

УДК 621.078

Использование когнитивных образов состояний систем в пространстве параметров энтропийных потенциалов для организации мониторинга и управления

Канд. техн. наук В.Л. Лазарев, holod25@yandex.ru,

Т.А. Грахольская, Е.А. Травина, Н.А. Фролков

Университет ИТМО

191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

В работе развивается подход к исследованию систем в пространстве координат энтропийных потенциалов анализируемых параметров. В качестве таких координат предлагается использовать величины, входящие в выражения для энтропийных потенциалов. При этом отдельные этапы или «фазы» эволюционных процессов системы отображаются в пространство «вероятностных свойств» параметров в виде соответствующих когнитивных образов. В результате удается осуществить «сжатие» информации об этих процессах. Получаемые изображения являются весьма информативными, компактными и наглядными. С их использованием представляется возможным осуществлять эффективный мониторинг и управление системами различной природы, особенно в условиях неопределенности, которые характерны для многих процессов и производств пищевой промышленности. Приведены примеры, иллюстрирующие указанные свойства таких отображений.

Также рассматриваются методологические аспекты нахождения значений величин предлагаемых координат в различных ситуациях с исходными данными. Приводятся конкретные рекомендации по организации соответствующих вычислений.

Ключевые слова: когнитивные образы; фазовые портреты; энтропийные потенциалы; критические зоны; состояния неопределенности.

The using of cognitive images of the States of systems in space of entropy potentials parameter for the organization of monitoring and control

Ph.D. Victor L. Lazarev, holod25@yandex.ru,

Tatyana A. Graholskaya, Eugene A. Travina, Nicholas A. Frolov

ITMO University

191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9

The article develops an approach to the study of systems in space of coordinates of entropic potentials of investigated parameters. As such coordinates is propose to use the values that are included in the expressions for the entropic potentials. Thus, individual stages or «phases» of evolution processes of system are display in the space of «probabilistic properties» of parameters as corresponding cognitive images. As a result, can be realized "compression" of information about these processes. The obtained images are very informative, compact and clear. With their use, it is possible to carry out effective monitoring and control of different nature systems, especially in conditions of uncertainty, witch common to many processes and industries of food industry. Also, provides examples illustrating these properties of such mappings.

Also discusses methodological aspects of finding the values of the proposed coordinate's quantities in various situations with the original data. Provides specific recommendations on the organization of the corresponding calculations.

Keywords: cognitive images; phase portraits; entropic potentials; critical areas; state of uncertainty.

Введение

Фазовое пространство используется для качественного анализа процессов эволюций систем. При этом, в обобщенном смысле, понятие «фаза» трактуется как этап, стадия изменения состояния системы. Зачастую под фазовым пространством понимается декартова система координат X_i ($i=1,2,\dots,n$), в качестве которых рассматриваются величины, характеризующие какие-либо свойства системы [1–3]. При исследовании динамики систем в качестве таких координат чаще всего используется выходная величина системы и $(n-1)$ ее производные. При таком подходе состояние системы в любой момент времени в геометрической интерпретации будет описываться положением т. н. изображающей точки в фазовом пространстве. Изменение состояний системы будет характеризоваться перемещениями этой точки по соответствующей траектории. Совокупность фазовых траекторий, соответствующих различным режимам функционирования системы, образует фазовый портрет. Фазовые портреты могут рассматриваться как элементы когнитивной графики, они позволяют получать представление о процессах эволюции систем [1, 2], определить их устойчивость, виды переходных процессов и др. [3, 4]. Широкому внедрению таких методов исследования систем на практике препятствуют следующие обстоятельства.

Первое связано с наличием проблем построения фазовых траекторий в общем виде. Нахождение решений аналитическим путем возможно в некоторых «классических» ситуациях, зачастую далеких от реальных задач. (Таковыми, например, являются отдельные типы линейных динамических систем). Использование методов дискретных вычислений, например, построение фазовых траекторий методом изоклин является трудоемким, сложно поддается алгоритмизации и программированию в общем виде и не всегда удовлетворяет по точности получаемых графических решений [2, 3].

