СУДОВЫЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ

SHIP POWER GENERATING COMPLEXES AND SYSTEMS

Научная статья
УДК 681.51
https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-2-82-87
EDN GVTEJA

Применение усовершенствованного метода D-разбиения для определения параметров генераторных агрегатов судовой электроэнергетической системы

Елена Викторьевна Гусева, Светлана Андреевна Конева, Владимир Муратович Цалоев✉

Севастопольский государственный университет,
Севастополь, Россия, 1._@mail.ru✉

Аннотация. Определение параметров элементов судовой электроэнергетической системы при предельном режиме работы осуществляется построением границ областей устойчивости системы. Для повышения эффективности расчетов предельных режимов требуется создание математических моделей и методов, достаточно полно учитывающих специфику уравнений, описывающих установившиеся режимы. Предлагается усовершенствованный метод D-разбиения, предназначенный для выбора параметров, обеспечивающих устойчивую параллельную работу генераторных агрегатов. Традиционный метод D-разбиения основан на предположении о том, что обычно искомые множества представляют собой объединение областей. В частности, это имеет место для линейных систем с линейной зависимостью от параметров. В этом случае задача построения областей устойчивости может быть сведена к задаче определения границы каждой из областей и указания, с какой стороны от границы лежат точки искомой области. Основным недостатком метода D-разбиения в традиционной постановке является то, что область значений получена как для вещественных, так и для комплексных значений варьируемого параметра. Рассмотрены уравнения, определяющие кривую D-разбиения для случая линейной зависимости от одного параметра коэффициентов характеристического многочлена. Для численного решения этих уравнений предложен метод, не требующий (в отличие от известных методов) громоздких и плохо обусловленных преобразований характеристического многочлена.

Ключевые слова: система автоматического управления, судовая электроэнергетическая система, генераторный агрегат, вещественный корень, границы устойчивости, метод D-разбиения, устойчивость системы

Для цитирования: *Гусева Е. В., Конева С. А., Цалоев В. М.* Применение усовершенствованного метода D-разбиения для определения параметров генераторных агрегатов судовой электроэнергетической системы // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. 2023. № 2. С. 82–87. https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-2-82-87. EDN GVTEJA.

Original article

Applying improved D-partitioning method to define parameters of generators in ship power system

Elena V. Guseva, Svetlana A. Koneva, Vladimir M. Tsaloev✉

Sevastopol State University,
Sevastopol, Russia, 1._@mail.ru✉

Abstract. Determining the parameters of the elements of the ship electric power system in the limiting operation mode is carried out by constructing the boundaries of the system stability areas. To improve the efficiency of calculations of limiting modes, it is necessary to create mathematical models and methods that fully take account of the specifics of equations that describe steady-state modes. There is proposed an improved D-partitioning method designed to select parameters that ensure stable parallel operation of the generators. The traditional method of D-partitioning is based on the assumption that usually the desired sets are a union of regions. In particular, this is the case for the linear systems with linear dependence on parameters. In this case, a problem of constructing the stability area can be reduced to a problem of determining the boundary of each area and indicating on which side of the boundary the points of the desired area lie. The main drawback of the D-partitioning method in the traditional formulation is that the range of values is obtained for both real and complex values of the variable parameter. There are considered the equations defining the D-partition curve for the case of linear dependence on one parameter of the coefficients of the characteristic polynomial. For the numerical solution of these equations there is proposed a method that, unlike the known methods, does not require cumbersome and poorly conditioned transformations of the characteristic polynomial.

Keywords: automatic control system, ship electric power system, generator, real root, stability limits, D-partitioning method, system stability

For citation: Guseva E. V., Koneva S. A., Tsaloev V. M. Applying improved D-partitioning method to define parameters of generators in ship power system. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Marine engineering and technologies*. 2023;2:82-87. (In Russ.). https://doi.org/10.24143/2073-1574-2023-2-82-87. EDN GVTEJA.

