).

Для анализа этих состояний и процессов в настоящее время разрабатывают нелинейную неравновесную

термодинамику как глобальную теорию необратимых процессов, протекающих с конечной скоростью в полуоткрытых системах. Направление эволюции биологических систем в термодинамике определяют по возрастанию энтропии. Однако некоторые исследователи считают, что полуоткрытые системы нельзя продуктивно описать, используя понятие увеличения или уменьшения энтропии системы, так как в этом случае энтропия может увеличиваться / уменьшаться или оставаться неизменной, в зависимости от того, будет ли поток энтропии извне больше продукции энтропии системы или равным ей [3-6].

Термодинамический анализ биологических систем показал, что, несмотря на достаточно широкие возможности использования средств термодинамики для обсуждения проблем роста, развития и старения, а также управления процессами поведения и жизнедеятельности биосистем, многие особенности последних не укладываются в современные представления. Требуется другой, новый подход, основу которого должны составлять следующие положения.

Любые материальные объекты, в частности биосистемы, в зависимости от особенностей их взаимодействия с окружающей средой, выступают в качестве энергетических преобразователей, подвергающихся вещественным преобразованиям. Их обобщенно называют преобразующимися преобразователями.

В качестве преобразующихся преобразователей при оценке жизнеспособности семян выступают семена пшеницы.

В целях выяснения общности и специфики известных методов определения жизнеспособности семян, а также возможности разработки новых способов определения их жизнеспособности, отличающихся экспрессностью, малой энерго-трудоемкостью, доступностью для автоматизации и достаточно высокой точностью приведем классификацию семян, основанную на термодинамическом анализе.

В связи с тем, что основой современной физической количественной характеристики материальных систем является представление об энергии и ее преобразованиях, рассмотрим энергетические преобразования, происходящие в семенах при определении их жизнеспособности.

На рисунке 1 показан энергетический обмен семени с окружающей средой в процессе анализа. Обозначим энергию семени  $W$ . Пусть за макроскопически регистрируемый промежуток времени  $\Delta t$  зерновка поглощает энергию  $\Delta W_{ex}$  и выделяет энергию  $\Delta W_{in}$ . Изменение энергии зерновки за указанный промежуток времени может быть как положительным (аккумуляция), так и отрицательным (диссипация). В частных случаях зерновка может выступать в качестве энергетически изолированной, стационарной относительно консервативной, динамически стационарной в среднем консервативной или нестационарной неконсервативной системой.

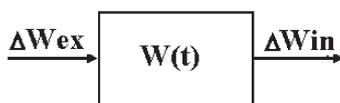


Рис. 1. Схема, иллюстрирующая процесс вещественно-энергетического преобразования зерновки

Fig. 1. Diagram illustrating the process of material-energy transformation of the handled grain

Особенности поведения семени в процессе определения его жизнеспособности приведем в сравнении с изолированной консервативной системой [7].

1. Энергетически изолированными называют системы, которые в течение времени  $\Delta t$  не поглощают и не выделяют энергию

$$\Delta W_{ex} = \Delta W_{in} = 0, \quad (1)$$

в результате чего энергия системы ( $\Delta W_{in}$ ) не изменяется, то есть сохраняется

$$\Delta W_{in} = 0, \quad (2)$$

тогда ее называют связанной или собственной.

В процессе хранения зерновка, как правило, находится в состоянии покоя с минимальным энергетическим обеспечением метаболических процессов.

Это состояние во многих отношениях приближается к состоянию энергетически изолированных систем. Здесь оно будет называться биологически изолированным состоянием, так как абсолютно изолированных систем в природе не существует.

При отсутствии внешнего воздействия на систему никакие их так называемые «собственные» характеристики, в том числе  $\Delta W_{in}$ , не могут быть определены. Поэтому вопрос о внутренних свойствах биологически изолированных систем безотносительно к внешним воздействиям мы не рассматриваем. Можно представить, однако, что системы, относительно изолированные в промежутке времени  $\Delta t$  могут быть или стать неизолрованными за пределами этого промежутка. Именно это имеется в виду, когда говорится о биоизолированных системах.

