



Научная статья
УДК 519.6 : 639.2.081.117

СРАВНЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТА КОЭФФИЦИЕНТОВ ГИДРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ СЕТИ ПО ДВУМ МОДЕЛЯМ

Е.Д. Проскурнин^{1,*}

¹ Калининградский государственный технический университет, Калининград, Россия

*E-mail: proskurnin@inbox.ru

Аннотация. В Калининградском государственном техническом университете была разработана и опубликована полуэмпирическая теория расчета сил, действующих в сетных элементах орудий лова. Предложенная ранее корректировка эмпирических коэффициентов позволила избавиться от разрывов функций упомянутой модели. Выполнено сравнение результатов расчета коэффициентов гидродинамического сопротивления сети по предложенной и ранее применявшейся модели. Показано, что при определенных значениях чисел Рейнольдса ранее применявшаяся модель может внести заметную погрешность в результаты расчета.

Ключевые слова: сетные элементы; гидродинамическое сопротивление; расчет; полуэмпирическая модель; разрывы функции; эмпирические коэффициенты.

Для цитирования: Проскурнин Е.Д. Сравнение результатов расчета коэффициентов гидродинамического сопротивления сети по двум моделям // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2023. Т.9. №4. С. 29–35.

Original article

COMPARISON OF THE CALCULATING RESULTS OF THE NETTING HYDRODYNAMIC DRAG COEFFICIENTS BY TWO MODELS

E.D. Proskurnin^{1,*}

¹ Kaliningrad State Technical University, Kaliningrad, Russia

*E-mail: proskurnin@inbox.ru

Abstract. The semi-empirical theory of calculating forces acting in various net elements of fishing gear was developed and published in the Kaliningrad State Technical University. The previously proposed adjustment of the empirical coefficients allowed us to get rid of the discontinuities of the functions of the mentioned model. The results of calculating the coefficients of hydrodynamic drag of the netting are compared according to the proposed and previously used model. It is shown that for certain values of the Reynolds numbers, the previously used model can introduce a noticeable error in the calculation results.

Keywords: netting elements; hydrodynamic drag; calculation; semi-empirical model; function discontinuities; empirical coefficients.

For citation: Proskurnin E.D. Comparison of the calculating results of the netting hydrodynamic drag coefficients by two models. *Journal of Science and Education of North-West Russia*. 2023. V.9. No. 4. pp. 29–35.

Введение

В Калининградском государственном техническом университете (КГТУ) была разработана полуэмпирическая теория расчета сил, действующих в различных сетных элементах орудий лова. В [1, 2] предложен метод расчета гидродинамических сил сопротивления плоских сетных частей орудий промышленного рыболовства при поперечном обтекании. В [3, 4] разработана полуэмпирическая модель для силы гидродинамического сопротивления плоской рыболовной сети при продольном обтекании в автомоделной и переходной области. Важно отметить, что полуэмпирическая модель [1-4] остается справедливой во всем диапазоне чисел Рейнольдса. В [5-7] рассмотрено гидродинамическое сопротивление криволинейных сетных элементов, расположенных под произвольным углом к набегающему потоку воды. $\mu\nu$

Анализ, проведенный в [8], показал наличие разрывов в опубликованной полуэмпирической зависимости коэффициента гидродинамического сопротивления сетных элементов от числа Рейнольдса. При компьютерной реализации алгоритма расчета это может привести к аварийной остановке выполнения программ вблизи границ областей. В [8] была предложена корректировка эмпирических коэффициентов, которая позволила избавиться от разрывов функций.

Опубликовано немало результатов исследований, в которых получены полуэмпирические модели гидродинамического сопротивления рыболовных сетей, справедливые лишь в узком диапазоне чисел Рейнольдса. Например, в [9] предложены такие формулы для коэффициентов гидродинамического сопротивления плоской сети при поперечном и продольном обтекании, соответственно:

$$CN_{90} = 16 \cdot (2\omega/Re)^{0,28}; \quad CN_0 = \omega \cdot Re^{-0,165}; \quad (1)$$

где число Рейнольдса $Re = V \cdot d / \nu$, V – скорость воды относительно сети, м/с; d – диаметр нити сети, м; ν – коэффициент кинематической вязкости воды, m^2/c ; $\omega = S_H / S$, S – габаритная площадь сети в плане, m^2 ; S_H – площадь нитей сети в плане, m^2 .