Введение

Метод D-разбиения широко используется для построения областей устойчивости в пространстве варьируемых параметров различных систем автоматического управления [1–3].

Реализация метода D-разбиения обычно осуществляется на основе графоаналитических процедур, основным недостатком которых является отсутствие гарантированного результата. От этого недостатка свободна реализация метода D-разбиения, основанная на численном решении уравнений, определяющих границы областей устойчивости [4–6]. В работе предлагается способ численного решения уравнений D-разбиения по одному параметру.

Постановка задачи

Рассматривается характеристический многочлен системы автоматического управления с линейной зависимостью коэффициентов от варьируемого скалярного параметра $\lambda \in R$:

$$a(s,\lambda) = \sum_{i=0}^{n} a_i(\lambda) s^i = \sum_{i=0}^{n} (\alpha_i + \beta_i \lambda) s^i. \qquad (1)$$

Кривая D-разбиения определяется уравнением

$$a(j\omega, \lambda) = 0, \qquad (2)$$

где:

$$a(j\omega,\lambda) = \sum_{i=0}^{n} (\alpha_i + \beta_i\lambda)(j\omega)^i = \sum_{i=0} \alpha_i (j\omega)^i + \lambda \sum_{i=0}^{n} \beta_i (j\omega)^i = \tilde{\alpha}(\omega) + j\tilde{\tilde{\alpha}}(\omega) + \tilde{\beta}(\omega) + j\tilde{\tilde{\beta}}(\omega); \qquad (3)$$

$$\tilde{\alpha}(\omega) = \mathrm{Re}\sum_{i=0}^{n} \alpha_i (j\omega)^i; \quad \tilde{\tilde{\alpha}}(\omega) = Im\sum_{i=0}^{n} \alpha_i (j\omega)^i;$$

$$\tilde{\beta}(\omega) = \mathrm{Re}\sum_{i=0}^{n} \beta_i (j\omega)^i; \quad \tilde{\tilde{\beta}}(\omega) = Im\sum_{i=0}^{n} \beta_i (j\omega)^i.$$

С учетом (3) уравнение (2) можно переписать в виде

$$\tilde{\alpha}(\omega) + j\tilde{\tilde{\alpha}}(\omega) + \lambda(\tilde{\beta}(\omega) + j\tilde{\tilde{\beta}}(\omega)) = 0. \qquad (4)$$

В работе рассматривается численный способ определения вещественных корней уравнения (4).

Уравнение (4) эквивалентно системе уравнений

$$\begin{cases} \tilde{\alpha}(\omega) + \tilde{\beta}(\omega)\lambda = 0; \\ \tilde{\tilde{\alpha}}(\omega) + \tilde{\tilde{\beta}}(\omega)\lambda = 0. \end{cases} \qquad (5)$$

Для решения системы (5) могут быть рассмотрены случаи:

1. Выполняется условие

$$\begin{cases} \tilde{\beta}(\omega) = 0; \\ \tilde{\tilde{\beta}}(\omega) = 0; \\ \tilde{\alpha}(\omega) = 0; \\ \tilde{\tilde{\alpha}}(\omega) = 0. \end{cases} \Leftrightarrow \omega \in \Omega_{12} \neq \varnothing \qquad (6)$$

В этом случае $\forall\lambda \in R$ характеристический многочлен (1) имеет корни на мнимой оси и, следовательно, не является асимптотически устойчивым.

2. Условие (6) не выполняется, т. е. $'\Omega = \varnothing$.

