

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ПОДХОДА К АНАЛИЗУ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Шведчикова И.А., к.т.н., доц.

Восточноукраинский национальный университет им. Владимира Даля
Украина, 91034, Луганск, кв. Молодежный, 20а, ВНУ им. В. Даля, кафедра "Приборы"
тел. (0642) 41-71-20, E-mail: formula@cci.lg.ua

Обґрунтовано доцільність використання інформаційного підходу до аналізу розвитку електромеханічних систем на прикладі шківних електромагнітних сепараторів. Розглянуто закономірності зміни потоку інформаційної ентропії у разі виникнення інноваційної події. Запропоновано показник для оцінки різноманіття технічних рішень в межах популяції (сукупності) електромеханічних об'єктів.

Обоснована целесообразность использования информационного подхода для анализа развития электромеханических систем на примере шкивных электромагнитных сепараторов. Рассмотрены закономерности изменения потока информационной энтропии в случае наступления инновационного события. Предложен показатель для оценки разнообразия технических решений в пределах популяции (совокупности) электромеханических объектов.

ВВЕДЕНИЕ

Благодаря многочисленным аналогиям и связям между явлениями и объектами различной физической природы появилась возможность трансляции идей из одной более исследованной области знаний в другую менее исследованную. Так, общность принципов структурной организации и эволюции систем природного и природно-антропогенного происхождения (к которым относятся и электромеханические системы) легли в основу теории эволюции электромеханических систем (ТЭЭС) [1, 2], в развитии которой наметился значительный прогресс в последние годы. В ряде публикаций, например в [3, 4], указывается на возможность использования готовых решений из теории информации, в частности негэнтропийного принципа информации, для анализа развития технических систем. В работе [5] также отмечается, что "...процесс развития в определенном аспекте можно моделировать, используя процесс передачи информации, что дает возможность прояснить механизм прогресса с учетом усложнения, упорядочения и повышения степени организации материальных систем".

Известно, что в общем случае количественной мерой неопределенности, беспорядка, разнообразия, хаоса в системе является энтропия [6]. Это означает, что в ходе эволюции разупорядоченность уменьшается за счет оттока энтропии, происходит самоорганизация, система эволюционирует к более сложной структуре. Негэнтропия (отрицательная энтропия) является мерой порядка, упорядоченности, внутренней структуры, связанной информации. Направления действия энтропии и негэнтропии противоположны, т.е. с увеличением энтропии негэнтропия уменьшается. Эти величины изменяются в системе по самостоятельным закономерностям. Одни факторы (параметры) системы приводят к увеличению энтропии, другие – к увеличению негэнтропии [7].

Следует отметить, что негэнтропийный принцип информации (в дальнейшем информационный подход) уже нашел применение при анализе эволюционных процессов в биологических [8] и эколого-экономических [9] системах. Энтропийность рассмат-

ривается как неотъемлемое качество всех живых организмов, проявляющееся на уровне генов, межклеточных связей, внутривидового и межвидового взаимодействия [10]. Поэтому можно предположить, что применение указанного принципа к анализу развития технических систем (в т.ч. и электромеханических систем как их разновидностей) будет оправданным и целесообразным. Более строгое обоснование данного предположения и является целью настоящей статьи.

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА С ПОЗИЦИЙ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА

При дальнейшем изложении будем исходить из того, что информационный подход является развитием системного подхода и базируется на исследовании и изучении конкретного объекта с его взаимоотношениями и взаимосвязями с внешними объектами и внутренними средами [11].

С точки зрения системного подхода электромеханическая система может рассматриваться как сложная открытая динамическая нелинейная система.

Сложность технической системы определяется большим количеством и разнообразием типов ее структурных элементов, внутренних межэлементных связей и связей с внешней средой.

Открытость технической (электромеханической) системы определяется ее реальностью, т.е. принадлежностью к реальному миру, в котором "полностью закрытых систем не существует" [9]. И хотя полностью закрытые системы в принципе могут существовать теоретически, но пока даже "теоретически... не удалось полностью изолировать ни одной системы" [7]. Закрытая (степень открытости $\alpha=0$), предоставленная самой себе техническая система подвергается распаду (например, под действием старения и коррозии материалов), т.к. отсутствует взаимодействие с другими системами и окружающей средой. "Бесхозная", мертвая материя рассеивается. В этом случае действует закон возрастания энтропии (беспорядка, хаоса). Значения $\alpha=\alpha_{\max}$ должны иметь полностью открытые системы, в которых все протекающие процессы сопровождаются

убыванием энтропии [9]. Однако любая система не является полностью открытой, так как такие "ничем не изолированные и не ограниченные от внешней среды" системы "не являются системами по определению" [7].