В [10] используется такая формула для коэффициента гидродинамического сопротивления плоской сети при продольном обтекании:

$$CP_0 = 0,1 \cdot Re^{0,14}; \quad (2)$$

По формуле (2) коэффициент C_0 возрастает с увеличением числа Рейнольдса. Такое поведение функции отмечено [7, 8] в опытах лишь в узкой области чисел Рейнольдса на границе переходной и автомоделной области сопротивления. Применение формулы (2) привело в [10] к большим отличиям результатов расчета от экспериментальных данных. Многие авторы продолжают использовать формулы (1) для расчета сил гидродинамического сопротивления рыболовных сетей.

Цель данной статьи – сравнить результаты расчета коэффициентов гидродинамического сопротивления плоской сети по модели [1-4] и по формулам (1) во всем диапазоне чисел Рейнольдса, характерных для применения рыболовных сетей.

Формулы для коэффициентов гидродинамического сопротивления плоской сети

Формула для коэффициента гидродинамического сопротивления плоской сети при поперечном обтекании зависит от области сопротивления, согласно [8] имеет следующий вид (в диапазоне сплошности $\omega = 0,05-0,5$):

$$C_{90} = f(Re, \omega) = \begin{cases} 60 \cdot \omega / ((1 - \omega) \cdot Re), & Re \leq Re_1; \\ 19.4 \cdot (2 \cdot \omega / Re)^{0.36}, & Re_1 \leq Re < 373 \cdot \omega; \\ 9.33 \cdot (2 \cdot \omega / Re)^{0.22}, & 373 \cdot \omega \leq Re < Re_2; \\ 1.41 + 1.70 \cdot \omega, & Re \geq Re_2. \end{cases} \quad (3)$$

Первое критическое число Рейнольдса, характеризующее переход от линейной области сопротивления к промежуточной:

$$Re_1 = 3.95 \cdot \omega / (1 - \omega)^{1.56} \quad (4)$$

Второе критическое число Рейнольдса, характеризующее переход к квадратичной (автомодельной) области сопротивления:

$$Re_2 = 2 \cdot \omega \cdot (9.33 / (1.41 + 1.70 \cdot \omega))^{4.545} \quad (5)$$

Формула для коэффициента гидродинамического сопротивления плоской сети при продольном обтекании также зависит от области сопротивления, согласно [8] имеет вид:

$$C_0 = \begin{cases} 94,58 \cdot \omega^{1,627} \cdot \delta^{0,528} \cdot Re_L^{-0,16} & \text{при } Re_L \leq Re_3; \\ 2,289 \cdot \omega^{1,627} \cdot \delta^{0,528} \cdot Re_L^{0,14} & \text{при } Re_3 < Re_L \leq Re_4; \\ 17,45 \cdot \omega^{1,627} \cdot \delta^{0,528} & \text{при } Re_L > Re_4. \end{cases} \quad (6)$$

где Re_L – число Рейнольдса, рассчитанное по длине сети L ; $\delta = d/L$. Эмпирические значения критических чисел Рейнольдса $Re_3 = 2,4 \cdot 10^5$ до $Re_4 = 2,0 \cdot 10^6$. Скорее всего, значения критических чисел Рейнольдса Re_3, Re_4 , как и Re_1, Re_2 , зависят от сплошности сети. Но для выявления такой зависимости необходимо провести экспериментальные исследования, чтобы получить достаточный массив данных для регрессионного анализа. Заметим, что $Re_L = Re/d$. Следовательно, формула (2) с возрастающей функцией C_0 соответствует диапазону (Re_3, Re_4) – вторая стока в (6).

Сравнение результатов расчета

На рис. 1 показано сравнение результатов расчета коэффициента гидродинамического сопротивления плоской сети при поперечном обтекании для трех значений сплошности. Вплоть до второго критического числа Рейнольдса расчет по первой формуле (1) завышает значение коэффициента C_{90} , а при $Re > Re_2$ – занижает. Не следует думать, что различие результатов расчета невелико. На рис. 2 представлен результат расчета относительной погрешности применения первой из формул (1):

$$\varepsilon = 100 \cdot (1 - CN_{90} / C_{90}). \quad (7)$$

По рис. 2 в переходной области сопротивления погрешность доходит до 25%; в квадратичной области сопротивления она может превысить 45%.