При невыполнении условий (6) следует рассматривать следующие случаи:

2.1.

$$\tilde{\beta}(\omega) = 0 \Leftrightarrow \omega \in \Omega_1 \neq \varnothing. \tag{7}$$

В этом случае

$$\forall \omega \in \Omega_1 \cap \left\{ \omega \middle| \tilde{\alpha}(\omega) = 0 \right\};$$

$$\lambda = -\frac{\overset{\approx}{\alpha}(\omega)}{\overset{\approx}{\beta}(\omega)}.$$

2.2.

$$\overset{\approx}{\beta}(\omega) = 0 \Leftrightarrow \omega \in \Omega_2 \neq \varnothing. \tag{8}$$

В этом случае

$$\forall \omega \in \Omega_2 \cap \left\{ \omega \middle| \overset{\approx}{\alpha}(\omega) = 0 \right\}.$$

2.3. $\forall \omega \in \Omega_1 \cup \Omega_2$ система (5) эквивалентна системе

$$\begin{cases} \tilde{\alpha}(\omega)\overset{\approx}{\beta}(\omega) + \lambda\tilde{\beta}(\omega)\overset{\approx}{\beta}(\omega) = 0; \\ \overset{\approx}{\alpha}(\omega)\tilde{\beta}(\omega) + \lambda\tilde{\beta}(\omega)\overset{\approx}{\beta}(\omega) = 0, \end{cases}$$

следствием из которой является уравнение

$$\tilde{\alpha}(\omega)\overset{\approx}{\beta}(\omega) - \overset{\approx}{\alpha}(\omega)\tilde{\beta}(\omega) = 0 \Leftrightarrow \omega \in \Omega_3; \tag{9}$$

$$\forall \omega \in \Omega_{,3}\left(\Omega_1 \cup \Omega_2\right);$$

$$\lambda = -\frac{\tilde{\alpha}(\omega)}{\tilde{\beta}(\omega)}.$$

Таким образом, при линейной зависимости от параметра λ коэффициентов характеристического многочлена основная проблема заключается в определении вещественных корней полиномиальных уравнений (6)–(9).

Актуальность проблемы

В настоящий момент актуальной задачей является обеспечение устойчивой параллельной работы генераторных агрегатов судовой электроэнергетической системы.

Существует ряд методов определения устойчивости систем, одним из которых является метод поиска вещественных корней полиномиальных уравнений [7–10], наиболее известными из которых является метод Декарта; метод, основанный на применении теоремы Роля; и метод, основанный на применении полиномов Штурма. В работе предлагается метод определения вещественных корней полиномов, не требующий громоздких и часто плохо обусловленных преобразований многочленов, как этого требуют вышеперечисленные методы.

Материалы исследования

Рассматривается задача вычисления вещественных корней многочлена

$$a(x) = \sum\nolimits_{i=0}^{n} a_i x^i \tag{10}$$

на промежутке $x \in [\alpha, \beta]$, $0 \leq \alpha < \beta$. К такому промежутку может быть сведен любой промежуток с помощью линейной замены переменной. Представим многочлен $a(x)$ в виде

$$a(x) = \tilde{a}(x) + \overset{\approx}{a}(x),$$

где

$$\tilde{a}(x) = \sum\nolimits_{\substack{i=0 \\ a_i > 0}}^{n} a_i x^i; \quad \overset{\approx}{a}(x) = \sum\nolimits_{\substack{i=0 \\ a_i < 0}}^{n} a_i x^i.$$

Тогда $\tilde{a}(x)$ возрастает на любом промежутке $[\alpha', \beta'] \subset [\alpha, \beta]$, а $\overset{\approx}{a}(x)$ убывает на любом промежутке $[\alpha', \beta'] \subset [\alpha, \beta]$. Следовательно, для любого $[\alpha', \beta'] \subset [\alpha, \beta]$:

$$\min_{x\in[\alpha',\beta']} \tilde{a}(x) = \tilde{a}(a'), \ \cup \max_{x\in[\alpha',\beta']} \tilde{a}(x) = \tilde{a}(\beta');$$

$$\min_{x\in[\alpha',\beta']} \overset{\approx}{a}(x) = \overset{\approx}{a}(\beta'), \ \cup \max_{x\in[\alpha',\beta']} \overset{\approx}{a}(x) = \overset{\approx}{a}(\beta').$$

Для нахождения вещественных корней многочлена (10) на промежутке $[\alpha, \beta]$ может быть предложен следующий способ.