Второе обусловлено необходимостью учета возможных элементов неопределенности значений анализируемых параметров, имеющих место в реальных практических задачах. В этих случаях реализация «детерминистских» схем решения, упомянутых выше, будет являться крайне затруднительной [3, 5, 6].

В свете сказанного, актуальной является проблема выбора координат фазового пространства, использование которых позволит адаптировать технологии исследования систем к указанным обстоятельствам. Использование в качестве фазовых координат составляющих параметров энтропийных потенциалов позволяет «интегрировать» вероятностные свойства параметров системы в модели ее эволюционных процессов.

Постановка задачи

Перспективным направлением создания фазовых портретов является использование в качестве координат фазового пространства величин, входящих в выражения для энтропийных потенциалов анализируемых параметров системы [7, 8, 9]. В качестве пояснения необходимо отметить следующее. Понятие энтропийный потенциал (ЭП) было введено в рамках соответствующей теории, использующей набор понятий энтропийных потенциалов, основанных на принципах «вложения»: ЭП, комплексный ЭП, многомерный комплексный ЭП [7–9]. То есть понятия более высокого уровня выражаются через величины энтропийных потенциалов предыдущих уровней путем учета дополнительных составляющих неопределенности и наоборот.

Для изложения методологической сути подхода достаточно использовать величину ЭП, что позволяет получать наглядную геометрическую интерпретацию на плоскости. При этом имеется возможность его пролонгации для задач большей размерности. Величина ЭП $y-\Delta_e$ определяется, как половина диапазона равномерного распределения $y \in [-\Delta_e, \Delta_e]$ с $p(y) = \frac{1}{2\Delta_e}$, имеющего такую

же вероятностную энтропию $H_y = - \int_{-\infty}^{\infty} p(y) \ln p(y) dy$, как и закон распределения анализируемого параметра. Исходя из определения, величину ЭП можно представить в следующих видах [7, 8]:

$$\Delta_e = \frac{1}{2} e^{H_y} = K_e \sigma, \tag{1}$$

где K_e – энтропийный коэффициент, характеризующий «вариативные» свойства закона распределения параметра, σ – величина среднего квадратического отклонения (СКО). Значение величины K_e может изменяться в пределах от 0 до 2.07. Максимально возможное значение $K_{e(max)}=2.07$ соответствует нормальному закону распределения, который характеризуется «наихудшей» предсказуемостью проявления тех или иных значений параметра относительно других законов.

Использование величин σ и K_e в качестве координат фазового пространства позволяет получать компактные и информативные отображения, характеризующиеся высоким уровнем «сжатия» информации о динамике систем [10–12]. На рисунке (а) изображен «классический» фазовый портрет системы, находящейся в режиме автоколебаний. В качестве координат фазового пространства использованы выходная величина системы y и ее первая производная $z = \frac{dy}{dt}$. Изменение величины y во времени в основном определяется параметрами первой гармоники с амплитудой A и частотой ω , т.е. $y \approx A \sin \omega t$. Отличие реального сигнала от синусоиды обуславливает отличие отдельных траекторий от «идеальных» эллипсов. Фазовые траектории 1, 2 и 3 соответствуют различным режимам автоколебаний с различными амплитудами. Это же движение с позиции «стороннего наблюдателя», не имеющего аналитического описания процесса, можно представить совокупностью значений величины y , являющейся при таком рассмотрении случайной величиной. Рассеяние величины y будет характеризоваться с некоторым приближением арксинусоидальным законом распределения с $K_e \approx 1.11$ и $\sigma \approx A/\sqrt{2}$.

