вання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 30 (1252). – С. 64 – 70. Бібліогр.: 8 назв. – ISSN 2222-0631.

Simulation of the flow in the compressor blade channel taking into account the rotation of the runner for the estimation of aerodynamic forces / A. O. Karpik // Bulletin of National Technical University «KhPI» Series: Mathematical modeling in engineering and technologies. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2017. – № 30 (1252). – pp. 64 – 70. Bibliog.: 8 titles. – ISSN 2222-0631.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / Information about authors

Карпік Анна Олександрівна – асистент кафедри комп'ютерного моделювання процесів та систем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; тел.: (050) 739-39-62; e-mail: Karpikann@gmail.com.

Карпик Анна Александровна – ассистент кафедры компьютерного моделирования процессов и систем Национального технического университета «Харьковский политехнический институт», г. Харьков; тел.: (050) 739-39-62; e-mail: Karpikann@gmail.com.

Karpik Anna Aleksandrovna – assistant at the Department of Computer Modeling of Processes and Systems, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov; tel.: (050) 739-39-62; e-mail: Karpikann@gmail.com.

УДК 621.317.1

О. Ю. КРОПАЧЕК

КОРРЕЛЯЦИОННО-СПЕКТРАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ АВТОКОГЕРЕНТНОСТИ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Удосконалено математичну модель для розрахунку коефіцієнта автокогерентності з метою виявлення частотної і тимчасової нестаціонарності перехідних випадкових теплових процесів. Показано можливість використання коефіцієнта частотної нестаціонарності по зрушенню для контролю екстремальних значень багатовимірних теплових процесів при істотних обмеженнях інтервалу часу спостереження. Доведено можливість екстраполяції контрольованих багатовимірних термодинамічних параметрів за вдосконаленими коефіцієнтами автокогерентності з використанням імовірнісно обгрунтованої процедури локального прогнозування.

Ключові слова: теплові процеси, температура, прогнозування, діагностика, ідентифікація, когерентність.

Усовершенствована математическая модель для расчёта коэффициента автокогерентности с целью выявления частотной и временной нестационарности переходных случайных тепловых процессов. Показана возможность использования коэффициента частотной нестационарности по сдвигу для контроля экстремальных значений многомерных тепловых процессов при существенных ограничениях интервала времени наблюдения. Доказана возможность экстраполяции контролируемых многомерных термодинамических параметров по усовершенствованным коэффициентам автокогерентности с использованием вероятностно обоснованной процедуры локального прогнозирования.

Ключевые слова: тепловые процессы, температура, прогнозирование, диагностика, идентификация, когерентность.

The mathematical model for computing the coefficient of auto-coherence has been improved to detect the frequency and time nonstationarity of transient random thermal processes. The possibility of using the factor of frequency nonstationarity in the shift to control the extreme values of multidimensional thermal processes is shown under significant limitations of the observation time interval. The possibility of extrapolation of the controlled multidimensional thermodynamic parameters by the improved coefficients of auto-coherence with the use of a probabilistically grounded procedure of local prediction is proved. Equations for predicting error variances for alternative computational procedures are obtained and conditions for improving forecasting efficiency are determined. The possibility of increasing the accuracy of the statistical control of thermal processes when extrapolating by the improved coefficients of auto-coherence is proved.

Key words: thermal processes, temperature, prediction, diagnostics, identification, coherence.

Введение. Измерительные случайные сигналы, отражающие локальные термодинамические процессы, несут важную информацию о долговременной функциональной стабильности динамических объектов. Однако обнаружить такую информацию в сигналах с априори неизвестными вероятностными моделями нестационарности – это проблема. Ее возможное решение – создание информационных технологий параметризации и нормирования случайных спектральных изменений сигналов при существенных ограничениях на время наблюдения. Выявление закономерностей в случайных моделях нестационарности – это получение принципиально новой дополнительной информации о функциональных свойствах динамического объекта, способствующей решению многих проблемных задач идентификации объектов и оптимального синтеза информационных компьютеризированных систем в условиях априорной неопределенности.