2. Стационарными энергетически консервативными называют системы, для которых выполняются следующие условия:

$$P_{ex} = \frac{dW_{ex}}{dt} = \frac{dW_{in}}{dt} = \text{const}; \quad (3)$$

$$P_c = \sum_k P_k = \text{const}; \quad (4)$$

или

$$P_{ex} = \frac{dW_{ex}}{dt} = \frac{dW_{in}}{dt} \neq P_{in}; \quad (3a)$$

$$P_c = \sum_k P_k \neq \text{const}; \quad (4a)$$

$$W_c = \text{const}, \quad (5)$$

где  $W_c$  – сохраняющаяся энергия стационарной системы;  $P_k = \frac{dW_k}{dt}$  мощность k-го процесса энергетического преобразования в системе:  $P_{ex}$  – входная мощность;  $P_c$  – суммарная мощность;

В соответствии с (5) можно написать

$$\Delta W_c = \int_{t_1}^{t_2} P_c dt = \int_{t_1}^{t_2} (\sum_k P_k) dt = \sum_k \int_{t_1}^{t_2} P_k dt = 0 \quad (5a)$$

Не изменяющаяся со временем по величине энергия  $W_c$  не может быть названа собственной, внешний наблюдатель может оценить ее косвенно как относительный параметр. О возможных процессах преобразования,

протекающих в таких системах, позволяют судить результаты анализа характеристик поглощаемой и выделяемой ими энергии.

3. В соответствии с (5a) при протекании в системе единственного однонаправленного процесса с интенсивностью  $P(t) \neq 0$  можно говорить о ее консервативности только в фиксированные моменты времени  $\Delta t$ . Однако при протекании в системе процессов в противоположных направлениях ( $P_k \neq 0, \sum_k P_k = 0$  возможно ее относительно консервативное функционирование в течение ненулевого промежутка времени. Такие состояния в физике и химии называют стационарными, то есть находящимися в состоянии динамического равновесия.

4. Состояние семян как биологических объектов во многих случаях характеризуется минимальным дыханием, то есть наличием небольших окислительно-восстановительных процессов. Поэтому можно считать, что они в небольшие промежутки времени  $\Delta t$  находятся в почти стационарном состоянии, обладая энергией

$$W_c = \text{const.} \quad (6)$$

Строго стационарного состояния у семян быть не может, всегда имеют место их адаптация, старение и эволюционные изменения.

В этом случае предполагается выполнение неравенств

$$P_{ex} = \frac{dW_{ex}}{dt} \neq \text{const}; \quad P_{in} = \frac{dW_{in}}{dt} \neq \text{const}; \quad P_{ex} \neq P_{in}. \quad (7)$$

Тогда мощность диссипации

$$P_{dc} \neq \text{const.} \quad (8)$$

Если для макроскопически измеряемого достаточно большого промежутка времени ( $\Delta t$ ) энергия диссипации определяется как

$$W_{dc} = \frac{\int_{t_2}^{t_1} W(t) dt}{\Delta t} = \text{const} \quad (9)$$

и систему называют динамически стационарной в среднем консервативной (рис. 2), то ее можно назвать и преобразователем мощности. Она циклически выступает в качестве аккумулятора и диссипатора энергии. В частном случае изменяющаяся энергия динамически стационарных систем может быть гармонической:

$$\Delta W_{dc}(t) = W(t) - W_{dc} = \Delta W_{dc,0} \cos(2\pi\nu t + \varphi). \quad (10)$$

Однако изначально она должна быть представлена негармонической циклической функцией, которая в соответствии с теорией Фурье-разложения может быть выражена суммой гармонических составляющих [8].

Общее условие существования динамически стационарных систем записывают в виде

$$\left| \int_{t_1}^{t_2} \Delta W_{dc}(t) dt \right| \leq \frac{q}{p}, \quad (11)$$