Если

$$a(\alpha)a(\beta) < 0, \tag{11}$$

то на промежутке $[\alpha, \beta]$ существует по крайней мере один вещественный корень многочлена (10). Если длина промежутка $[\alpha, \beta]$ меньше заданной точности вычисления корней ε, то за значение корня может быть принята величина $x = \dfrac{\alpha + \beta}{2}$. В противном случае делим отрезок пополам и для каждого из полученных отрезков заново проверяем условие (11).

Если условие (11) не выполняется, то проверяем выполнение условий

$$\left[\begin{array}{l} \tilde{a}(\alpha) + \overset{\approx}{a}(\beta) > 0; \\ \tilde{a}(\beta) + \overset{\approx}{a}(\alpha) < 0. \end{array} \right. \tag{12}$$

Если условие (12) выполняется, то многочлен не имеет корней на промежутке [α, β]. Действительно, пусть выполняется первое из неравенств совокупности (12). Тогда

$$\begin{gathered}\min_{x\in[\alpha,\beta]} a(x) = a(x_*) = \tilde{a}(x_*) + \overset{\approx}{a}(x_*) \geq \\ {\scriptstyle x_*\in[\alpha,\beta]} \\ \geq \min_{x\in[\alpha,\beta]} \tilde{a}(x) + \min_{x\in[\alpha,\beta]} \overset{\approx}{a}(x) = \tilde{a}(\alpha) + \overset{\approx}{a}(\beta),\end{gathered} \tag{13}$$

и из неравенств (12), (13) следует

$$\min_{x\in[\alpha,\beta]} a(x) \rangle 0 \Rightarrow \forall x \in [\alpha,\beta] : a(x) > 0. \tag{14}$$

Неравенство (14) означает, что многочлен $a(x)$ не имеет корня на промежутке [α, β].

Пусть выполняется второе из неравенств совокупности (12). Тогда

$$\begin{gathered}\max_{x\in[\alpha,\beta]} a(x) = a(x^*) = \tilde{a}(x^*) + \overset{\approx}{a}(x^*) \leq \\ {\scriptstyle x^*\in[\alpha,\beta]} \\ \leq \max_{x\in[\alpha,\beta]} \tilde{a}(x) + \max_{x\in[\alpha,\beta]} \overset{\approx}{a}(x) = \tilde{a}(\beta) + \overset{\approx}{a}(\alpha),\end{gathered} \tag{15}$$

и из неравенств (12), (15) следует

$$\max_{x\in[\alpha,\beta]} a(x) < 0 \Rightarrow \forall x \in [\alpha,\beta] : a(x) < 0. \tag{16}$$

Неравенство (16) означает, что многочлен $a(x)$ не имеет корня на промежутке [α, β].

В случае если на промежутке [α, β] выполняется условие (12), промежуток [α, β] исключается из дальнейшего рассмотрения. В противном случае производится деление пополам промежутка [α, β] и проверка для каждого из полученных промежутков выполнения условий (11) и (12). Покажем, что предлагаемый способ приводит за конечное число шагов к определению всех вещественных корней многочлена (10) с заданной точностью ε.

Доказательство проведем методом от противного. Пусть на каждом k-м шаге разбиения существует промежуток, для которого не выполняются условия (11) и (12). Это означает, что существует последовательность вложенных промежутков $\{[\alpha_k,\beta_k]\}_{k=1}^{\infty}$, для каждого из которых не выполняется неравенство (12). Поскольку длины промежутков уменьшаются в два раза при каждом увеличении k, то промежутки последовательности $\{[\alpha_k,\beta_k]\}_{k=1}^{\infty}$ стягиваются в точку $\gamma_0 \in [\alpha_k\beta_k]$, $k = 1, \ldots, \infty$. Точка γ_0 не является корнем многочлена (10), т. к. в противном случае для достаточно больших k выполнялось бы условие (11). Пусть для определенности $a(\gamma_0) > 0$. Для случая $a(\gamma_0) < 0$ доказательство аналогично. Случай $a(\gamma_0) = 0$ невозможен, т. к. γ_0 не является корнем многочлена $a(s)$. Неравенство $a(\gamma_0) > 0$ эквивалентно неравенству

