МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

DOI: 10.24143/2072-9502-2021-1-61-69
УДК 681

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ ДВИЖЕНИЯ СУДНА ПО КУРСУ НА ОСНОВЕ ПСЕВДООБРАТНЫХ МАТРИЦ ИЗМЕРЕНИЙ ВЕКТОРА СОСТОЯНИЯ УПРАВЛЯЕМОГО ОБЪЕКТА

А. А. Дыда, К. Н. Чумакова, Нгуен Ван Тхань

Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского, Владивосток, Российская Федерация

Для настройки систем управления движением судна по траектории требуется знание параметров его управляемости. К рассмотрению предлагается построение матричной модели на основе измерений вектора состояния управляемого объекта. Построение модели рассматривается на примере задачи управления курсом судна. Предложен алгоритм определения матричных коэффициентов выбранной модели. Проверка работы рассмотренного алгоритма проведена для квадратных матриц путем нахождения их обратных матриц, а также для прямоугольных матриц, для которых находилась псевдообратная матрица. Иллюстрация предложенного подхода выполнена на примере простой линейной модели Номото 1-го порядка. Рассмотренный подход является достаточно универсальным и может быть распространен на модели более высокого порядка, в том числе и нелинейные.

Ключевые слова: система управления, движение судна, безопасность мореплавания, математическая модель, динамика судна, вектор состояния, идентификация, псевдообратная матрица.

Для цитирования: *Дыда А. А., Чумакова К. Н., Нгуен Ван Тхань.* Построение модели движения судна по курсу на основе псевдообратных матриц измерений вектора состояния управляемого объекта // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2021. № 1. С. 61–69. DOI: 10.24143/2072-9502-2021-1-61-69.

Введение

Ввиду увеличения интенсивности судоходства одной из наиболее актуальных проблем современного судовождения является безопасность мореплавания, ведь каждый год терпят бедствие около трехсот судов (как небольшие яхты, так и большие круизные лайнеры), становятся жертвами аварий около 90 человек [1, 2]. Причины могут быть совершенно разными: столкновение с другими объектами, техническая неисправность, посадка на мель. Судовой персонал существенное пренебрегает правилами безопасности мореплавания, хотя они являются обязательными для всех членов экипажа судна.

Безопасностью мореплавания называется комплекс мер, соблюдение которых позволяет избежать происшествий с судами во время плавания [3]. Безопасность можно рассматривать как навигационную (избегание столкновений, гибели в шторм и т. д.) и техническую (своевременное техническое обслуживание корабля, поддержание в исправном состоянии и т. д.). Безопасность мореплавания зависит от множества факторов, в том числе от совершенствования систем управления курсом судна [4, 5].

Важная задача, которую необходимо решить при построении систем управления, – получение адекватной математической модели управляемого объекта.

Известны различные математические модели движения судна, такие как линейные, частично линеаризованные, нелинейные модели [5, 6]. Построение математической модели движения судна связано с определением структуры и параметров уравнений его динамики. Для решения большого количества практических задач применяются линейные модели движения (далее «динамики судна»). К ним относятся модели Номото 1-го и 2-го порядка [7] и пр.

В работе рассмотрен подход к построению матричной модели динамики судна на основе измерений вектора состояний управляемого объекта. Проверка работоспособности предлагаемого подхода выполнена на примере простой линейной модели Номото 1-го порядка [7]. Рассматриваемый подход является достаточно универсальным и может быть использован для моделей более высокого порядка, в том числе и нелинейных.

Сущность предложенного подхода

Рассмотрим модель Номото 1-го порядка, которая описывает движение судна по курсу. Общий вид математической модели:

$$\dot{\varphi} = \omega;$$

$$\dot{\omega} = \frac{1}{T}\omega + \frac{k}{T}\delta\,, \tag{1}$$

где ω – угловая скорость; φ – курс; T – постоянная времени; k – коэффициент передачи; δ – угол поворота пера руля.

Выполним дискретизацию модели с шагом по времени Δt = const. Заменив производные в уравнении (1) конечными разностями, получим:

$$\frac{\varphi(t_{i+1}) - \varphi(t_i)}{\Delta t} = \omega(t_i);$$

$$\frac{\omega(t_{i+1}) - \omega(t_i)}{\Delta t} = -\frac{1}{T}\omega(t_i) + \frac{k}{T}\delta(t_i), \tag{2}$$

где $\Delta t = t_{(i+1)} - t_i$, при этом t_i – значение времени на i-м шаге.