Изломы кривых на рис. 1 и 2 не должны смущать читателя. В [8] было показано, что это следствие грубой аппроксимации вблизи критических чисел Рейнольдса. В действительности, вблизи указанных точек функции изменяются плавно, как линия 1 на рис.

3. Но такое значительное усложнение модели не требуется для решения большинства инженерных задач.

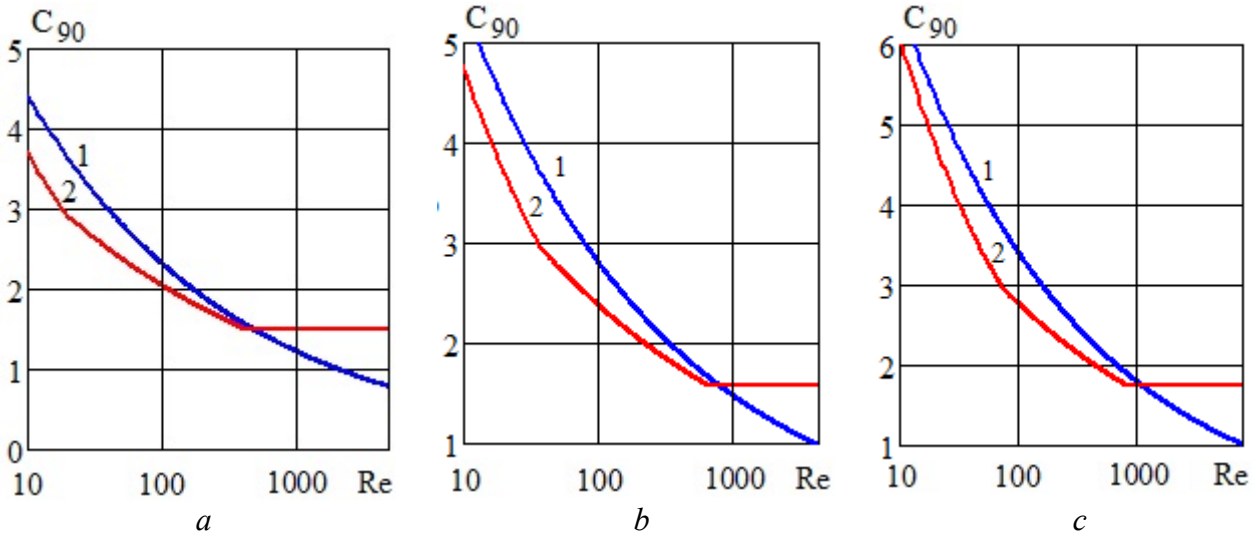


Рисунок 1 – Результаты расчета коэффициента гидродинамического сопротивления плоской сети при поперечном обтекании: 1 – по первой формуле (1), 2 – по формулам (3);
 $a - \omega = 0,05$; $b - \omega = 0,14$; $c - \omega = 0,2$

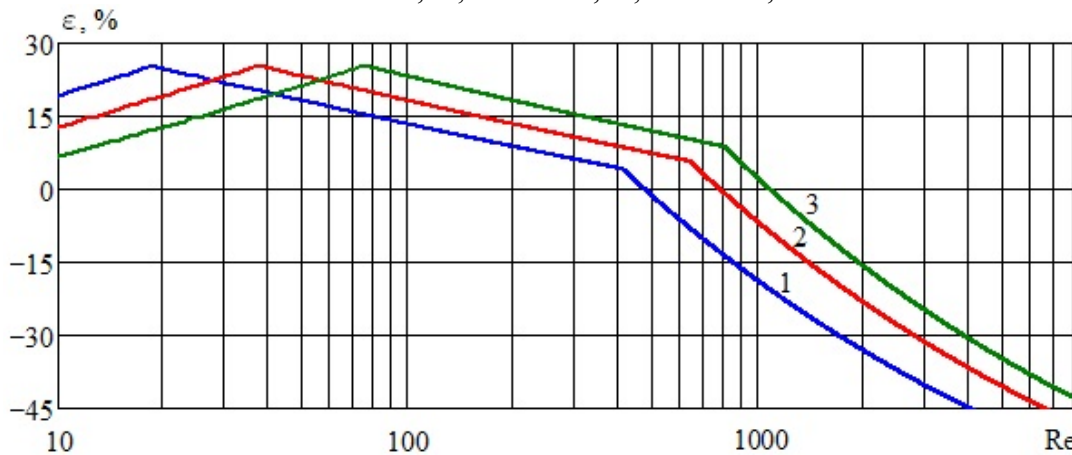


Рисунок 2 – Относительная погрешность применения первой из формул (1) при разной сплошности: 1 – $\omega = 0,05$; 2 – $\omega = 0,14$; 3 – $\omega = 0,2$