$$\tilde{a}(\gamma_0) + \overset{\approx}{a}(\gamma_0) > 0. \tag{17}$$

Рассмотрим последовательность $\{D_k\}_{k=1}^{\infty}$ ε-окрестностей точки γ_0, стягивающуюся к точке γ_0. В силу непрерывности многочленов $a(\tilde{x})$ и $a(\tilde{\tilde{x}})$

$$\lim_{k\to\infty} \min_{x\in D_k} \left(\tilde{a}(x) + \overset{\approx}{a}(x) \right) = \tilde{a}(\gamma_0) + \overset{\approx}{a}(\gamma_0). \tag{18}$$

Из (17) и (18) следует:

$$\lim_{k\to\infty} \min_{x\in D_k} \left(\tilde{a}(x) + \overset{\approx}{a}(x) \right) > 0. \tag{19}$$

Из (19) следует, что существует окрестность D_0 точки γ_0, в которой выполняется неравенство

$$\min_{x\in D_0} \left(\tilde{a}(x) + \overset{\approx}{a}(x) \right) > 0. \tag{20}$$

Неравенство (20) справедливо для любого подмножества $\tilde{D}_0$ множества D_0:

$$\min_{x\in \tilde{D}_0} \left(\tilde{a}(x) + \overset{\approx}{a}(x) \right) > 0, \tag{21}$$

поскольку для подмножества наименьшее значение может только возрасти. Поскольку точка γ_0 является предельной для последовательности отрезков $\{[\alpha_k,\beta_k]\}_{k=1}^{\infty}$, то в любой ее окрестности, в том числе и в окрестности D_0, существуют отрезки последовательности $\{[\alpha_k,\beta_k]\}_{k=1}^{\infty}$. Обозначим один из таких отрезков $\tilde{Q} : \tilde{Q} \in \{[\alpha_k,\beta_k]\}_{k=1}^{\infty}$, $\tilde{Q} \in D_0$. Тогда из (21) следует, что

$$\min_{x\in \tilde{Q}} \left(\tilde{a}(x) + \overset{\approx}{a}(x) \right) > 0, \tag{22}$$

и в то же время поскольку $\tilde{Q} \in \{[\alpha_k,\beta_k]\}_{k=1}^{\infty}$, то

$$\min_{x\in \tilde{Q}} \left(\tilde{a}(x) + \overset{\approx}{a}(x) \right) < 0. \tag{23}$$

Противоречие соотношений (22) и (23) доказывает утверждение о том, что за конечное число шагов предлагаемый метод позволяет вычислить все вещественные корни многочлена $\alpha(x)$ с заданной точностью ε.

Заключение

Предлагаемый усовершенствованный метод D-разбиения предназначен для выбора параметров, обеспечивающих устойчивость системы.

Традиционный метод D-разбиения основан на предположении о том, что обычно искомые множества $\{\Lambda_i\}_{i=0}^{\gamma}$ представляют собой объединение областей $\Lambda_i = \bigcup_{k=1}^{\gamma_i} \Lambda_{ik} \left(i = 0, \ldots, \gamma\right)$. В частности, это имеет место для линейных систем с линейной зависимостью от параметров. В этом случае задача построения областей устойчивости может быть сведена к задаче определения границы Γ_{ik} каждой из областей $\{\tilde{\Lambda}_{ik}\}_{k=1}^{\tilde{\gamma}_0}$ и указания, с какой стороны от границы лежат точки искомой области.