Далее определим вектор состояния управляемого объекта:

$$x(i) = \begin{pmatrix} x_1(i) \\ x_2(i) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \varphi(t_i) \\ \omega(t_i) \end{pmatrix};$$

$$\delta(t_i) = \delta(i).$$

где x – вектор состояния управляемого объекта в конкретные моменты дискретного времени.

Преобразуем уравнение (2) к следующему виду:

$$x_1\ (i+1) = x_1(i) + \Delta t \cdot x_2\ (i);$$

$$x_2(i+1) = x_2(i) - \frac{\Delta t}{T} \cdot x_2(i) + \frac{\Delta t}{T} k\delta(i) = \left(1 - \frac{\Delta t}{T}\right) x_2(i) + \frac{\Delta t}{T} k\delta(i).$$

Приведем систему к матричному виду:

$$\begin{pmatrix} x_1(i+1) \\ x_2(i+1) \end{pmatrix} = A \begin{pmatrix} x_1(i) \\ x_2(i) \end{pmatrix} + B\delta(i), \tag{3}$$

где матрицы

$$A = \begin{pmatrix} 1 & \Delta t \\ 0 & 1 - \dfrac{\Delta t}{T} \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} 0 \\ \dfrac{\Delta t}{T} k \end{pmatrix}.$$

Графики изменений в дискретном времени компонент вектора состояния $x_1(i)$, $x_2(i)$ представлены на рис. 1 и 2.

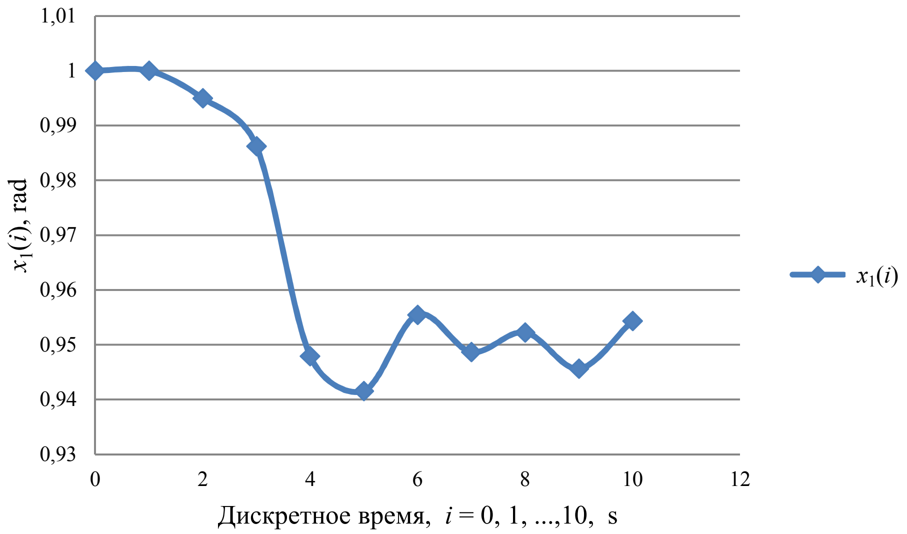

Рис. 1. Изменение в дискретном времени компоненты вектора состояния $x_1(i)$

Рис. 2. Изменение в дискретном времени компоненты вектора состояния $x_2(i)$

Матрицы A и B описывают динамику рассматриваемого объекта управления, поэтому задача состоит в нахождении этих матриц, т. е. в идентификации параметров динамики судна [8, 9].

Преобразуем выражение (3) через блочную матрицу:

$$\begin{pmatrix} x_1(i+1) \\ x_2(i+1) \end{pmatrix} = (A \vdots B) \begin{pmatrix} x_1(i) \\ x_2(i) \\ \delta(i) \end{pmatrix}. \quad (4)$$

С помощью формулы (4) по значению вектора состояния управляемого объекта на некотором шаге i можно определить значение вектора состояния управляемого объекта на шаге $i + 1$. Предположим, что выполнены измерения вектора состояния для шагов с номерами от 0 до 3 и трех значений δ(0), δ(1), δ(2). Применив свойства блочных матриц [10–13], несложно удостовериться в справедливости следующего матричного равенства:

$$\begin{pmatrix} x_1(1) & x_1(2) & x_1(3) \\ x_2(1) & x_2(2) & x_2(3) \end{pmatrix} = (A \ \vdots \ B) \begin{pmatrix} x_1(0) & x_1(1) & x_1(2) \\ x_2(0) & x_2(1) & x_2(2) \\ \delta(0) & \delta(1) & \delta(2) \end{pmatrix}. \qquad (5)$$