где

$$\int_{\tau_{ex}} \Delta W_{dc}(t) dt = - \int_{\tau_{in}} \Delta W_{dc}(t) dt \leq \frac{q}{p} = \text{const}, \quad (12)$$

$$\tau = \tau_a + \tau_d = \tau_{in} + \tau_{ex}. \quad (13)$$

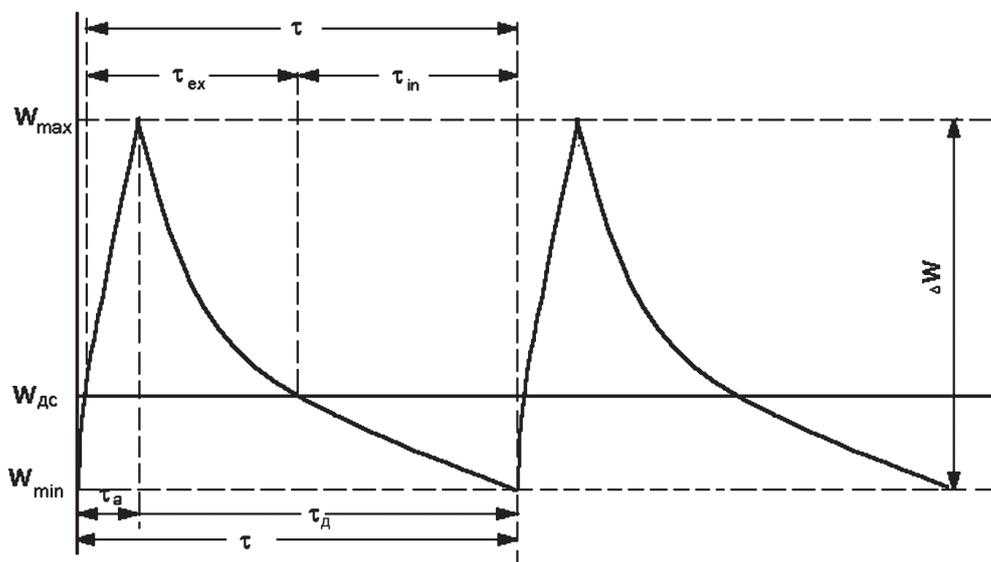


Рис. 2. Диаграмма изменения энергии динамически стационарной системы:

$W_{min}$  – минимальное значение энергии;  $W_{max}$  – максимальное значение энергии;  
 $W_{dc}$  – усредненное во времени значение энергии;  $\tau_a$  – длительность аккумуляции энергии;  
 $\tau_d$  – длительность диссипации энергии;  $\tau_{in}$  – продолжительность существования системы при  $W > W_{dc}$ ;  
 $\tau_{ex}$  – продолжительность существования системы при  $W < W_{dc}$ ;  
 $\tau = \tau_a + \tau_d = \tau_{in} + \tau_{ex}$  – продолжительность цикла измерения энергии

Fig. 2. Diagram of the energy change in a dynamically stationary system:

$W_{min}$  – the minimum energy value;  $W_{max}$  – the maximum energy value;  $W_{dc}$  – the time-averaged energy value;  
 $\tau_a$  – energy storage duration;  $\tau_d$  – energy dissipation duration;  $\tau_{in}$  – the system lifetime at  $W > W_{dc}$ ;  
 $\tau_{ex}$  – the system lifetime at  $W < W_{dc}$ ;  $\tau = \tau_a + \tau_d = \tau_{in} + \tau_{ex}$  – the length of the energy measurement cycle

При  $\Delta t < \tau$  величина  $W_{dc}$  может значительно отличаться от нуля и принимать как положительные, так и отрицательные значения. Примером динамически стационарных систем являются автоколебательные системы, периодически преобразующие один вид энергии в другой. Возможность преобразования семенами энергии, накопленной в процессе развития, в энергию окисления в процессе дыхания является условием существования их как биологических систем при хранении. Особенности динамически стационарных в среднем консервативных систем характерны для внутренних процессов в семенах.

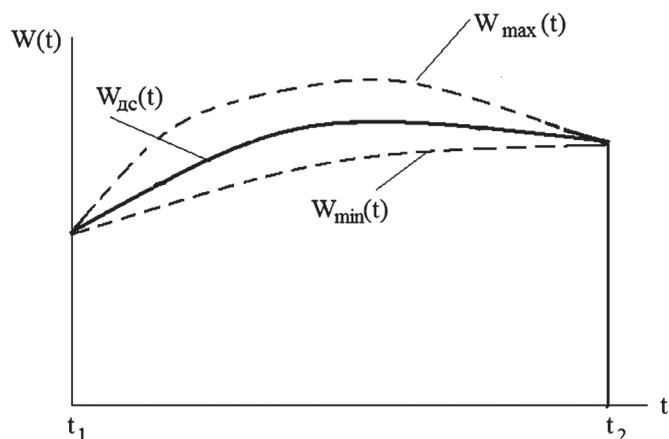
Для обсуждения процессов, имеющих место в современных способах определения жизнеспособности семян, необходимо воспользоваться представлениями о динамически квазистационарных по существу нестационарных и неконсервативных системах с энергией  $W_{dc}(t)$ .