Данный метод D-разбиения заключается в том, что записываются и решаются уравнения, определяющие объединение границ $\tilde{\Gamma}_0$ областей $\{\tilde{\Lambda}_{ik}\}_{k=1}^{\tilde{\gamma}_0}$, таких как $\tilde{\lambda}, \tilde{\tilde{\lambda}} \in \tilde{\Lambda}_{ik} \Leftrightarrow z\left(\tilde{\lambda}\right) = z\left(\tilde{\tilde{\lambda}}\right)$, где $z(\lambda)$ – число нулей характеристического полинома справа от мнимой оси, соответствующего параметру λ. Поиск множества Λ_i происходит с помощью правил штриховки границ и перебора множеств $\tilde{\Lambda}_{ik} \left(k = 1, \ldots, \tilde{\gamma}_0\right)$. В искомые множества Λ_i входят те множества $\tilde{\Lambda}_{ik} \ \left(k = 1, \ldots, \tilde{\gamma}_0\right)$, для которых $\lambda = 0$. Проверка последнего условия производится для одного из элементов множеств $\tilde{\Lambda}_{ik} \left(k = 1, \ldots, \tilde{\gamma}_0\right)$.

Полученные уравнения определяют параметры элементов системы, при которых обеспечивается устойчивость параллельной работы судовых генераторных агрегатов. В свою очередь, предложенный метод позволяет прогнозировать возникновение аварийных ситуаций в судовой электроэнергетической системе.

Список источников

1. Грязина Е. Н., Поляк Б. Т., Тремба А. А. Современное состояние метода D-разбиения // Автоматика и телемеханика. 2008. № 12. С. 3–40.
2. Веников В. А., Литкенс И. В. Математические основы теории автоматического управления режимами электросистем. М.: Высш. шк., 1989. 197 с.
3. Кунцевич В. М. Управление в условиях неопределенности: гарантированные результаты в задачах управления и идентификации. Киев: Наукова думка, 2006. 264 с.
4. Дорф Р., Бишоп Р. Современные системы управления / пер. с англ. Б. И. Копылова. М: Лаборатория базовых знаний, 2002. 832 с.
5. Антонов В. Н., Терехов В. А., Тюкин И. Ю. Адаптивное управление в технических системах. СПб.: Изд-во Санкт-Петербург. ун-та, 2001. 244 с.
6. Краснодубец Л. А. Терминальное управление в морских наблюдательных системах с подвижными платформами сбора данных // Изв. РАН. Теория и системы управления. 2008. № 2. С. 141–153.
7. Конева С. А., Цалоев В. М. Исследование аварийного переходного процесса в генераторном агрегате судовой электростанции // Journal of Advanced Research in Technical Science. 2019. Iss. 17. V. 2. P. 134–138.
8. Барабанов А. Т., Конева С. А. Задача анализа устойчивости системы автоматического регулирования конвективного теплообмена // Динам. системы. 2004. Вып. 18. С. 14–22.
9. Конева С. А. Анализ точности системы управления с распределенными параметрами при детерминированных возмущениях // Фундаментал. и приклад. проблемы техники и технологии. 2018. № 3. С. 23–28.
10. Конева С. А., Цалоев В. М. Анализ качества системы автоматического регулирования процесса конвективного теплообмена // Модернизация и инновационное развитие топливно-энергетического комплекса: материалы Междунар. науч.-практ. конф. (Санкт-Петербург, 07–08 октября 2021 г.). СПб.: НИЦ «Машиностроение», 2021. С. 28–33.