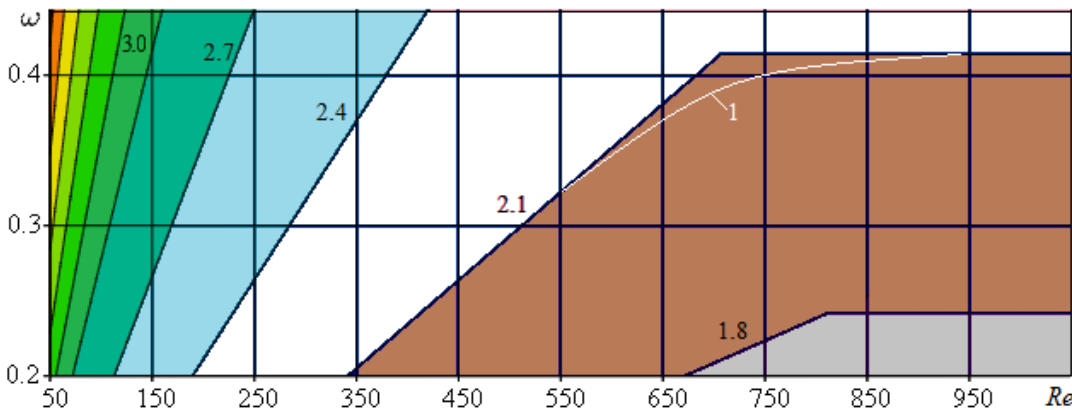


Рисунок 3 – Контурный график зависимости коэффициента гидродинамического сопротивления C_{90} от числа Рейнольдса и сплошности сети по формулам (3);
1 – примерный вид кривой на границе переходной и квадратичной области сопротивления

По рис. 4 результаты расчета по формулам (6) согласуются с поведением функции C_0 , полученным в экспериментах [11, 12]. С увеличением числа Рейнольдса до значения Re_3 функция C_0 убывает, затем возрастает до Re_3 , в автомодельной области остается постоянной. Поведение функции CN_0 по второй формуле (1) отличается не только количественно, но и качественно. Отклонение может достигать 250%.