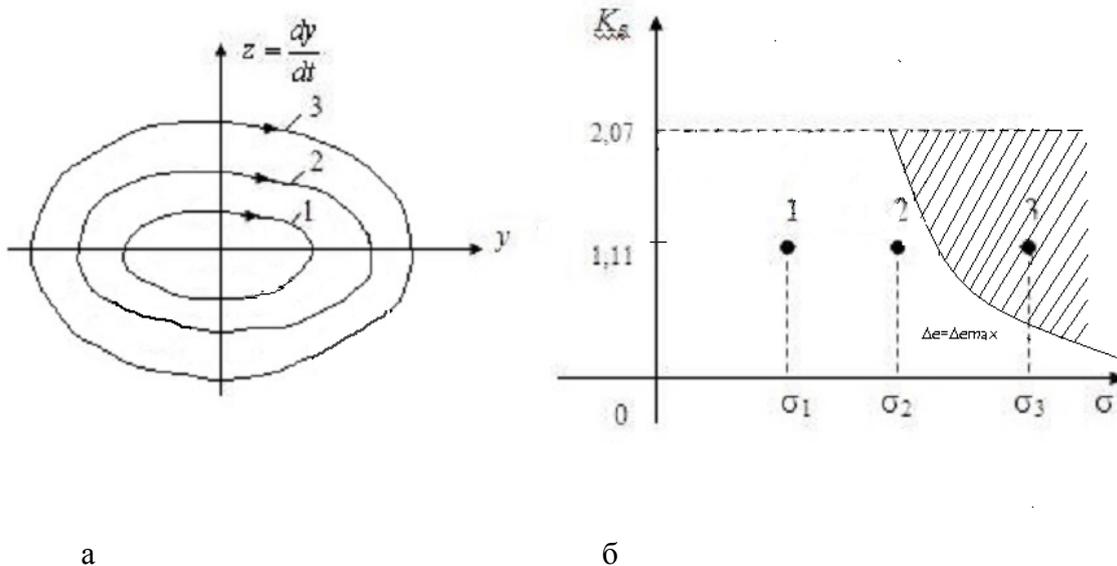


Рисунок – Портреты систем: а – «классический» фазовый портрет, б – фазовый портрет в пространстве параметров ЭП

Таким образом, каждой фазовой траектории на рис. 1(а) будет соответствовать точка на плоскости параметров ЭП (рис.1(б)) с координатами $\sigma_i \approx A_i / \sqrt{2}$; $K_{ei} \approx 1.11$, ($i=1,2,3$). Аналогичным образом можно отобразить и проиллюстрировать другие динамические процессы, например, устойчивый или неустойчивый предельные циклы и др. Предложенный подход оказывается продуктивным для проведения исследований и решения практических задач в различных областях [13–15]. Используя его, представляется возможным и удобным выделить «критические» или запретные зоны в пространстве состояний, попадание в которые изображающей точки чревато возникновением нештатных или аварийных ситуаций в системе. На рис. 1(б) в качестве примера показана зона «мажорантного» ЭП, определяемая из условия

$$\Delta_e = K_e \sigma \geq \Delta_{e(max)}, \quad (2)$$

где $\Delta_{e(max)}$ – предельное или критическое значение ЭП, задаваемое условиями нормальной эксплуатации системы.

Нижняя граница запретной зоны определяется линией, которая задается уравнением $\Delta_{e(max)} = K_e \sigma - \text{const}$. На рисунке упомянутая зона обозначена штриховкой. Очевидно, что в эту зону попадает режим автоколебаний, описываемый траекторией 3. Этот режим неприемлем для системы, что наглядно проиллюстрировано положением соответствующей изображающей точки.

Согласно изложенному подходу, можно констатировать следующее. Перемещение проекции изображающей точки по оси ординат в пространстве параметров ЭП характеризует изменение «вариативных» свойств параметра в эволюционном процессе системы. Перемещение проекции этой точки по оси абсцисс характеризует изменение разброса или рассеяния параметра. А так как величина СКО определяется усредненной мощностью всего спектра гармоник динамической составляющей параметра $\sigma^2 = D = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) d\omega$, где $S(\omega)$ – функция спектральной плотности центрированной составляющей, то отсюда следует, что эта вариация характеризует изменение «энергетики» эволюционного процесса. Совокупные изменения вышеуказанных свойств параметров позволяют «увязать» их с количеством информации, порождаемой соответствующим эволюционным процессом системы (информационным «следом» системы) [6–8]. С этих позиций предлагаемый способ отображения является одним из вариантов «скаляризации» «классического» фазового пространства, основанный на энергоинформационном подходе. С другой стороны, величины σ и K_e в вероятностном аспекте представляют состояние систем и могут определяться различными факторами, например, временем. Поэтому они могут образовывать так называемое пространство с мерой, являющегося частным случаем общего понятия фазового пространства [16]. В этом случае «правила поведения» фазовых траекторий, справедливые для классических дифференцируемых динамических систем (например, строгая направленность «слева-направо» и «справа-налево» для верхней и нижней полуплоскостей соответственно и др.) не будут действовать.