Анализ последних исследований. Проблема эффективного прогнозирования поведения сложных промышленных объектов по характеру процессов, протекающих в них, всегда являлась предметом вероятностно-статистического анализа процедур преобразования первичной измерительной информации во вторичные логические решения. При этом, степень и глубина изучения проблемы связывалась со сложностью математической модели процедуры такого преобразования [1 – 2]. Лучше всего изучена проблема для простых (линейных) процедур, реализованных в виде параметрических линейных *дискриминантных функций* (ДФ) [1, 3]. Квадратичные функции, учитывающие априорную информацию большего (в разы) объема, исследованы недостаточно [4]. По крайней мере, отсутствуют статистически обоснованные модели функциональной связи между объемами обучающих выборок, используемых для синтеза коэффициентов дискриминантной функции, и интервальными оценками достоверности получаемых решений.

Постановка задачи. Целью исследований в данной статье является усовершенствование методов вероятностного анализа математических моделей автокогерентности для нестационарных инфранизкочастотных термодинамических сигналов, для чего необходимо:

- развить экстраполяционную теорию прогнозирования случайных процессов и разработать математические модели сравнительного анализа информационных возможностей структурно различных экстраполяционных вычислительных процедур для контроля многомерных термодинамических систем;
- усовершенствовать вероятностную модель статистического анализа процедур измерительно-логического преобразования типа квадратической решающей функции, когда существенно ограничены объемы обучающих выборок;
- использовать полученную модель для информационного ранжирования и оптимизации пространства корреляционно-спектральных параметров.

Выбор математической модели показателя автокогерентности. Теория взаимно-корреляционного и взаимно-спектрального анализа нестационарных случайных процессов широко используется для контроля изменений различных моделей нестационарности, в частности, нестационарности спектральной [5]. Для контроля стационарно-связанных сигналов $\xi(t)$ и $\eta(t)$ [6], один из которых *нормативно стационарен*, а в другом допускается появление коррелированности гармоник, используют *функцию когерентности*

$$\gamma_{\xi\eta}(\omega) = \left| f_{\xi\eta}(\omega) \right| / \left[f_{\xi}(\omega) \cdot f_{\eta}(\omega) \right]^{1/2}, \tag{1}$$

где $f_{\xi\eta}(\omega)$ – взаимная спектральная плотность сигналов $\xi(t)$ и $\eta(t)$, а $f_{\xi}(\omega)$ и $f_{\eta}(\omega)$ – их спектральные плотности мощности.

При выявлении коррелированности гармонических составляющих на частотах $\omega + k\omega_0/2$ и $\omega - k\omega_0/2$ (здесь $\omega_0 = 2\pi/T$, где T – период нестационарности, k – номер гармоники) используют функцию автокогерентности [7], подобную модели (1):

$$\gamma_k(\omega) = \left| f_k\left(\omega + k\frac{\omega_0}{2}\right) \right| / \left[f_0\left(\omega - k\frac{\omega_0}{2}\right) \cdot f_0\left(\omega + k\frac{\omega_0}{2}\right) \right]^{1/2}. \tag{2}$$

В модели (2) используют две версии исходного случайного процесса, сдвинутых влево и вправо от частоты ω на величину $k\omega_0/2$.

Более удобной математической моделью выявления случайной модуляции отдельных гармоник, а, следовательно, и их коррелированности с соседними гармониками, является модель автокогерентности вида

$$\gamma_x(k) = |\mu_k| / \left[\mu_k^2 + \sigma^2(k) \right]^{1/2}, \tag{3}$$

где μ_k – математическое ожидание амплитуды $k-$той гармоники; $\sigma^2(k)$ – математическое ожидание ее дисперсии [8].

Модель (3) – это нормированный коэффициент линейной корреляции между $k-$той гармоникой исходного процесса $x(t)$ и этой же гармоникой, но квадратично преобразованной, при условии, что исходный процесс является *гауссовским с параметрами* μ_k, $\sigma^2(k)$.

Используем модель (3) для выявления спектральной нестационарности сигналов термопреобразователей, когда математическое ожидание спектральной плотности μ_k является двумерной функцией времени (на интервале сдвига) и частоты (на интервале масштаба). Сама спектральная плотность процесса изменения температуры может быть представлена множеством вейвлет-коэффициентов дискретизированного непрерывного преобразования в соответствии с математической моделью.