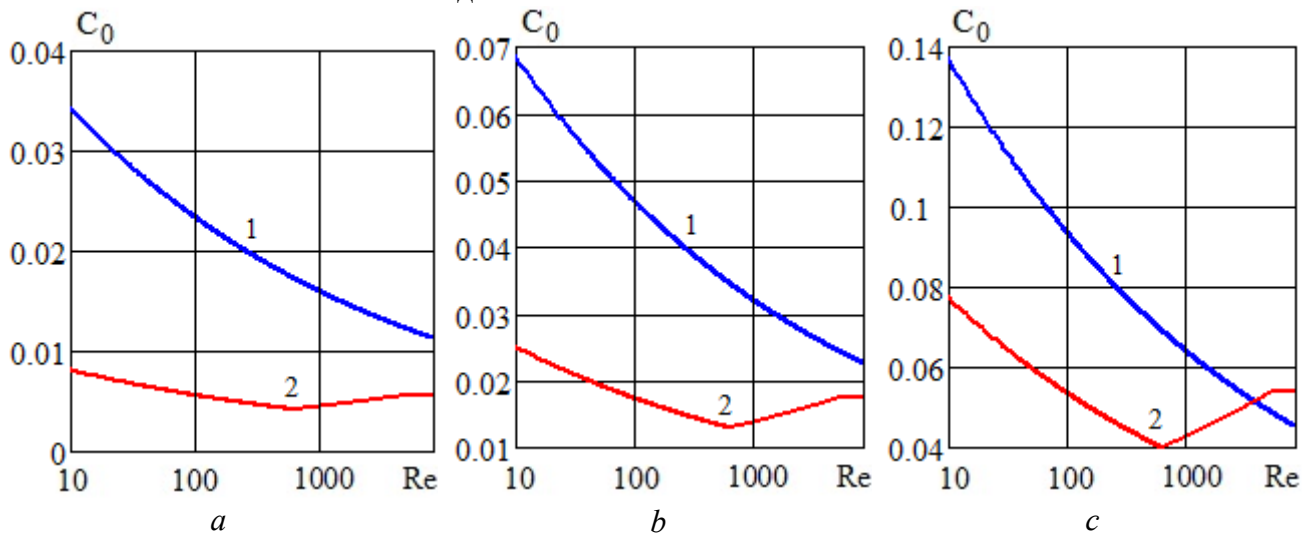


Рисунок 4 – Результаты расчета коэффициента гидродинамического сопротивления плоской сети при продольном обтекании: 1 – по второй формуле (1), 2 – по формулам (6);
 $a - \omega = 0,05$; $b - \omega = 0,14$; $c - \omega = 0,2$

Заключение

Коллективом авторов КГТУ была разработана полуэмпирическая модель гидродинамического сопротивления плоской рыболовной сети. Коэффициенты сопротивления в этой модели рассчитываются по разным формулам в зависимости от области сопротивления. Предложенная корректировка эмпирических коэффициентов позволила избавиться от разрывов функций при переходе из одной области сопротивления в другую. Расчет коэффициентов гидродинамического сопротивления по скорректированным формулам дает результаты, хорошо согласующиеся с экспериментальными данными во всем диапазоне практически используемых чисел Рейнольдса. Применение одной формулы для расчета коэффициентов гидродинамического сопротивления при произвольных числах Рейнольдса может привести к большим погрешностям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Великанов Н.Л., Наумов В.А., Кикот А.В., Бояринова Н.А. Гидродинамические силы сопротивления сетных частей орудий промышленного рыболовства при поперечном обтекании // Рыбное хозяйство. 2012. № 4. С. 109-111.
2. Наумов В.А., Бояринова Н.А. Эмпирические формулы для коэффициента сопротивления плоских рыболовных сетей при поперечном обтекании // Известия КГТУ. 2012. № 24. С. 143-150.
3. Наумов В.А., Агиевич Н.А. Эмпирическая формула для коэффициента гидродинамического сопротивления плоской рыболовной сети при продольном обтекании в автомодельной области // Известия КГТУ. 2014. № 32. С. 238-244.
4. Наумов В.А., Агиевич Н.А. Коэффициент гидродинамического сопротивления плоской сети при продольном обтекании в переходной области // Известия КГТУ. 2014. № 34. С. 89-94.

5. Розенштейн М.М. Механика орудий рыболовства. Калининград: Изд-во КГТУ, 2000. 364 с.
6. Наумов В.А. Математическая постановка краевой задачи о равновесии полосы сети ставного невода // Известия КГТУ. 2013. № 28. С. 182-187.
7. Великанов Н.Л., Наумов В.А. Гидродинамическое сопротивление систем из стержней и нитей: монография. Калининград: Изд-во ФГОУ ВПО «КГТУ», 2015. 192 с.
8. Проскурнин Е.Д. О коэффициентах полуэмпирической модели гидродинамического сопротивления канатно-сетных элементов // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2020. Т.6, № 1. С. 29-36.
9. Недоступ А.А. Методы расчета пассивных сетных орудий внутреннего и прибрежного рыболовства. Калининград: Изд-во КГТУ, 2010. 280 с.
10. Розенштейн М.М., Попов С.В. Результаты экспериментальной проверки алгоритма расчета коэффициента сопротивления деформированной сети // Известия КГТУ. 2011. № 20. С. 125-132.
11. Буй-Ван-Ки, Данилов Ю.А. Сопротивление плоской сети, параллельной потоку // Сборник научных трудов. Вып. 32. Калининград: Изд-во КТИРПХ. 1971. С. 58-65.
12. Song D.H., Lee C.W., Choe M.Y., Lee I.H., Park K.H. Experimental investigation on the hydrodynamic coefficients of netting // Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. Vol. 6. Proceeding of the 9-th International Workshop on Methods for the development and evaluation of maritime technologies. Japan, Nara, 2009, pp. 77-94.