Динамический характер технической системы определяется тем, что "абсолютно все системы в универсуме находятся в состоянии изменений и превращений" [7]. При этом существование в системах энтропийно-негэнтропийного компонентов придает всем превращениям случайный, стохастический, вероятностный, нелинейный характер.

Известно [12], что сложные открытые динамические нелинейные системы обладают способностью к самоорганизации, под которой понимается способность к самопроизвольному упорядочиванию и усложнению структуры, и в основе которой лежат внутренне присущие подобным системам флуктуации. Как правило, самоорганизация системы обусловлена тенденцией движения системы от одного неравновесного состояния к другому, сопровождаемого понижением энтропии, повышением негэнтропии и организованности системы. Для повышения своей организованности система "должна обязательно получить энергию и негэнтропию извне или из подсистем на микроуровне" [7]. При этом следует иметь в виду, что уменьшение энтропии какого-либо объекта неизбежно ведет к росту энтропии внешней по отношению к нему среды. При этом возрастание энтропии среды всегда больше, чем уменьшение энтропии объекта. Чем лучше и совершеннее технический объект, тем меньше разность этих изменений и тем меньше суммарное возрастание энтропии. При прогрессивном развитии в системе увеличивается больше негэнтропия, чем энтропия.

Таким образом, эволюция технических систем непосредственно связана с принудительным управлением при участии человека, основанная задача которого сводится к противодействию возрастания энтропии и требует творческой работы мысли [13]. В этом случае можно говорить о принудительной или направленной организации технических систем, имеющей место наряду с процессами самоорганизации.

ИННОВАЦИОННЫЕ ЦИКЛЫ В РАЗВИТИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Эволюционирующий характер электромеханических систем определяется тем, что структурное разнообразие и особенности таких систем изменяются во времени под действием целенаправленной деятельности человека. Основными движущими факторами эволюции электромеханических систем (в отличие от систем природного происхождения) выступают потребности общества в новых разновидностях техники и технологий. По аналогии с природными системами и в соответствии с принципом дополнительности [1, 3] могут быть выделены два взаимосвязанных направления эволюции электромеханических систем: макроэволюция (процесс поступательного расширения видового разнообразия электромеханических систем) и микроэволюция (расширение функций и улучшение показателей качества в пределах определенной разновидности электромеханических систем).

Элементарной эволюционирующей единицей электромагнитной системы является популяция. В ТЭЭС под популяцией понимается совокупность технических объектов, объединенных общностью целевой функции, поведения, схожестью электромагнитных и электромеханических процессов [1]. Эволюционный процесс электромеханических систем на уровне популяции является инновационным и может быть представлен как цикл инновационных событий.

Рассмотрим инновационную эволюцию на примере популяций электромеханических систем шкивных электромагнитных сепараторов. На рис. 1 представлена модель микроэволюции электромагнитных шкивов (порождающая структура ЦЛ 2.0х). Отмеченные точками на модели узловые события представляют собой технические решения (инновации), которые улучшают показатели качества или расширяют функциональные возможности популяций электромагнитных шкивов. Информация о технических решениях получена из литературных и патентных источников.