Обозначив матрицу слева через L, а матрицы справа через S и R соответственно, представим (5) в более компактной форме:

$$L = SR.$$

Задача построения модели динамики судна, решаемая нами, заключается в нахождении матрицы S. Матрица R является квадратной, поэтому для нахождения матрицы S, которая представляет собой объединение матриц A и B, нужно матрицу L умножить на обратную матрицу R^{-1}, т. е.

$$S = LR^{-1}, \qquad (6)$$

где R и L сформированы на основе измерений вектора состояния (угловой скорости, курса и т. д.).

Обратной матрицей к квадратной матрице называется такая матрица, произведение которой с квадратной матрицей равно единичной матрице [10].

Выбор значений δ(0), δ(1), δ(2), очевидно, должен быть таким, чтобы матрица R была невырождена.

Численный пример для квадратных матриц

Проиллюстрируем предлагаемый подход на численном примере. Для проверки рассмотренного подхода зададимся конкретными параметрами модели Номото 1-го порядка: $\Delta t = 1$, $T = 20$, $k = 0{,}2$. Соответственно, матрицы A и B будут равны $A = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 0 & 0{,}95 \end{pmatrix}$, $B = \begin{pmatrix} 0 \\ 0{,}01 \end{pmatrix}$.

Вычислим по формуле (6) матрицу LR^{-1}. Моделирование уравнения Номото в дискретном времени при заданных значениях δ(i) позволяет сформировать матрицы, составленные из измерений вектора состояний (табл. 1).

Таблица 1

Значения элементов матриц *L* и *R*,

полученные в результате вычислений в MS Excel, при $i = \overline{0,3}$

i	0	1	2	3
$x_1(i)$	1	1	0,995	0,98625
$x_2(i)$	0	–0,005	–0,00875	–0,03831
δ(i)	–0,5	–0,4	–3	3

Матрицы L и R примут вид

$$L = \begin{pmatrix} 1 & 0{,}995 & 0{,}98625 \\ -0{,}005 & -0{,}00875 & -0{,}03831 \end{pmatrix};$$

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0{,}995 \\ 0 & -0{,}005 & -0{,}00875 \\ -0{,}5 & -0{,}4 & -3 \end{pmatrix}.$$

Обратная матрица примет вид $R^{-1} = \begin{pmatrix} 0{,}85901 & 194{,}3604 & -0{,}28197946 \\ 0{,}326797 & -186{,}928 & 0{,}653594771 \\ -0{,}18674 & -7{,}46965 & -0{,}37348273 \end{pmatrix}.$

Произведение $LR^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 5{,}55112 \cdot 10^{-17} \\ -1{,}73472 \cdot 10^{-18} & 0{,}95 & 0{,}01 \end{pmatrix}.$

Таким образом, на основе измерений вектора состояния управляемого объекта восстанавливаются значения параметров модели Номото 1-го порядка, т. е. выполняется параметрическая идентификация модели Номото.

Численный пример для прямоугольных матриц

Рассмотренный выше случай является идеализированным. На практике компоненты вектора состояния управляемого объекта измеряются с погрешностью, и в результате идентификации матрицы A и B могут существенно изменяться для вычислений, выполняемых в различные моменты дискретного времени. Для повышения точности определения параметров матриц модели представляется естественным (и применяется на практике) использование избыточного количества измерений. Однако в этом случае применение формулы (6) невозможно, т. к. матрица R является прямоугольной и не имеет обратной матрицы. Преодоление этой трудности возможно на основе использования псевдообратных матриц.