REFERENCES

1. Velikanov N.L., Naumov V.A., Kikot A.V., Boyarinova N.A. *Gidrodinamicheskie sily soprotivleniya setnyh chastej orudij promyshlennogo rybolovstva pri poperechnom obtekanii* [Hydrodynamic forces of resistance of the network parts of industrial fishing tools with transverse flow]. *Rybnoe hozyajstvo*. 2012. No. 4, pp. 109-111.
2. Naumov V.A., Boyarinova N.A. *Empiricheskie formuly dlya koeffitsienta soprotivleniya ploskikh rybolovnykh setey pri poperechnom obtekanii* [Empirical formula for the drag coefficient of a flat fishing nets at a cross flow]. *Izvestiya KGTU*. 2012. No. 24, pp. 143-150.
3. Naumov V.A., Agievich N.A. *Empiricheskaya formula dlya koeffitsienta gidrodinamicheskogo soprotivleniya ploskoy rybolovnoy seti pri prodol'nom obtekanii v avtomodel'noy oblasti* [The empirical formula for hydrodynamic drag coefficient of flat fishing nets with longitudinal flow in self-similar region]. *Izvestiya KGTU*. 2014. No. 32, pp. 238-244.
4. Naumov V.A., Agievich N.A. *Koefficient gidrodinamicheskogo soprotivleniya ploskoj seti pri prodol'nom obtekanii v perekhodnoj oblasti* [Coefficient of hydrodynamic drage of a flat netting for longitudinal flow in the transition region]. *Izvestiya KGTU*. 2014. No. 34, pp. 89-94.
5. Rozenshtejn M.M. *Mekhanika orudij rybolovstva* [Mechanics of fishing tools]. Kaliningrad: Izd-vo KGTU, 2000. 364 p.
6. Naumov V.A. *Matematicheskaya postanovka kraevoy zadachi o ravnovesii poloski stavnogo nevoda* [Mathematical formulation of the boundary value problem on the equilibrium of the strips of stationary netting]. *Izvestiya KGTU*. 2013. No. 28, pp. 182-187.
7. Velikanov N.L., Naumov V.A. *Gidrodinamicheskoe soprotivlenie sistem ih sterzhnej i nitej* [Hydrodynamic drag in systems of rods and filaments]. Kaliningrad: KGTU Publ. 2015. 192 p.
8. Proskurnin E.D. *O koefficientah poluempiricheskoy modeli gidrodinamicheskogo soprotivleniya kanatno-setnyh elementov* [On the coefficients of a semi-empirical model of hydrodynamic drag of rope-mesh elements]. *Vestnik nauki i obrazovaniya Severo-Zapada Rossii*. 2020. V.6, No. 1, pp. 29-36.



9. Nedostup A.A. *Metody rascheta passivnyh setnyh orudij vnutrennego i pribrezhnogo rybolovstva* [Calculation methods of passive net tools of inland and coastal fishing]. Kaliningrad: KGTU Publ., 2010. 280 p.
10. Rozenshtejn M.M., Popov S.V. *Rezultaty eksperimental'noj proverki algoritma rascheta koefficienta soprotivleniya deformirovannoj seti* [Results of experimental verification of the algorithm for calculating the drag coefficient of a deformed netting]. *Izvestiya KGTU*. 2011. No. 20, pp. 125-132.
11. Buj-Van-Ki, Danilov Yu.A. *Soprotivlenie ploskoj seti, parallel'noj potoku* [Drag of a flat netting parallel to the flow]. *Sbornik nauchnyh trudov*. Vyp. 32. Kaliningrad: KTIRPH Publ., 1971, pp. 58-65.
12. Song D.H., Lee C.W., Choe M.Y., Lee I.H., Park K.H. Experimental investigation on the hydrodynamic coefficients of netting. Contributions on the theory of fishing gears and related marine systems. Vol. 6. Proceeding of the 9-th International Workshop on Methods for the development and evaluation of maritime technologies. Japan, Nara, 2009, pp. 77-94.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Проскурнин Евгений Дмитриевич – кандидат физико-математических наук, доцент, Калининградский государственный технический университет (236022, Россия, г. Калининград, Советский пр-т 1, e-mail: proskurnin@inbox.ru)

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Proskurnin Evgeny Dmitrievich – Ph.D. (Phys & Math), Assoc. Prof., Kaliningrad State Technical University (236022, Russia, Kaliningrad, Sovetsky ave. 1, e-mail: proskurnin@inbox.ru)

Статья поступила в редакцию 25.11.2023; одобрена после рецензирования 14.12.2023, принята к публикации 18.12.2023.

The article was submitted 25.11.2023; approved after reviewing 14.12.2023; accepted for publication 18.12.2023.