Если пренебречь изменением величины K_e в эволюционном процессе (т.е. полагать, что $K_e = \text{const}$), то величина ЭП, согласно (1) вырождается в масштабное изображение величины σ , что иллюстрирует реализацию идеи «вложения» для понятий ЭПов на нижнем уровне. В этом упрощенном варианте исследование систем может быть осуществлено с использованием известных методов дисперсионного анализа [1, 3].

Таким образом, исследование систем в пространстве параметров σ и K_e позволяет получать информативные характеристики их эволюций.

Методологические аспекты определения значений параметров энтропийных потенциалов

Для дальнейшего внедрения такого подхода на практике целесообразно разработать методологические основы вычисления величин σ и K_e в различных ситуациях с исходными данными. Для этого предлагается рассмотреть и выделить наиболее характерные и часто встречающиеся на практике ситуации, к которым можно отнести следующие.

1. Имеется представительный объем выборки наблюдений величины y на каждом анализируемом этапе ($n > 40$). В этом случае по известным выражениям последовательно вычисляются значения величин σ и H_y . Далее, с использованием выражения (1) последовательно вычисляются значения величины Δ_e , а затем – K_e , которые и будут являться координатами изображающей точки, соответствующей рассматриваемому этапу эволюции системы. И так далее.

2. Имеется возможность получения весьма ограниченного объема выборки наблюдений величины y на каждом анализируемом этапе. Такая ситуация характерна для многих процессов и производств пищевой, химической, металлургической и других отраслей промышленности, где для мониторинга состояний объектов необходимо осуществлять измерения состава и свойств сырья и готовой продукции [8, 9, 15]. Для проведения таких измерений требуется использование сложного оборудования, дорогостоящих реактивов, привлечения высококвалифицированного персонала и значительных затрат времени. Это обуславливает высокую себестоимость информационного обеспечения, что и порождает указанную ситуацию. Здесь использование вышеприведенной схемы выполнения расчетов окажется нецелесообразным, так как при наличии ограниченной выборки результатов наблюдений получение надежных и достоверных оценок величин H_y , Δ_e и K_e не представляется возможным. Поэтому изначально предлагается определить только значение величины σ , для вычисления которой требуется относительно небольшой объем данных. А значение K_e определить косвенными путями. Здесь, в зависимости от конкретной ситуации, возможны различные варианты [8]. Из них наиболее вероятными будут следующие.

1. Значение величины K_e может быть определено исходя из физического смысла явлений и аналогий с подобными системами и др. Так, например, распределение вероятностей значений напряжения сети, нестабильность которого обусловлена наличием случайных подключений и отключений различных потребителей электрической энергии, достаточно адекватно описывается треугольным законом распределения или законом Симпсона с $K_e = 2,02$. Изменение в определенных пределах коммутируемых мощностей, а также подключений и отключений потребителей при достаточно большом их количестве в основном сказывается на изменении величины СКО. В этом случае, при исследовании подобных систем, приближенно можно считать $K_{ey} \approx 2,02$.

2. Метод робастного оценивания. Суть состоит в следующем. Используется обобщенная характеристика закона распределения – λ , которая однозначно и просто определяется на основании ограниченного объема экспериментальных данных.

$$\lambda = \frac{\sigma}{d}, \quad d = \frac{Y_{\max} - Y_{\min}}{2}, \quad (3)$$

где σ – СКО анализируемой величины, d – половина диапазона ее изменения, Y_{\max} и Y_{\min} – наибольшее и наименьшее значения величины в выборке.