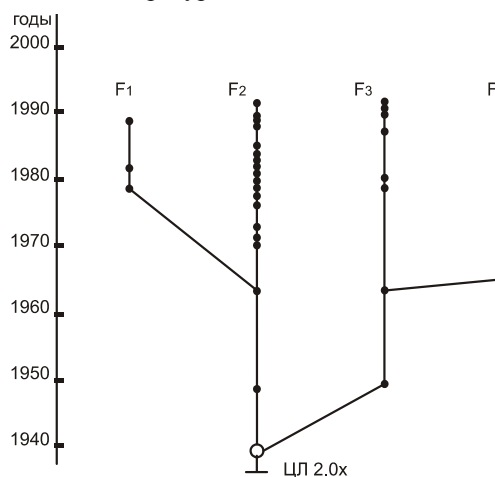


Рис. 1. Модель микроэволюции электромагнитных шкивов

Как следует из рис. 1, инновационное развитие электромагнитных шкивов осуществлялось по нескольким направлениям [14]: улучшение условий сепарации (целевая функция F_1); улучшение извлекающей способности (целевая функция F_2); снижение энергопотребления и интенсификация охлаждения обмоток (целевая функция F_3); повышение надежности разгрузки извлеченного материала (целевая функция F_4). Реализация целевых функций осуществлялась за счет оригинальных конструктивных и компоновочных решений, изменения схем включения обмоток сепаратора и т.д. На рис. 2 для примера показаны основные направления совершенствования популяции (совокупности) электромагнитных шкивов с улучшенными показателями извлекающей способности (целевая функция F_2). Улучшение извлекающей способности электромагнитных шкивов в 40-60-е гг. XX века было связано с изменением геометрической формы, числа и размеров полюсов. С начала 70-х гг. прошлого столетия оформилось новое направление улучшения извлекающей способности шкивов за счет введения асимметрии в магнитное поле путем использования дополнительных конструктивных элементов (например, шунтов). В 80-90-е гг. XX века были пред-

ложены направления интенсификации магнитного поля в рабочей зоне сепараторов, связанные с использованием внешнего намагничивающего устройства, создающего дополнительное магнитное поле, и применением обмоток из ферромагнитного материала. Однако последние два направления интенсификации магнитного поля не нашли еще широкого применения из-за трудностей практической реализации при современном состоянии сепараторостроения.

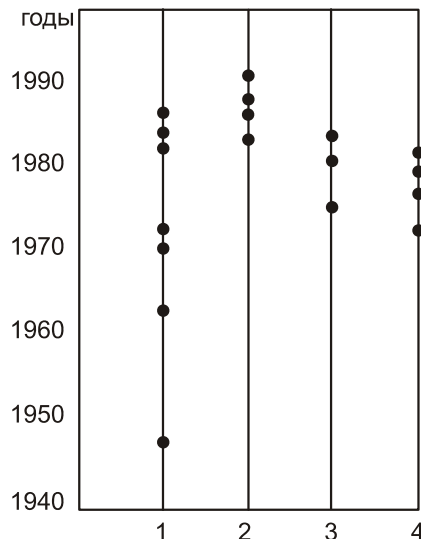


Рис. 2. Направления улучшения извлекающей способности электромагнитных шкивов: 1 – изменение конструкции и геометрии полюсов; 2 – применение обмоток из ферромагнитного материала; 3 – наложение дополнительного внешнего поля; 4 – установка дополнительных внешних конструктивных элементов

С помощью модели (рис. 1) могут быть определены важные числовые параметры, характеризующие популяцию [1]: численность популяции (количество узловых событий в ветвях), плотность или темпы эволюции популяции (количество узловых событий на единицу времени), общее время эволюции популяции, направления переноса информации. Однако данная модель не дает ответа на вопрос, каким образом осуществляется перенос информации в результате наступления инновационного события.

Для анализа инновационной циклической эволюции системы необходимо исследовать динамику информационной энтропии, являющейся мерой неопределенности существования системы, и равной количеству информации по Шеннону, необходимому для снятия этой неопределенности [15],

$$H = - \sum_{j=0}^1 P_j(t) \log_2 P_j(t), \quad (1)$$

где $P_j(t)$ – вероятность j -го состояния системы.

Возможно использование безразмерной относительной энтропийной функции $\frac{H}{H_{\max}}$, где H_{\max} – максимальное значение энтропии. При этом минимальное значение $\frac{H}{H_{\max}} = 0$ соответствует вырождению стохастической системы в жесткую детермини-

рованную. Достижение максимального значения $\frac{H}{H_{\max}} = 1$ в открытой самоорганизующейся системе соответствует точке бифуркации, в которой происходит разрушение старой структуры и начинается формирование новой структуры на ином иерархическом уровне (качественный скачок – переход на новый цикл развития системы).