Псевдообращение – это наилучшая аппроксимация по методу наименьших квадратов решения соответствующей системы линейных уравнений. Для R^+ любой матрицы R является псевдообратной матрицей, если выполняются следующие соотношения:

$$RR^+R = R;$$

$$R^+RR^+ = R;$$

$$\left(RR^+\right)^T = RR^+;$$

$$\left(R^+R\right)^T = R^+R.$$

Согласно [12] решение задачи может быть выполнено на основе псевдообратной матрицы вида

$$R^+ = \left(R^T \cdot R\right)^{-1} \cdot R^T.$$

На основе выражения (5) при избыточном количестве измерений матрица S вычисляется согласно формуле

$$S = LR^+.$$

Проиллюстрируем предлагаемый подход на численном примере. Предположим, выполнены измерения вектора состояний 0, 1, 2, 3, 4, 5 (небольшое количество шагов взято во избежание громоздкости примера). Тогда связь значений вектора состояния и параметров системы при избыточном количестве измерений на основе формулы (5) представлена в выражении

$$\begin{pmatrix} x_1(1) & x_1(2) & x_1(3) & x_1(4) & x_1(5) \\ x_2(1) & x_2(2) & x_2(3) & x_2(4) & x_2(5) \end{pmatrix} = (A \vdots B) \begin{pmatrix} x_1(0) & x_1(1) & x_1(2) & x_1(3) & x_1(4) \\ x_2(0) & x_2(1) & x_2(2) & x_2(3) & x_2(4) \\ \delta(0) & \delta(1) & \delta(2) & \delta(3) & \delta(4) \end{pmatrix}. \qquad (7)$$

Сформируем матрицы, составленные из значений вектора состояний управляемого объекта $\delta(0)$, $\delta(1)$, $\delta(2)$, $\delta(3)$, $\delta(4)$ (табл. 2).

Таблица 2

Значения элементов матриц L и R,
полученные в результате вычислений в MS Excel, при $i = \overline{0,5}$

i	0	1	2	3	4	5
$x_1(i)$	1	1	0,995	0,98625	0,947938	0,941541
$x_2(i)$	0	–0,005	–0,00875	–0,03831	–0,0064	0,013923
$\delta(i)$	–0,5	–0,4	–3	3	2	-2

В этом случае $L = \begin{pmatrix} 1 & 0,995 & 0,98625 & 0,947938 & 0,94154 \\ -0,005 & -0,00875 & -0,0383125 & -0,0064 & 0,013923 \end{pmatrix}$;

$$R = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0,995 & 0,98625 & 0,947938 \\ 0 & -0,005 & -0,00875 & -0,03831 & 0,0064 \\ -0,5 & -0,4 & -3 & 3 & 2 \end{pmatrix}.$$

Вычисление псевдообратной матрицы R^+ дает

$$R^+ = \begin{pmatrix} 1,75 & -35,1973 & -2,5 \\ -0,5 & 81,08398 & 2 \\ -0,16602 & -27,8141 & 0,0625 \\ 0 & -32,8225 & 0,125 \\ 0,125 & 14,93213 & 0,375 \end{pmatrix}.$$

В результате $S = LR^+ = \begin{pmatrix} 1,20646 & 0,995144 & 0,023211 \\ 0,003726 & 0,94991 & 0,00297 \end{pmatrix}$.

Таким образом, выполнена корректная параметрическая идентификация модели Номото.

Выше отмечено, что измерения вектора состояния управляемого объекта часто сопровождаются действием помех, т. е. выполняются с погрешностями. В связи с этим представляет интерес сохранение в этих условиях работоспособности предложенного подхода. Для моделирования действующей аддитивной помехи предположим, что она представляет собой случайную величину, равномерно распределенную в диапазоне ±5 % значения вектора состояния управляемого объекта. Для имитации действия помех используется генератор случайных чисел. Ниже приведены матрицы L и R^+, содержащие измеряемые компоненты, искаженные помехами:

$$L = \begin{pmatrix} 2,444909 & 3,705184 & 5,120224529 & 6,560833 & 8,499769 \\ 0,573146 & 0,697854 & 1,064177251 & 1,773746 & 2,691752 \end{pmatrix};$$

$$R^+ = \begin{pmatrix} 1,3125 & -1,21875 & 1 \\ 0,75 & 2,5 & -1,375 \\ -0,75 & -2,625 & 1 \\ 0,125 & 0,1875 & -0,1875 \\ -0,125 & 0,734375 & 0,25 \end{pmatrix}.$$

Используя формулу (7), получаем матрицу S:

$$S = LR^+ = \begin{pmatrix} 1,905296 & 0,314814 & 3,365291 \\ 0,36276 & 0,561981 & 1,018134 \end{pmatrix}.$$

Из сравнения с результатами идентификации по матрице измерений, не содержащих помехи, следует, что действие помех в значительной степени нейтрализуется за счет избыточности измерений.