Обозначим символами ξ спектр исходного процесса изменения контролируемой температуры и $\eta = \xi^2$ – спектр после его квадратического преобразования. Получим две модели спектральной нестационарности теплового процесса:

а) частотной нестационарности;

б) нестационарности по времени,

позволяющие построить таблицу составляющих ковариационного разложения взаимоспектральной зависимости спектров ξ и η по частоте и по времени. Такое разложение дает возможность рассматривать модель $\gamma_x(k)$ (выражение (3)) в двумерном варианте, с усреднением по масштабу a и усреднением по сдвигу b вейвлет-изображения, а именно:

а) для нестационарности спектра теплового процесса по частоте – как характеристику изменчивости спектра внутри групп для разных моментов времени;

б) для нестационарности спектра этого же процесса по времени – как характеристику его изменчивости внутри групп на разных частотах.

Такие усреднения позволяют заменить модель (3) оценками частных корреляций, учитывающих преобразование $\eta = \xi^2$, мы получаем:

а) для модели частотной нестационарности –

$$\gamma_x^{(11)}(a) = \left(\sigma_\xi \sigma_{\xi^2}\right)^{-1} \frac{Q}{(L-1)} \sum_{l=1}^{L} \left(\overline{\xi_l} - \overline{\xi}\right)\left(\overline{\xi_l^2} - \overline{\xi^2}\right), \tag{4}$$

$$\gamma_x^{(12)}(b) = \left(\sigma_{(a)}\sigma_{(b)} L(Q-1)\right)^{-1} \sum_{l=1}^{L}\sum_{q=1}^{Q} \left(\xi_{lq} - \overline{\xi_l}\right)\left(\xi_{lq}^2 - \overline{\xi_l^2}\right), \tag{5}$$

б) для нестационарности по времени –

$$\gamma_x^{(21)}(b) = \left(\sigma_\xi \sigma_{\xi^2}\right)^{-1} \frac{L}{(Q-1)} \sum_{q=1}^{Q} \left(\overline{\xi_q} - \overline{\xi}\right)\left(\overline{\xi_q^2} - \overline{\xi^2}\right), \tag{6}$$

$$\gamma_x^{(22)}(a) = \left(\sigma_{(a)}\sigma_{(b)} Q(L-1)\right)^{-1} \sum_{l=1}^{L}\sum_{q=1}^{Q} \left(\xi_{lq} - \overline{\xi_q}\right)\left(\xi_{lq}^2 - \overline{\xi_q^2}\right). \tag{7}$$

Равенства (4) – (7) полностью определяют независимые (в рамках, частотной либо временной моделей нестационарности) пары частных коэффициентов автокогерентности:

а) $\gamma_x^{(11)}(a)$ и $\gamma_x^{(12)}(b)$;

б) $\gamma_x^{(21)}(b)$ и $\gamma_x^{(22)}(a)$.

Такая информационная независимость обеспечена статистическими свойствами математических моделей дисперсионного разложения вейвлет-изображения. Следует, также, отметить, что среднеквадратичные отклонения $\sigma_{(a)}$ и $\sigma_{(b)}$ в выражениях (5) и (7) являются остаточными и определяются исходя из условий

$$\begin{cases} \sum_{l=1}^{L} \rho = \sum_{q=1}^{Q} \rho_q = 0;\ \sum_{l=1}^{L}\sum_{q=1}^{Q} \varepsilon_{lq}^{(a)} = \sum_{l=1}^{L}\sum_{q=1}^{Q} \varepsilon_{lq}^{(b)} = 0; \\ M\left[\varepsilon_{lq}^{(a)2}\right] = \sigma_{(a)}^2 = const;\ M\left[\varepsilon_{lq}^{(b)2}\right] = \sigma_{(b)}^2 = const, \end{cases} \tag{8}$$

модели нестационарности по времени

$$\xi_{lq}^{(b)} = \overline{\xi} + \rho_q^{(b)} + \varepsilon_{lq}^{(a)}, \tag{9}$$

где $M[\bullet]$ – знак математического ожидания; $\rho_q^{(b)}$ – изменение среднего значения спектра ξ_{lq} по сдвигу (времени), обусловленное влиянием фактора Φ; $\varepsilon_{lq}^{(a)}$ – остаточные (случайные) изменения спектра ξ_{lq} по масштабу, при фиксированном сдвиге.

Практическое использование полученных уравнений предполагает, что общее число масштабов (L) и сдвигов (Q) должно быть достаточно большим ($L \geq 30$ и $Q \geq 30$), обеспечивая статистическую устойчивость оценок частных коэффициентов автокогерентности (4) – (7). При этом обозначение k в общем выражении (3) является условным целочисленным параметром, определяя множество масштабов или сдвигов вейвлет-преобразования.