Диапазон изменения λ находится в пределах от 0 до 1. Достоинством величины λ для определения величины K_e является то, что она всегда и просто может быть вычислена на основании ограниченного объема экспериментальных данных ($n \geq 2$) для любого закона распределения. Далее, используя значение величины λ в качестве аргумента, по специальной тарировочной кривой $K_e = f(\lambda)$ [8] определяется

соответствующее значение K_e . Для удобства решения практических задач можно использовать ее представление в виде кусочно-линейной аппроксимации

$$K_e = \begin{cases} 2,05; & \text{при } \lambda < 0,45. \\ 3,5 - 3,25 \cdot \lambda; & \text{при } 0,45 \leq \lambda \leq 0,75. \\ 1,05; & \text{при } \lambda > 0,75. \end{cases} \quad (4)$$

3. В более редких случаях возможны ситуации, когда не представляется возможным осуществить наблюдения выходных параметров объекта. Отчасти они могут быть обусловлены вышеуказанными причинами, связанными со сложностью и дороговизной проведения отдельных измерений. В других случаях подобные ситуации могут быть обусловлены особенностями объектов, когда реализация отдельных измерений или в принципе невозможна, либо может исказить или даже нарушить состояние объекта и протекающих в нем процессов. Таковыми, например, могут являться различные объекты с микро и нано структурами, а также объекты для реализации нанотехнологий и др. В этих случаях определение значений вышеупомянутых координат фазового пространства может быть осуществлено косвенными методами на основании информации о входных воздействиях, влияющих на формирование анализируемых параметров. Более подробно и детально эти вопросы рассмотрены в [8].

Особенности построения фазовых портретов

Специфика введенного фазового пространства определяет особенности построения фазовых траекторий-фрагментов портретов, которые состоят в следующем. Эволюционный процесс системы разбивается на ряд последовательных этапов, для каждого из которых вычисляются координаты изображающей точки в виде конкретных значений величин σ и K_e , в соответствии с вышеизложенными аспектами. При построении траектории, соседние по нумерации этапов разбиений точки соединяются отрезками линий с элементами графического сопряжения (в ряде случаев возможно использование отрезков прямых). В результате получается кусочная аппроксимация траектории. Качество построения определяется количеством разбиений. Направление отдельных фрагментов и всей траектории может быть любым. Анализируя расположение траекторий относительно запретных или критических зон, представляется возможным выявить «узкие» места или этапы эволюционного процесса, разработать рекомендации по модернизации системы и организации управления [5, 8, 9]. Так, например, в работе [15] сообщается о результатах использования приведенного подхода к организации мониторинга процесса регулирования температуры при пастеризации молока. В результате проведенных исследований удалось выявить границы «запретной» области в плоскости параметров энтропийных потенциалов (σ и K_e), приближение или попадание в которую изображающей точки, чревато повышением вероятности сбоя в работе системы автоматического регулирования (САР) температуры на конкретном объекте. Последствиями этого могут являться «недогрев» молока и последующий возврат его на повторную обработку или излишний «перегрев» с последующим появлением «пригара» или белковых отложений на внутренних поверхностях теплообменного аппарата. Устранение подобных последствий негативно сказывается на себестоимости продукции. Анализируя перемещение изображающей точки, представляется возможным осуществлять превентивную диагностику процесса регулирования температуры, устранять намечающиеся негативные тенденции в работе системы автоматизации. Одним из возможных путей решения такой задачи может являться целенаправленное изменение настроечных параметров САР в процессе эксплуатации (адаптация САР к изменяющимся условиям).

Заключение

Использование в качестве координат фазового пространства величин, входящих в выражения для энтропийных потенциалов анализируемых параметров системы (σ и K_e), при исследовании эволюционных процессов позволяет получать весьма информативные и компактные формы отображений. Эти формы можно рассматривать как элементы информационных когнитивных технологий, которые целесообразно использовать для организации мониторинга и управления системами различной природы. Предлагаемый подход является оригинальным, отличается простотой и удобством в применении.