На рисунке 3 представлена диаграмма изменения энергии во времени, характерная для живой динамически квазистационарной системы с продолжительностью жизни  $\Delta t = t_2 - t_1$ . Также показаны допустимые экстремальные значения  $W_{min}(t)$  и  $W_{max}(t)$  энергии такой системы.

Процессы в динамически квазистационарных системах качественно не изменяются только при выполнении неравенств

$$W_{min} < W_{dc} < W_{max}. \quad (14)$$

При выполнении неравенств  $W_{dc} < W_{min}$  и  $W_{dc} > W_{max}$  они должны скачкообразно (катастрофически) перейти в другое качественное состояние (рис. 4). В этот момент в результате гибели зерновки образуется нежизнеспособное семя, отличающееся от жизнеспособной зерновки своими особенностями взаимодействия с окружающей средой. Нежизнеспособное семя такого перехода не имеет.

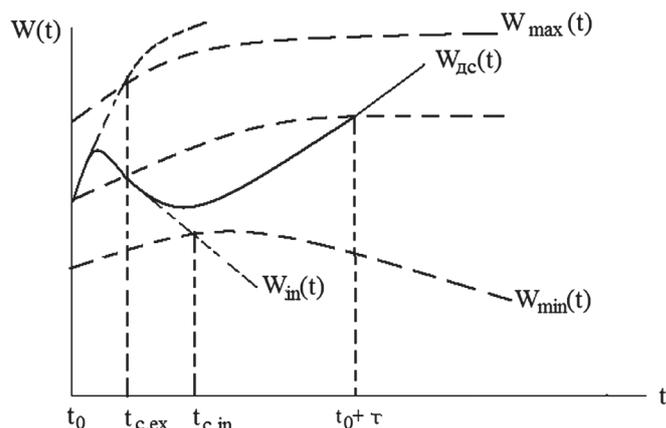


**Рис. 3. Диаграмма изменения энергии динамически квазистационарной системы:**

$W_{min}(t)$  – минимально допустимая энергия;  
 $W_{max}(t)$  – максимально допустимая энергия;  
 $W_{dc}(t)$  – усредненная энергия

**Fig. 3. Diagram of the energy change in a dynamically quasi-donor system:**

$W_{min}(t)$  – the minimum allowable energy;  
 $W_{max}(t)$  – the maximum allowable energy;  
 $W_{dc}(t)$  – averaged energy



**Рис. 4. Диаграмма скачкообразного преобразования энергии динамически квазистационарной системы:**

$W_{min}(t)$  – минимально допустимая энергия;  
 $W_{max}(t)$  – максимально допустимая энергия;  
 $W_{dc}(t)$  – усредненная энергия

**Fig. 4. Diagram of jump-like energy conversion of a dynamically quasi-stationary system:**

$W_{min}(t)$  – the minimum allowable energy;  
 $W_{max}(t)$  – the maximum allowable energy;  
 $W_{dc}(t)$  – averaged energy

Как для динамически стационарных в среднем консервативных систем, так и для динамически квазистационарных может быть записано условие существования в виде

$$\left| \int_{t_1}^{t_2} \Delta W_{dc}(t) \right| \leq \frac{q}{p}. \quad (15)$$

Для нестационарных неконсервативных систем закон сохранения и преобразования энергии в макроскопически регистрируемом промежутке времени  $\Delta t$  записывается в форме первого закона термодинамики

$$\Delta W_{ex} = \Delta W + \Delta W_{in} \quad (16)$$

или в виде

$$\eta + \eta_{in,ex} = 1, \quad (17)$$

где

$$\eta = \frac{\Delta W}{\Delta W_{ex}} \quad (18)$$

представляет относительное изменение энергии системы, а

$$P_{in,ex} = \frac{\Delta W_{in}}{\Delta W_{ex}} \quad (19)$$

относительное преобразование энергии системой (по сравнению с поступающей энергией).