Заключение

Разработка систем управления движением судна предполагает наличие соответствующей математической модели, получение которой в общем случае является достаточно сложной задачей. Показана работоспособность предложенного в настоящей работе алгоритма построения модели динамики судна, использующего измерения вектора состояния управляемого объекта. Выполнена параметрическая идентификация модели Номото 1-го порядка для случаев с различным числом измерений (тремя и пятью). Подход может быть обобщен для большего количества измерений. Кроме того, работоспособность предложенного подхода проверена с учетом действия помех. Показано, что действие помех незначительно ввиду увеличения числа измерений. Подход является универсальным и может быть обобщен и распространен на модели более высокого порядка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Количество* аварий на водном транспорте в 2015 году увеличилось на 62 %, большая часть приходится на рыбопромысловые суда. URL: http://portnews.ru/top_news/216552/ (дата обращения: 28.08.2018).
2. *Пазовский В. М.* Аварийность на мировом флоте // Безопасность судоходства в Дальневосточном бассейне: сб. докл. Науч.-практ. конф. 24–25 октября 2007 г. Владивосток: Изд-во Мор. гос. ун-та, 2007. С. 108–113.
3. *Алексеев Л. Л.* Практическое пособие по управлению морским судном. СПб.: Изд-во ЦНИИМФ, 2003. 192 с.
4. *Вагущенко Л. Л., Цымбал Н. Н.* Системы автоматического управления движением судна. Одесса: Латстар, 2002. 310 с.
5. *Лукомский Ю. А., Корчанов В. М.* Управление морскими подвижными объектами. СПб.: Элмор, 1996. 318 с.
6. *Фельдбаум А. А., Бутковский А. Г.* Методы теории автоматического управления. М.: Наука, 1971. 744 с.
7. *Fosen T. I.* Marine control systems. Guidance, navigation and control of ships, rigs and underwater vehicles. Trondheim: Marine Cybernetics, 2002. 560 p.
8. *Юдин Ю. И., Степахно А. Г., Гололобов А. Н.* Использование идентифицированных математических моделей судна для обеспечения безопасности судовождения // Вестн. Мурм. гос. техн. ун-та. 2009. Т. 12. № 1. С. 10–12.
9. *Крутько П. Д.* Обратные задачи динамики управляемых систем: линейные модели. М.: Наука, 1987. 304 с.
10. *Бронштейн И. Н., Семендяев К. А.* Справочник по математике для инженеров и учащихся втузов. М.: Наука, 1981. 720 с.
11. *Вержбицкий В. М.* Численные методы. Математический анализ и обыкновенные дифференциальные уравнения. М.: Наука, 1984. 832 с.
12. *Корн Г., Корн Т.* Справочник по математике для научных работников и инженеров. М.: Наука, 1984. 832 с.
13. *Марчук Г. И.* Методы вычислительной математики. М.: Наука, 1989. 608 с.

Статья поступила в редакцию 16.11.2020

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Дыда Александр Александрович – Россия, 690059, Владивосток; Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского; д-р техн. наук, профессор; профессор кафедры автоматических и информационных систем; adyda@mail.ru.

Чумакова Ксения Николаевна – Россия, 690059, Владивосток; Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского; аспирант кафедры автоматических и информационных систем; ksushechka_1991@mail.ru.

Нгуен Ван Тхань – Россия, 690059, Владивосток; Морской государственный университет имени адмирала Г. И. Невельского; аспирант кафедры автоматических и информационных систем; thanhnv.hvhq@gmail.com.

DESIGNING SHIP COURSE MOVEMENT USING PSEUDOINVERSE MATRICES FOR MEASURING STATE VECTOR OF CONTROLLED OBJECT

A. A. Dyda, K. N. Chumakova, Ngyen Van Than

Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy,
Vladivostok, Russian Federation

Abstract. To configure the control systems of the ship movement along the trajectory, it is necessary to be concerned with the parameters of its controllability. There has been proposed building a matrix model based on measurements of the state vector of a controlled object. The construction of the model is considered on the example of the problem of ship course control. An algorithm for determining the matrix coefficients of the selected model is proposed. The operation of the considered algorithm has been checked for square matrices by finding their inverse matrices, as well as for rectangular matrices for which the pseudo inverse matrix was found. The illustration of the proposed approach is carried out using the example of a simple 1-order linear Nomoto model. The considered approach is quite universal and can be applied to higher order models, including nonlinear ones.