В работе [16] с применением математического аппарата теории случайных процессов получена аналитическая зависимость для описания динамики потока информационной энтропии $H(t)$ в результате наступления инновационного события. При этом использована модель бистабильного элемента, обладающего двумя устойчивыми состояниями: 0 – "старое", 1 – "новое", в каждом из которых он может находиться достаточно долго. К переходу бистабильного элемента из одного состояния в другое приводит внешнее воздействие при условии, что интенсивность воздействия превысит некоторый пороговый уровень.

Аналитическое выражение для $H(t)$ получено в виде

$$H(t) = - \frac{\alpha}{1+\alpha} \cdot \frac{1}{\ln 2} \cdot \left(\frac{1+\alpha \cdot e^{-\beta t}}{\alpha} \cdot \ln \left(\frac{1}{1+\alpha} \cdot (1 + \alpha \cdot e^{-\beta t}) \right) + (1 - e^{-\beta t}) \cdot \ln \left(\frac{\alpha}{1+\alpha} (1 - e^{-\beta t}) \right) \right), \quad (2)$$

где $\alpha = \frac{\nu}{\mu}$; $\beta = \nu + \mu$; ν, μ – интенсивности переходов

бистабильного элемента соответственно из состояния "0" в состояние "1" и обратно.

Анализ функции (2) показал, что система реагирует на новый режим существования (при $\alpha > 1$) ростом потока информационной энтропии до максимального значения $H_{\max}(t_b) = 1$ в критической точке t_b , соответствующей моменту времени

$$t_b = - \frac{1}{\beta} \cdot \ln \left(\frac{\alpha - 1}{2 \cdot \alpha} \right). \quad (3)$$

Точка t_b является стохастическим аналогом точки бифуркации системы, когда оба состояния системы ("старое" и "новое") равновероятны ($P_0 = P_1 = 0,5$) [16].

На рис. 3 приведена динамика изменения потока информационной энтропии $H(t)$ в случае инновации. Возрастание степени организации системы имеет свой предел, определяемый ограниченными возможностями накопления информации в данной структуре на данном цикле развития. Каждый переход системы на другой иерархический уровень (новый цикл развития с улучшенными показателями качества) неизбежно проходит через критическую точку t_b .

Для анализа процесса накопления информации в процессе эволюции и оценки степени разнообразия технических решений в пределах популяции электро-механической системы (рис. 2) по формальной аналогии с формулой Шеннона (1) может быть принят показатель K

$$K = -\sum_{i=1}^M p_i \cdot \log_2 p_i = -\sum_{i=1}^M \frac{n_i}{N} \log_2 \frac{n_i}{N}, \quad (4)$$

где $p_i = \frac{n_i}{N}$ – отношение численности узловых событий (инноваций) в i -ом направлении развития популяции к общей численности технических решений в пределах данной популяции; M – число популяций (целевых функций).

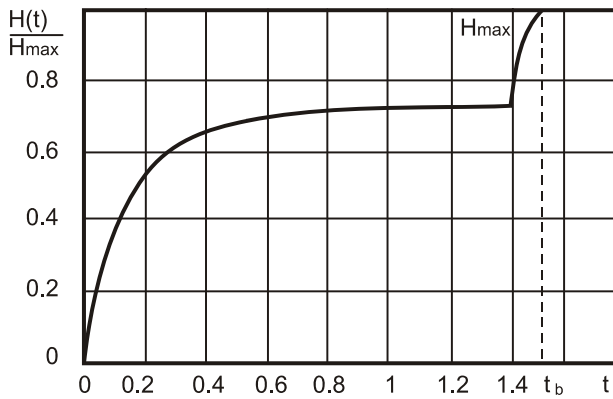


Рис. 3. Динамика изменения потока информационной энтропии $H(t)$

Если $n_i = N$ и $p_i = \frac{n_i}{N} = 1$, то показатель $K=0$. В

этом случае для достижения целевой функции используется ограниченный набор технических решений в пределах одного направления развития популяции. Если p_i принимает некоторые промежуточные значения между нулем и единицей, величина K принимает значения больше нуля и растет с ростом разнообразия направлений развития популяции. Известно [17], что показатель K принимает максимальное значение в том случае, если все вероятности равны между собой $p_1 = p_2 = \dots = p_M = p = \frac{1}{M}$. Тогда

$$K_{\max} = -\sum_{i=1}^M \frac{1}{M} \cdot \log_2 \frac{1}{M} = \log_2 M. \quad (5)$$

Таким образом, увеличивать параметр K можно либо за счет увеличения разнообразия направлений развития популяции и повышения ее устойчивости, либо за счет увеличения численности технических решений в пределах этого разнообразия (в идеальном варианте, за счет выравнивания численности).