Исследование коэффициентов автокогерентности при контроле параметрической стабильности многомерных термодинамических процессов. Совершенствование методов контроля тепловых режимов технологического оборудования предполагает, в первую очередь, учет особенностей динамики конечного множества переходных термодинамических процессов. Такое множество позволяет представить объект контроля в виде вектора-функции в p– мерном пространстве температур $T_1, ..., T_p$ (где p – размерность множества переходных процессов). Контролировать динамику изменений такого вектора удобнее всего, если исходные переходные процессы $\left\{T_1(t), ..., T_p(t)\right\}$ представлены в форме параметров, несущих информацию о виде математической модели динамических изменений во времени, включающей как регулярно-функциональную, так и случайную составляющие. Такими параметрами являются два частных коэффициента автокогерентности $\gamma_x^{(21)}(b)$ и $\gamma_x^{(12)}(b)$, определяемых уравнениями (6) и (5) соответственно. Оба коэффициента несут информацию о крупномасштабной (функциональной) и мелкомасштабной (остаточной) спектральной нестационарности тепловых процессов для различных интервалов времени наблюдения.

В табл. 1 представлены значения коэффициентов $\gamma_x^{(21)}(b)$ и $\gamma_x^{(12)}(b)$ для неполных (по отношению к номинальному $\Delta t_н$) интервалов наблюдения Δt пяти экспоненциально нарастающих до пределов $T_{н1}, ..., T_{н5}$ процессов $T_1(t), ..., T_5(t)$. Столбцы, отвечающие исследуемым тепловым процессам $T_1(t), ..., T_5(t)$, расставлены в порядке возрастания их предельных значений $T_1, ..., T_5$. Все нарушения ранжировки соответствующих коэффициентов автокогерентности затенены. Из таблицы видно, что только для коэффициента $\gamma_x^{(12)}(b)$ ранжировка его значений не нарушена (причём даже для малых интервалов наблюдения $0.33\Delta t_н$ и $0.66\,0.66\Delta t_н$). Это позволяет контролировать нормативно ранжированные соотношения глобальных температурных экстремумов на начальных стадиях разогрева термодинамической технологической установки, экономя, например, время ее испытаний. Фактически коэффициент автокогерентности $\gamma_x^{(12)}(b)$ можно использовать для экстраполяции (прогнозирования) многомерных температурных экстремумов.

Таблица 1 – Значения частных коэффициентов автокогерентности при ограничениях на время наблюдения тепловых процессов

Коэффициент автокогерентности	Интервал наблюдения Δt	Предельные значения тепловых процессов				
		$T_{н1} = 4.902°C$	$T_{н2} = 6.0°C$	$T_{н3} = 6.351°C$	$T_{н4} = 6.949°C$	$T_{н5} = 45.21°C$
$\gamma_x^{(21)}(b)$	$0.33\Delta t_н$	-0.9673	-0.9670	-0.9191	-0.9631	-0.9405
	$0.66\Delta t_н$	-0.7418	-0.7298	-0.7648	-0.7418	-0.7992
	$0.8\Delta t_н$	-0.4074	-0.4756	-0.4705	-0.5911	-0.6773
	$0.9\Delta t_н$	-0.3642	-0.4685	-0.4392	-0.6064	-0.6912
	$\Delta t_н$	-0.4001	-0.4915	-0.4717	-0.6036	-0.6849
$\gamma_x^{(12)}(b)$	$0.33\Delta t_н$	0.8872	0.7785	0.7409	0.4939	0.4292
	$0.66\Delta t_н$	0.8719	0.8406	0.8043	0.7606	0.7133
	$0.8\Delta t_н$	0.9868	0.8779	0.8540	0.8307	0.7976
	$0.9\Delta t_н$	0.8985	0.8821	0.8562	0.8344	0.7986
	$\Delta t_н$	0.9059	0.8940	0.8680	0.8577	0.8278

Второе, важное свойство коэффициента $\gamma_x^{(12)}(b)$ позволяет обнаружить табл. 2, в которой представлены мгновенные (на момент окончания интервала наблюдения Δt) значения температур для процессов $T_1(t), ..., T_5(t)$.