Key words: control system, ship motion, safety of navigation, mathematical model, ship dynamics, state vector, identification, pseudo inverse matrix.

For citation: Dyda A. A., Chumakova K. N., Ngyen Van Than. Designing ship course movement using pseudoinverse matrices for measuring state vector of controlled object. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer Science and Informatics*. 2021;1:61-69. (In Russ.) DOI: 10.24143/2072-9502-2021-1-61-69.

REFERENCES

1. *Kolichestvo avarii na vodnom transporte v 2015 godu uvelichilos' na 62 %, bol'shaia chast' prikhoditsia na rybopromyslovye suda* [[Number of accidents on water transport in 2015 increased by 62%, predominantly fishing vessels]. Available at: http://portnews.ru/top_news/216552/ (accessed: 28.08.2018).
2. Pazovskii V. M. Avariinost' na mirovom flote [Accident rate of world fleet]. *Bezopasnost' sudokhodstva v Dal'nevostochnom basseine: cbornik dokladov Nauchno-prakticheskoi konferentsii 24–25 oktiabria 2007 g.* Vladivostok, Izd-vo Mor. gos. un-ta, 2007. Pp. 108-113.
3. Alekseev L. L. *Prakticheskoe posobie po upravleniiu morskim sudnom ob"ektami* [Practical guide to managing sea vessel]. Saint-Petersburg, Izd-vo TsNIIMF, 2003. 192 p.
4. Vagushchenko L. L., Tsymbal N. N. *Sistemy avtomaticheskogo upravleniia dvizheniem sudna* [Systems of automatic control of ship movement]. Odessa, Latstar Publ., 2002. 310 p.
5. Lukomskii Iu. A., Korchanov V. M. *Upravlenie morskimi podvizhnymi ob"ektami* [Management of marine mobile objects]. Saint-Petersburg, Elmor Publ., 1996. 318 p.
6. Fel'dbaum A. A., Butkovskii A. G. *Metody teorii avtomaticheskogo upravleniia* [Methods of theory of automatic control]. Moscow, Nauka Publ., 1971. 744 p.
7. Fosen T. I. *Marine control systems. Guidance, navigation and control of ships, rigs and underwater vehicles.* Trondheim, Marine Cybernetics, 2002. 560 p.
8. Iudin Iu. I., Stepakhno A. G., Gololobov A. N. Ispol'zovanie identifitsirovannykh matematicheskikh modelei sudna dlia obespecheniia bezopasnosti sudovozhdeniia [Using identified mathematical models of vessel to ensure navigation safety]. *Vestnik Murmanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2009, vol. 12, no. 1, pp. 10-12.

9. Krut'ko P. D. *Obratnye zadachi dinamiki upravliaemykh sistem: lineinye modeli* [Inverse problems of dynamics of controlled systems: linear models]. Moscow, Nauka Publ., 1987. 304 p.

10. Bronshtein I. N., Semendiaev K. A. *Spravochnik po matematike dlia inzhenerov i uchashchikhsia vtuzov* [Reference book on mathematics for engineers and students of technical colleges]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 720 p.

11. Verzhbitskii V. M. *Chislennye metody. Matematicheskii analiz i obyknovennye differentsial'nye uravneniia* [Numerical methods. Mathematical analysis and ordinary differential equations]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 832 p.

12. Korn G., Korn T. *Spravochnik po matematike dlia nauchnykh rabotnikov i inzhenerov* [Handbook on mathematics for scientists and engineers]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 832 p.

13. Marchuk G. I. *Metody vychislitel'noi matematiki* [Methods of computational mathematics]. Moscow, Nauka Publ., 1989. 608 p.

The article submitted to the editors 16.11.2020

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Dyda Alexander Aleksandrovich – Russia, 690059, Vladivostok; Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Automatic and Information Systems; adyda@mail.ru.

Chumakova Ksenia Nikolaevna – Russia, 690059, Vladivostok; Maritime State University named after admiral G. I. Nevelskoy; Postgraduate Student of the Department of Automatic and Information Systems; ksushechka_1991@mail.ru.

Nguyen Van Thanh – Russia, 690059, Vladivostok; State Marine University named after admiral G. I. Nevelskoy; Postgraduate Student of the Department of Automatic and Information Systems; thanhnv.hvhq@gmail.com.