Анализ эволюционных процессов с применением теории информации требует также введения коэффициента стохастичности G [18], представляющего собой отношение случайных и детерминированных связей. В упрощенном виде коэффициент стохастичности может быть определен как

$$G = \frac{p_{\min}}{p_{\max} - p_{\min}}, \quad (6)$$

где $p_{\max} = \max\{p_i\}$, $p_{\min} = \min\{p_i\}$.

Крайние значения коэффициента G приводят либо к абсолютной детерминированности (и, в конечном счете, к вырождению), либо к максимальной стохас-

тичности. Действительно, если информация о разнообразии популяции является полностью детерминированной, т.е. существует только одно направление ее развития, то $p_{\max} = 1$, $p_{\min} = 0$ и $G=0$. Если $p_{\max} = p_{\min}$, то коэффициент стохастичности в этом случае стремится к бесконечности $G \rightarrow \infty$. В теории информации такое состояние характеризуется как "деградация".

Выражения (1) и (4), несмотря на формальное формульное соответствие, являются разными характеристиками. Однако, именно благодаря такому соответствию, допускается возможность их логического сопоставления. В частности, могут быть сопоставлены динамика потока информационной энтропии $H(t)$ (рис. 3) и изменение показателя K . Увеличение параметра K (а, следовательно, и подпитка системы информацией) идет вначале по пути увеличения разнообразия направлений развития популяции, т.к. цель может быть достигнута разными способами. После исчерпания данного пути развития дальнейшее увеличение параметра K связано с повышением численности этого разнообразия.

Таким образом, термины "деградация" и "вырождение" целесообразно использовать для обозначения двух полных состояний эволюционирующих систем. При этом от стадии "вырождения" к стадии "деградации" ведет долгий путь эволюции, а путь от "деградации" к "вырождению" представляет собой, как правило, лишь короткий информационный скачок, возможный при определенных условиях. Обычно в ходе скачка система переходит на более высокий структурный уровень, где и продолжает свое развитие с фазы "вырождения", которую, по мнению авторов работы [19], более уместно именовать фазой "перерождения". С учетом отмеченного выше, информационная модель развития электромеханической системы будет иметь вид, изображенный на рис. 4. Точки B_1 , B_2 отражают ситуацию, когда численность популяции высока и в значительной степени проявляется внутривидовая конкуренция.

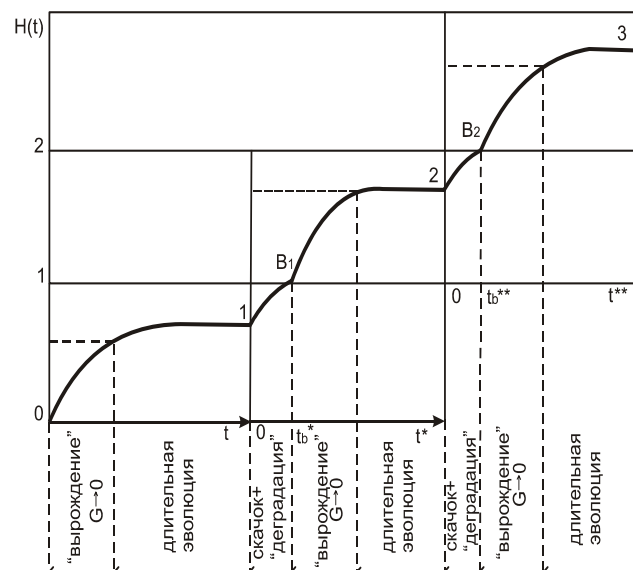


Рис. 4. Информационная модель развития электромеханической системы

Показанные на рис. 4 инновационные циклы отличаются разной длительностью (отмечены как t , t^* , t^{**}), т.е. разномасштабны во временной области. В этом случае можно предположить, что поток инноваций обладает свойством самоподобия (масштабной инвариантности) или имеет мультифрактальную природу. Подтверждение указанной особенности открывает возможности для прогнозирования развития электромеханических объектов.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что процесс развития популяции (совокупности) электромеханических объектов может быть представлен как периодический цикл инновационных событий, сопровождающийся расширением функций и улучшением показателей качества функционирования объектов.