В табл. 2 в строке для $\Delta t = 0.66\Delta t_н$ нарушена ранжировка текущих температур $T_2(\Delta t_2)$ и $T_3(\Delta t_3)$. Соответствующие температуры затонированы. Такое нарушение, тем не менее, не повлияло на ранжировку коэффициента $\gamma_x^{(12)}(b)$ в табл. 1, что указывает на свойство такого коэффициента отражать общую тенденцию многомерной ранжировки во времени для всей системы термодинамических показателей контроля. Это еще раз указывает на экстраполяционные (в многомерном представлении) свойства частотного коэффициента автокогерентности $\gamma_x^{(12)}(b)$. Это свойство особенно важно при контроле тепловых процессов, динамика и предельные (экстремальные) значения которых находятся в зонах пересечения допусковых интервалов, и уменьшение этих интервалов метрологически обеспечить невозможно (как, например, для температур $T_2(t)$ и $T_3(t)$).

Таблица 2 – Текущие значения температур в конце интервалов наблюдения

Интервал наблюдения	Предельные значения тепловых процессов				
Δt	$T_{н1} = 4.902°C$	$T_{н2} = 6.0°C$	$T_{н3} = 6.351°C$	$T_{н4} = 6.949°C$	$T_{н5} = 45.21°C$
$0.33\Delta t_н$	1.712	2.664	2.994	4.218	31.502
$0.66\Delta t_н$	4.360	5.619	5.566	6.711	42.431
$0.8\Delta t_н$	4.661	5.823	6.082	6.888	44.123
$0.9\Delta t_н$	4.820	5.930	6.253	6.948	44.718

Реализации температурных процессов $T_2(t)$ и $T_3(t)$ и их вейвлет-спектров практически неразличимы, однако, различия все же существуют. Они содержатся в моделях остаточных мелкомасштабных спектральных изменений, выявляемых с помощью частотного коэффициента автокогерентности $\gamma_x^{(12)}(b)$.

Выводы. Таким образом, в данной работе получены следующие результаты [9]. Усовершенствована математическая модель расчёта коэффициента автокогерентности для выявления частотной и временной нестационарности переходных случайных тепловых процессов.

Рассмотрены модели построения пространства информативных параметров таких, как коэффициентов автокогерентности термодинамических процессов и показана возможность использования этих параметров для прогнозирования функциональных термодинамических состояний.

Доказана возможность экстраполяции контролируемых многомерных термодинамических параметров по усовершенствованным коэффициентам автокогерентности с использованием вероятностно обоснованной процедуры локального прогнозирования.

Список литературы

1. *Раудис Ш.* Ограниченность выборки в задачах классификации // Статистические проблемы управления. – Вильнюс. – 1976. – Вып. 18. – С. 1 – 185.
2. *Мигущенко Р. П.* Исследование влияния ограниченности априорной информации на вид и размер достоверности диагностики // Вестник БГТУ им. В. Г. Шухова. – Белгород : БГТУ им. В. Г. Шухова. – 2014. – № 6. – С. 201 – 204.
3. *Уткин Л. В.*, *Жук Ю. А.*, *Селиховкин И. А.* Модель классификации на основе неполной информации о признаках в виде их средних значений // Искусственный интеллект и принятие решений. – 2012. – № 3. – С. 71 – 81.
4. *Щапов П. Ф.*, *Аврунин О. Г.* Повышение достоверности контроля и диагностики объектов в условиях неопределённости : монография. – Х. : ХНАДУ, 2011. – 191 с.
5. *Мирский Г. Я.* Характеристики стохастической взаимосвязи и их измерения. – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 320 с.
6. *Бендат Дж.*, *Пирсол А.* Применения корреляционного и спектрального анализа. – М. : Мир, 1983. – 312 с.
7. *Gardner W. A.* Introduction to Random Processes with Application to Signals and Systems. – New York : Macmillan, 1985. – 434 p.
8. *Яворський І. М.* Математичні моделі та аналіз стохастичних коливань. – Львів : ФМІ НАН України, 2013. – 802 с.
9. *Мигущенко Р. П.*, *Кропачек О. Ю.*, *Хрипунова А. Л.*, *Коржов І. М.* Формирование системы корреляционно-спектральных информативных параметров нестационарных вибросигналов // *Матеріали 17-ої міжнародної науково-технічної конференції «Проблеми інформатики та моделювання»*. – Одесса. – 2017. – С. 3.