References

1. Griazina E. N., Poliak B. T., Tremba A. A. Sovremennoe sostoianie metoda D-razbieniia [Current state of D-partition method]. *Avtomatika i telemekhanika,* 2008, no. 12, pp. 3-40.
2. Venikov V. A., Litkens I. V. *Matematicheskie osnovy teorii avtomaticheskogo upravleniia rezhimami elektrosistem* [Mathematical foundations of theory of automatic control of modes of electrical systems]. Moscow, Vysshaia shkola Publ., 1989. 197 p.
3. Kuntsevich V. M. *Upravlenie v usloviiakh neopredelennosti: garantirovannye rezul'taty v zadachakh upravleniia i identifikatsii* [Control under uncertainty: guaranteed results in control and identification problems]. Kiev, Naukova dumka Publ., 2006. 264 p.
4. Dorf R., Bishop R. *Modern control systems*. Menlo Park, CA, Pearson (Addison-Wesley), 1998. 1104 p. (Dorf R., Bishop R. Sovremennye sistemy upravleniia / per. s angl. B. I. Kopylova. M: Laboratoriia bazovykh znanii, 2002. 832 s.).
5. Antonov V. N., Terekhov V. A., Tiukin I. Iu. *Adaptivnoe upravlenie v tekhnicheskikh sistemakh* [Adaptive control in technical systems]. Saint-Petersburg, Izd-vo Sankt-Peterburgskogo universiteta, 2001. 244 p.
6. Krasnodubets L. A. Terminal'noe upravlenie v morskikh nabliudatel'nykh sistemakh s podvizhnymi platformami sbora dannykh [Terminal control in marine observation systems with mobile data collection platforms]. *Izvestiia RAN. Teoriia i sistemy upravleniia,* 2008, no. 2, pp. 141-153.

7. Koneva S. A., Tsaloev V. M. Issledovanie avariinogo perekhodnogo protsessa v generatornom agregate sudovoi elektrostantsii [Investigation of the emergency transient process in the generator unit of the ship power plant]. *Journal of Advanced Research in Technical Science,* 2019, iss. 17, vol. 2, pp. 134-138.

8. Barabanov A. T., Koneva S. A. Zadacha analiza ustoichivosti sistemy avtomaticheskogo regulirovaniia konvektivnogo teploobmena [Problem of stability analysis of system of automatic control of convective heat transfer]. *Dinamicheskie sistemy,* 2004, iss. 18, pp. 14-22.

9. Koneva S. A. Analiz tochnosti sistemy upravleniia s raspredelennymi parametrami pri determinirovannykh vozmushcheniiakh [Analysis of accuracy of control system with distributed parameters under deterministic perturbations]. *Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii,* 2018, no. 3, pp. 23-28.

10. Koneva S. A., Tsaloev V. M. Analiz kachestva sistemy avtomaticheskogo regulirovaniia protsessa konvektivnogo teploobmena. Modernizatsiia i innovatsionnoe razvitie toplivno-energeticheskogo kompleksa [Analysis of quality of automatic control system of convective heat transfer. Modernization and innovative development of fuel and energy complex]. *Materialy Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii (Sankt-Peterburg, 07–08 oktiabria 2021 g.).* Saint-Petersburg, NITs «Mashinostroenie», 2021. Pp. 28-33.

Статья поступила в редакцию 22.02.2023; одобрена после рецензирования 31.03.2023; принята к публикации 20.04.2023
The article was submitted 22.02.2023; approved after reviewing 31.03.2023; accepted for publication 20.04.2023

Информация об авторах / Information about the authors

Елена Викторьевна Гусева – кандидат технических наук, доцент; доцент кафедры судового электрооборудования; Севастопольский государственный университет; alenaalena73@mail.ru

Светлана Андреевна Конева – кандидат технических наук, доцент; заведующий кафедрой судового электрооборудования; Севастопольский государственный университет; ksa2602@mail.ru

Владимир Муратович Цалоев – доцент кафедры судового электрооборудования; Севастопольский государственный университет; 1._@mail.ru

Elena V. Guseva – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Assistant Professor of the Department of Marine Electrical Equipment; Sevastopol State University; alenaalena73@mail.ru

Svetlana A. Koneva – Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor; Head of the Department of Marine Electrical Equipment; Sevastopol State University; ksa2602@mail.ru

Vladimir M. Tsaloev – Assistant Professor of the Department of Marine Electrical Equipment; Sevastopol State University; 1._@mail.ru