Литература

1. Бессекерский В.А., Попов Е.П. Теория систем автоматического управления. Изд. 4-е, перераб. и доп. СПб.: Изд-во «Профессия», 2003. 752 с.
2. Заде Л., Дезоер Ч. Теория линейных систем (Метод пространства состояния). М.: Наука, 1970. 704 с.
3. Методы классической и современной теории автоматического управления. В 5 т. Т.1. Математические модели, динамические характеристики и анализ систем автоматического управления / ред. К.А. Пупкова, Н.Д. Егупова. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 656 с.
4. Бобцов А.А., Никифоров В.О., Пыркин А.А., Слита О.В., Ушаков А.В. Методы адаптивного и робастного управления нелинейными объектами в приборостроении: учебное пособие для высших учебных заведений. СПб.: НИУ ИТМО, 2013. 277 с.
5. Lazarev V.L. An entropy approach to monitoring and control. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2005, V. 44, no. 6, pp. 893–899.
6. Lazarev V.L. Analysis of Systems Based on Entropy and Information Characteristics. *Technical Physics*. V. 55, no. 2, pp. 159–165.
7. Lazarev V.L. The Theory of Entropy Potentials, Basic Concepts, Results and Applications. *Pattern Recognition and Image Analysis (Advances in Mathematical Theory and Applications)*. 2011. Vol. 21, no. 4, pp. 637–648.
8. Лазарев В.Л. Теория энтропийных потенциалов. СПб.: Изд-во Политехнического ун-та, 2012. 127 с.
9. Прокопчина С.В., Шестопалов М.Ю., Уткин Л.В., Курприянов М.С., Лазарев В.Л., Имаев Д.Х., Горохов В.Л., Жук Ю.А., Спесивцев А.В. Управление в условиях неопределенности. СПб.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2014. 304 с.
10. Туричин А.М., Новицкий П.В., Левшина Е.С. Электрические измерения неэлектрических величин. Л.: Энергия, 1975. 576 с.
11. Бураковский П.Е., Нечаев Ю.И. Практическая реализация графоаналитической системы контроля общей прочности промысловых судов на основе современной теории катастроф // Морские интеллектуальные технологии. 2014. №4 (24). С. 10–16.
12. Кошевой О.С., Глебова Т.А., Чиркина М.А. Диагностика показателей концентрации распределения среднедушевых денежных доходов населения на основе энтропийного подхода // Региональная архитектура и строительство. 2012. №2. С. 192–195.
13. Домбровский М.А., Буторина О.В. Анализ энтропийного потенциала инфраструктуры региона на примере Пермского края // Экономика и предпринимательство. 2015. №5-1 (58-1). С. 305–310.
14. Нечаев Ю.И., Петров О.Н. Функциональное пространство при интерпретации «потенциальной ямы» в условиях резкого снижения остойчивости поврежденного судна // Морские интеллектуальные технологии. 2014. №26. С. 15–21.
15. Лазарев В.Л., Митин Е.Е. Мониторинг процессов термообработки жидких продуктов на основе методов теории энтропийных потенциалов // Вестник международной академии холода. 2013. №2, С. 43–45.
16. Аносов Д.В. Фазовое пространство // Математическая энциклопедия. М.: Изд-во «Советская энциклопедия», 1985. Т.5. С. 587–588.