Согласно (16), при  $\Delta W_{ex} = \Delta W_{in} = 0$  имеем изолированную энергетически консервативную систему  $W_{in} = 0$ , а при  $\Delta W_{ex} = \Delta W_{in} \neq 0$  – стационарную относительно консервативную систему. При выполнении (17)-(19) система является динамически стационарной в среднем консервативной. Таким образом, все рассмотренные выше типы материальных систем являются частными проявлениями нестационарных неконсервативных систем.

При  $\Delta W_{ex} > 0$  возможны следующие типы обобщенных преобразующихся энергетических преобразователей.

*Аккумуляторы* (поглотители, накопители, конденсаторы, емкости) естественного и искусственного происхождения:

$$\Delta W_{in} = 0, \Delta W = \Delta W_{ex} \quad (20)$$

с коэффициентом аккумуляирования

$$\eta_a = \frac{\Delta W}{\Delta W_{ex}} = 1. \quad (21)$$

Примером такой системы является биологически формирующаяся зерновка в колосе.

*Преобразователи с частичным аккумуляированием*

$$\Delta W_{ex} > \Delta W_{in}; \Delta W > 0 \quad (22)$$

с коэффициентом аккумуляирования

$$\eta_a = \frac{\Delta W_{ex} - \Delta W_{in}}{\Delta W_{ex}} = 1 - \frac{\Delta W_{in}}{\Delta W_{ex}} < 1. \quad (23)$$

и коэффициентом преобразования

$$\eta_a = \frac{\Delta W_{in}}{\Delta W_{ex}} < 1, \quad (24)$$

численные значения которых изменяются с течением времени при выполнении условия

$$\eta_a + \eta_n = 1 \quad (25)$$

Свойствами преобразователей с частичным аккумуляированием обладают многие реальные системы живой и неживой природы. В частном случае для семени, находящегося в стрессовом состоянии при сушке, наблюдается автоколебательный режим с полупериодом усвоения энергии запасенных веществ и полупериодом ее распада.

*Диссипаторы*

$$\Delta W_{ex} < \Delta W_{in}; \Delta W < 0. \quad (26)$$

Коэффициент преобразования энергии при этом превышает 1

$$\eta_n = \frac{\Delta W_{in}}{\Delta W_{ex}} = \frac{\Delta W_{ex} - |\Delta W|}{\Delta W_{ex}} > 1. \quad (27)$$

Энергию  $\Delta W_{ex}$  можно назвать энергией активации соответствующего процесса, без нее процесс диссипации не начинается. Поддерживается такой процесс, как правило, в результате образования обратной связи, когда выделяющаяся энергия  $\Delta W_{in}$  частично начинает играть роль  $\Delta W_{ex}$ . Например, процесс «горения» влажного зерна в ворохе.

Если ввести коэффициент полезного действия таких процессов, то он может быть оценен по формулам

$$\eta_1 = \frac{|\Delta W|}{|\Delta W| + \Delta W_{ex}} < 1, \quad \eta_2 = \frac{\Delta W_{ex}}{|\Delta W| + \Delta W_{ex}} < 1, \quad (28)$$

подчиняющимся очевидному уравнению баланса

$$\eta_1 + \eta_2 = 1. \quad (29)$$

Так как любые материальные образования обладают энергией, то все они могут служить носителем свободной энергии.

Она поглощается или выделяется, в частности, в процессах фотосинтеза и горения (дыхания) и других химических реакциях. Из этого следует, что биосистема зерновки, находясь в состоянии покоя, является динамически квазистационарной системой. При наличии возмущающих воздействий, нарушающих условие (14), ее биосистема переходит в другое физиологическое состояние, по которому, согласно изменению  $W_{dc}(t)$ , можно судить о ее жизнеспособности.

В связи с тем, что биосистема зерновки является сложной четырехуровневой структурой, каждая из которых при переходе в квазистационарное состояние вносит свой вклад в энергию  $W_{dc}(t)$ , оценить жизнеспособность всей системы можно будет только с определенной вероятностной ошибкой.

Наиболее полно и точно жизнеспособность биосистемы зерновки возможно будет оценить при ее «катастрофе», которая бы разрушила биосистему с одновременным преобразованием и выделением ее внутренней энергии. Измерения одного из электрических параметров этой энергии биотока, или биопотенциала в определенные моменты времени позволило бы судить о жизнеспособности биосистемы в целом. Для этого необходимо найти такое возмущающее воздействие на зерновку, при котором ее биосистема в достаточно короткое время смогла бы выделить свою внутреннюю энергию.