References (transliterated)

1. Raudis Sh. Ogranichennost' vyborki v zadachakh klassifikatsii [Sample limitation in classification problems]. *Statisticheskie problemy upravleniya* [Statistical problems of control]. Vil'nyus, 1976, no. 18, pp. 1–185.
2. Migushhenko R. P. Issledovanie vliyaniya ogranichennosti apriornoy informatsii na vid i razmer dostovernosti diagnostiki [Studying the influence of a priori data limitations on the type and dimension of diagnostics reliability]. *Vestnik BGTU im. V. G. Shukhova* [Bulletin of the V. G. Shuhov BSTU]. Belgorod, BGTU im. V. G. Shukhova Publ., 2014, no. 6, pp. 201–204.
3. Utkin L. V., Zhuk Yu. A., Selikhovkin I. A. Model' klassifikatsii na osnove nepolnoy informatsii o priznakakh v vide ikh srednikh znacheniy [Classification model based on the incomplete information about characteristics in the form of their mean values]. *Iskusstvennyy intellekt i prinyatie resheniy* [Artificial intelligence and making decisions]. 2012, no. 3, pp. 71–81.
4. Schapov P. F., Avrunin O. G. *Povyshenie dostovernosti kontrolya i diagnostiki ob"ektov v usloviyakh neopredelyonnosti : monografiya* [Improving control reliability and objects diagnostics in undetermined conditions: monograph]. Kharkov, KhNADU Publ., 2011. 191 p.
5. Mirskiy G. Ya. *Kharakteristiki stokhasticheskoy vzaimosvyazi i ikh izmereniya* [Stochastic correlation characteristics and their measurements]. Moscow, Yenergoatomizdat Publ., 1982. 320 p.
6. Bendat Dzh., Pirsol A. *Primeneniya korrelyatsionnogo i spektral'nogo analiza* [Applications of correlation and spectral analysis]. Moscow, Mir Publ., 1983. 312 p.
7. Gardner W. A. *Introduction to Random Processes with Application to Signals and Systems*. New York, Macmillan Publ., 1985. 434 p.
8. Yavors'kiy I. M. *Matematychni modeli ta analiz stokhastychnykh kolyvan'* [Mathematical models and analysis of stochastic oscillations]. Lviv, FMI NAN Ukrai'ny Publ., 2013. 802 p.
9. Migushhenko R. P., Kropachek O. Yu., Khripunova A. L., Korzhov I. M. Formirovanie sistemy korrelyatsionno-spektral'nykh informativnykh parametrov nestacionarnykh vibrosignalov [Forming a system of correlation-spectral informational parameters of non-stationary vibration signals]. *Materialy 17-oyi mizhnarodnoyi naukovo-tekhnichnoyi konferenciyi "Problemy informatyky ta modelyuvannya"* [Proceedings of the 17-th international scientific and technical conferrence „Problems of informatics and modelling“]. Odessa, 2017, pp. 3.

Поступила (received) 02.10.2017

Бібліографічні описи / Библиографические описания / Bibliographic descriptions

Кореляційно-спектральна модель контролю автокогерентності термодинамічних процесів / О. Ю. Кропачек // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 30 (1252). – С. 70 – 74. Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2222-0631.

Корреляционно-спектральная модель контроля автокогерентности термодинамических процессов / О. Ю. Кропачек // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 30 (1252). – С. 70 – 74. Бібліогр.: 9 назв. – ISSN 2222-0631.

Correlation-spectral model for controlling auto-coherence of thermodynamic processes / O. Yu. Kropachek // Bulletin of National Technical University «KhPI». Series: Mathematical modeling in engineering and technologies. – Kharkiv : NTU «KhPI», 2017. – № 30 (1252). – pp. 70 – 74. Bibliog.: 9 titles. – ISSN 2222-0631.

Відомості про авторів / Сведения об авторах / Information about authors

Кропачек Ольга Юріївна – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків; тел.: (057) 707-69-61; e-mail: kropachek@ukr.net.

Кропачек Ольга Юрьевна – кандидат технических наук, доцент, Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков; тел.: (057) 707-69-61; e-mail: kropachek@ukr.net.

Kropachek Olga Yurievna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkov; tel.: (057) 707-69-61; e-mail: kropachek@ukr.net.