2. Введен новый показатель для характеристики степени разнообразия технических решений в пределах популяции электромеханических объектов и обоснована закономерность его изменения.

3. Предложена информационная модель, отражающая цикл инновационной эволюции электромеханических систем.

4. Выдвинуто предположение о том, что дискретный поток разномасштабных инноваций обладает свойством самоподобия (масштабной инвариантности). В этом случае допускается возможность мультифрактальной трактовки последовательности инновационных событий, теоретическое обоснование которой и будет сделано в последующих работах.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Шинкаренко В.Ф. Основы теорії еволюції електромеханічних систем. – К.: Наукова думка, 2002. – 288 с.
- [2] Шинкаренко В.Ф., Августинович А.А., Нестыкайло О.С. Генетическое моделирование внутривидовой структуры электромеханических преобразователей энергии// Електротехніка і електромеханіка. – 2006. – №4. – С. 42-46.
- [3] Кузнецов Б.Г. Принцип дополнительности. – М.: Наука, 1968. – 88 с.
- [4] Бранспиз Ю.А., Шведчикова И.А., Пилипенко В.Н. К вопросу анализа развития техники и технических наук/Вісник Східноукр. нац. ун-та ім. В. Даля. – 2007. – №1(107). – С. 67-71.
- [5] Чурсин Н.Н. Популярная информатика. – К.: Техніка, 1982. – 158 с.
- [6] Бриллюэн Л. Наука и теория информации. – М.: ГИФМЛ, 1960. – 391 с.
- [7] Лийв Э.Х. Обобщенная негэнтропия, ее поле и информационная среда. – Таллинн: Изд-во ТТУ, 2001. – 36с.
- [8] Эвери Дж. Теория информации и эволюция. – М.: Институт компьютерных исследований; Ижевск: R&C Dynamics, 2006. – 252 с.
- [9] Аптекарь М.Д., Рамазанов С.К., Припотень В.Ю., Руденко М.А. Информационно-энтропийный подход в анализе эколого-экономических систем/ Вісник Східноукр. нац. ун-та ім. В.Даля. – 2005. – №5(87). – С. 265-272.
- [10] Блюменфельд Л.А. Информация, термодинамика и конструкция биологических систем// Соросовский образовательный журнал. – 1996. – №7. – С. 88-92.
- [11] Юзвишин И.И. Информациология или закономерности информационных процессов и технологий в микро- и макромирах Вселенной. – М.: Радио и связь, 1996. – 215 с.
- [12] Прангишвили И.В. Системный подход и общесистемные закономерности. Серия "Системы и проблемы управления". – М.: СИНТЕГ, 2000. – 528 с.
- [13] Дитрих Я. Проектирование и конструирование: Системный подход. – М.: Мир, 1981. – 456 с.
- [14] Загирняк М.В. Исследование, расчет и усовершенствование шкивных магнитных сепараторов. – К.: ИСМО, 1996. – 488 с.
- [15] Николис Дж. Динамика иерархических систем: Эволюционное представление. – М.: Мир, 1989. – 488 с.
- [16] Зайнетдинов Р.И. Синергетический анализ инновационных циклов в науке, технике и технологиях. – Материалы VII Межд. конф. "Циклы" (г. Ставрополь, 2005 г.). – Режим доступа: <http://www.ncstu.tu/cycles>.
- [17] Згуровський М.З., Коваленко І.І., Міхайленко В.М. Вступ до комп'ютерних інформаційних технологій. – К.: Вид-во Європ. ун-ту, 2002. – 265 с.
- [18] Седов Е.А. Эволюция и информация. – М.: Наука, 1976. – 232 с.
- [19] Моничев А.Я., Гелашвили Д.Б. Энтропия и информация: экологический аспект// Вестник НГУ им. Н.И. Лобачевского. – 2001. – №1. – С. 52-59.

Поступила 10.09.2007