Обозначенные термодинамические основы позволили осуществить классификацию способов оценки жизнеспособности семян на следующие группы: физиологические, биохимические, химические, физико-химические и физические. В указанных группах можно дополнительно выделить группы с предварительной обработкой семян и без обработки. Представленная классификация позволяет определить направление дальнейших исследований в поиске способа экспрессного метода оценки жизнеспособности семян по их биоэлектрическим характеристикам.

## Выводы

Теоретически показано, что оценку жизнеспособности семян экспрессным методом можно производить только в результате их катастрофического перехода из одного физиологического состояния в другое в результате экстремальных воздействий с контролем внутренней энергии, преобразующейся при ответной физиологической реакции. Предложено получать информацию о преобразовании внутренней энергии семенами пшеницы при скачкообразном изменении физиологического состояния семян с помощью измерений биоэлектрических параметров.

## Библиографический список

1. Ансельм А.И. Основы статистической физики и термодинамики. Изд. 2-е, стер. СПб.: Лань, 2007. 426 с.
2. Гельфер Я.М. История и методология термодинамики и статистической физики. М.: Высшая школа, 1981. 81 с.
3. Термодинамика биологических процессов. М.: Наука, 1980. 290 с.
4. Термодинамика и кинетика биологических процессов. М.: Наука, 1950. 198 с.

5. Термодинамика и регуляция биологических процессов. М.: Наука, 1984.
6. Рубин А.Б. Термодинамика биологических процессов. М.: Издательство МГУ, 1984. 290 с.
7. Вернер Э. Образование структур при необратимых процессах. Введение в теорию диссипативных структур. М.: Ин-т компьютер. исслед.; Ижевск: Регуляр. и хаот. динамика, 2004. 255 с.
8. Эдвартс Р. Ряды Фурье в современном изложении. ТТ. 1, 2. М.: Мир, 1985.

### References

1. Ansel'm A.I. Osnovy statisticheskoy fiziki i termodinamiki. [Fundamentals of statistical physics and thermodynamics] 2nd ed. St. – Petersburg, Lan, 2007: 426. (in Rus.).
2. Gel'fer Ya.M. Istoriya i metodologiya termodinamiki i statisticheskoy fiziki. [History and methodology of thermodynamics and statistical physics]. Moscow, Vysshaya shkola, 1981: 81. (in Rus.).

### Критерии авторства

Андреев В.К., Воскобойников В.А., Андреева Н.В. провели обобщение и написали рукопись. Андреев В.К., Воскобойников В.А., Андреева Н.В. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 24.10.2018

3. Termodinamika biologicheskikh protsessov. [Thermodynamics of biological processes]. Moscow, Nauka, 1980: 290. (in Rus.).

4. Termodinamika i kinetika biologicheskikh protsessov. [Thermodynamics and kinetics of biological processes]. Moscow, Nauka, 1950: 198. (in Rus.).

5. Termodinamika i regulyatsiya biologicheskikh protsessov. [Thermodynamics and regulation of biological processes]. Moscow, Nauka, 1984. (in Rus.).

6. Rubin A.B. Termodinamika biologicheskikh protsessov [Thermodynamics of biological processes]. Moscow, Izdatel'stvo MGU, 1984: 290. (in Rus.).

7. Verner E. Obrazovaniye struktur pri neobratimyykh protsessakh. Vvedeniye v teoriyu dissipativnykh struktur. [Formation of structures in irreversible processes. Introduction to the theory of dissipative structures]. Moscow, In-t komp'yuter. issled.; Izhevsk: Regulyarny i khaot. dinamika, 2004: 255. (in Rus.).

8. Edvarts R. Ryady Fur'ye v sovremennom izlozhenii. [Fourier series in the present exposition]. Vol. 1, 2. Moscow, Mir, 1985. (in Rus.).

### Contribution

Andreyev V.K., Voskoboinikov V.A., Andreyeva L.V. summarized the material and wrote the manuscript. Andreyev V.K., Voskoboinikov V.A., Andreyeva L.V. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on October 24, 2018