References

1. Bessekerskii V.A., Popov E.P. *Teoriya sistem avtomaticheskogo upravleniya* [Theory of automatic control systems], 4th ed. St.Petersburg, Professiy Publ., 2003, 752 p.
2. Zade L., Dezoer Ch. *Teoriya lineinykh sistem (Metod prostranstva sostoyaniya)* [Theory of linear system (Method of state space)]. Moscow, Nauka Publ., 1970, 704 p.
3. Metody klassicheskoi i sovremennoi teorii avtomaticheskogo upravleniya [Methods of classical and modern theory of automatic control], 5 V. In editor K.A. Pupkova, N.D. Egupova, *Matematicheskie modeli, dinamicheskie kharakteristiki i analiz sistem avtomaticheskogo upravleniya* [Mathematical models, dynamic characteristics and analysis of automatic control systems], V.1. Moscow, MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2004, 656 p.
4. Bobtsov A.A., Nikiforov V.O., Pyrkin A.A., Slita O.V., Ushakov A.V. *Metody adaptivnogo i robastnogo upravleniya nelineinymi ob"ektami v priborostroenii* [Methods of adaptive and robust control of nonlinear objects in the instrumentation: textbook for higher educational institutions]. St.Petersburg, NIU ITMO Publ., 2013, 277 p.
5. Lazarev V.L. An entropy approach to monitoring and control. *Journal of Computer and Systems Sciences International*, 2005, V. 44, no. 6, pp. 893–899.
6. Lazarev V.L. Analysis of Systems Based on Entropy and Information Characteristics. *Technical Physics*. V. 55, no. 2, pp. 159–165.
7. Lazarev V.L. The Theory of Entropy Potentials, Basic Concepts, Results and Applications. *Pattern Recognition and Image Analysis (Advances in Mathematical Theory and Applications)*. 2011, V. 21, no. 4, pp. 637–648.
8. Lazarev V.L. *Teoriya entropiinykh potentsialov* [The theory of entropy potentials]. St.Petersburg, Politechnical University Publ., 2012, 127 p.
9. Prokopchina S.V., Shestopalov M.Yu., Utkin L.V., Kupriyanov M.S., Lazarev V.L., Imaev D.Kh., Gorokhov V.L., Zhuk Yu.A., Spesivtsev A.V. *Upravlenie v usloviyakh neopredelennosti* [Management under conditions of uncertainty]. St. Petersburg, SPbGETU «LETI» Publ., 2014, 304 p.
10. Turichin A.M., Novitskii P.V., Levshina E.S. *Elektricheskie izmereniya neelektricheskikh velichin* [Electric measurements of non-electrical quantities]. Leningrad, Energiya Publ., 1975, 576 p.
11. Burakovskii P.E., Nechaev Yu.I. Prakticheskaya realizatsiya grafoanaliticheskoi sistemy kontrolya obshchei prochnosti promyslovykh sudov na osnove sovremennoi teorii katastrof [Practical implementation of the graphical control system of the overall strength of fishing vessels on the basis of modern catastrophe theory]. *Marine intellectual technologies*. 2014, no. 4(24). pp. 10–16.
12. Koshevoi O.S., Glebova T.A., Chirkina M.A. Diagnostika pokazatelei kontsentratsii raspredeleniya srednedushevnykh denezhnykh dokhodov naseleniya na osnove entropiinogo podkhoda [Diagnostic concentration ratios of the distribution of per capita monetary incomes of the population on the basis of entropy approach]. *Regional architecture and construction*. 2012, no. 2, pp. 192–195.
13. Dombrovskii M.A., Butorina O.V. Analiz entropiinogo potentsiala infrastruktury regiona na primere Permskogo kraia [The entropy analysis of the infrastructure potential of the region on the example of Perm Region]. *Economics and entrepreneurship*. 2015, no. 5-1(58-1), pp. 305–310.
14. Nechaev Yu.I., Petrov O.N. Funktsional'noe prostranstvo pri interpretatsii «potentsial'noi yamy» v usloviyakh rezkogo snizheniya ostoichivosti povrezhdennogo sudna [Functional space in the interpretation of "potential well" in the conditions of sharp decrease of stability of the damaged vessel]. *Marine intellectual technologies*. 2014, no. 26. pp. 15–21.
15. Lazarev V.L., Mitin E.E. Monitoring protsessov termoobrabotki zhidkikh produktov na osnove metodov teorii entropiinykh potentsialov [Monitoring of heat treatment processes of liquid products on the basis of the theory of entropy potentials]. *Vestnik mezhdunarodnoi akademii kholoda* [Bulletin of the international Academy of refrigeration]. 2013, no. 2, pp. 43–45.
16. Anosov D.V. Fazovoe prostranstvo [Phase space]. *Mathematical encyclopedia*. In editor I.M. Vinogradov. Mocsow, Sovetskaya entsiklopediya Publ., 1985, V.5, pp. 587–588.

Статья поступила в редакцию 03.11.15