

УДК 517.977.5

**Математические модели реализации заданного движения для
достижения экономической эффективности**

Смирнова Мария Александровна

кандидат физико-математических наук, старший преподаватель,
Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург

Смирнов Михаил Николаевич

кандидат физико-математических наук, доцент,
Санкт-Петербургский государственный университет,
г. Санкт-Петербург

Аннотация. Для надводных и подводных морских объектов особую значимость имеет обеспечение желаемого движения по курсу. В любой системе автоматического управления курсом для морских объектов обеспечивается отработка заданного командного значения, и эта отработка должна быть достаточно точной для обеспечения безаварийного движения в стесненных условиях. Кроме того, точное следование заданному курсу способствует повышению экономической эффективности выполнения поставленной задачи. В данной статье рассматриваются математические модели реализации заданного движения морского подвижного объекта по курсу, а также проводится математическое и компьютерное моделирование для конкретного морского аппарата.

Ключевые слова: управление, система, устойчивость, морские объект

Smirnova Maria Aleksandrovna

candidate of physical and mathematical sciences,
senior lecturer, St.Petersburg State University,
St.Petersburg

Smirnov Mikhail Nikolaevich,

candidate of physical and mathematical sciences,
associate professor, St.Petersburg State University,
St.Petersburg

Annotation. For surface and underwater marine objects, it is of particular importance to ensure the desired motion along the yaw. In all automatic course control systems for marine objects, the specified command value is achieved, and this command must be sufficiently accurate to ensure trouble-free movement in cramped conditions. This article discusses mathematical models for the implementation of a given motion of a marine mobile object along the yaw, as well as mathematical and computer modeling for a specific marine vehicle.

Keywords: control, system, stability, marine vessel

Для надводных и подводных морских объектов особую значимость имеет обеспечение желаемого движения по курсу. В любой системе автоматического управления курсом для морских объектов обеспечивается отработка заданного командного значения. Однако в связи с необходимостью обхода препятствий, движения в узких местах, выполнения маневров расхождения также возникает необходимость точной отработки заданного значения курсового угла $\phi_d(t)$. Другими словами, требуется обеспечить близость значения фактического курса $\phi(t)$ к желаемому значению $\phi_d(t)$ в каждый момент времени $t > 0$. Существуют разные методы достижения такого результата, некоторые из которых описаны в различной литературе [1-12].

В данной статье рассматриваются математические модели реализации заданного движения морского подвижного объекта по курсу.

Представим математическую модель закона управления, который обеспечивает заданную величину курсового угла ϕ_d :

$$\begin{aligned}\dot{z}_1 &= a_{11}z_1 + a_{12}z_2 + b_1\delta_r + g_1(\phi - z_3), \\ \dot{z}_2 &= a_{21}z_1 + a_{22}z_2 + b_2\delta_r + g_2(\phi - z_3), \\ \dot{z}_3 &= z_2 + g_3(\phi - z_3), \\ u &= \mu_1\dot{z}_1 + \mu_2\dot{z}_2 + \mu_3\dot{z}_3 + v(\phi - \phi_z) + \chi.\end{aligned}$$

Здесь $z \in E^3$ – вектор состояния асимптотического наблюдателя, a_{ij}, b_i – постоянные коэффициенты системы рассматриваемого объекта управления, g_i – постоянные коэффициенты при невязках $\phi - z_3$ в наблюдателе, обеспечивающие гурвицевость характеристического полинома наблюдателя, v, μ_i – параметры закона управления, которые подлежат поиску, χ – выход фильтра, δ_r – угол отклонения рулей.

Система уравнений, задающая фильтр, имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{p} = \alpha p + \beta(\phi - z_3), \\ \dot{z}_1 \\ \dot{z}_2 \\ \dot{z}_3 \end{cases}$$

где $p = (p_1 \ p_2 \ p_3)^T$.

Рассмотрим конкретный объект управления со следующими значениями постоянных коэффициентов:

$$a_{11} = -0.24, \quad a_{12} = -0.591, \quad b_1 = -0.1071;$$

$$a_{21} = 0.00102, \quad a_{22} = -0.6195, \quad b_2 = 0.12578.$$

Коэффициенты наблюдателя, обеспечивающие биномиальное распределение корней его характеристического полинома с параметром $\rho_0 = 0.6$, принимают значения $g_1 = 0.13908, g_2 = 0.0804, g_3 = 0.0405$.

Значения коэффициентов скоростных законов управления: $\mu_1 = -0.0054, \mu_2 = -2.5467, \mu_3 = -1.9884, v = -0.2$.

Коэффициенты фильтра, обеспечивающего фильтрацию заданной частоты $w_0 = 0.5$, принимают следующие значения:

$$\alpha = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1377.3 & -371.61 & -33.4 \end{pmatrix}, \quad \beta = \begin{pmatrix} 0 \\ -2026.3 \\ 67047 \end{pmatrix}.$$

Отметим, что указанные коэффициенты скоростных законов получены путем решения соответствующей задачи LQR-оптимизации, которая обсуждалась в [1-3]. Ее решение в виде позиционного регулятора имеет следующий вид:

$$u = -0.0126 V_z - 0.3984 \omega_y - 0.2 \phi - 0.3122 \delta_r$$

Сформируем компьютерную модель рассматриваемого морского аппарата в среде MATLAB и рассмотрим в качестве заданного движения поворот по курсу на заданный угол $\phi_z = 10^\circ$. На рис. 1 и 2 показаны графики функций, представляющих изменения динамических переменных в процессе стабилизации аппарата при его движении в повороте по курсовому углу. Этот процесс обеспечивается приведенными выше законами управления.

На первом из рисунков проиллюстрированы перекладки вертикальных рулей. Второй рисунок показывает график изменения курса $\phi(t)$ с его выходом на заданный уровень.

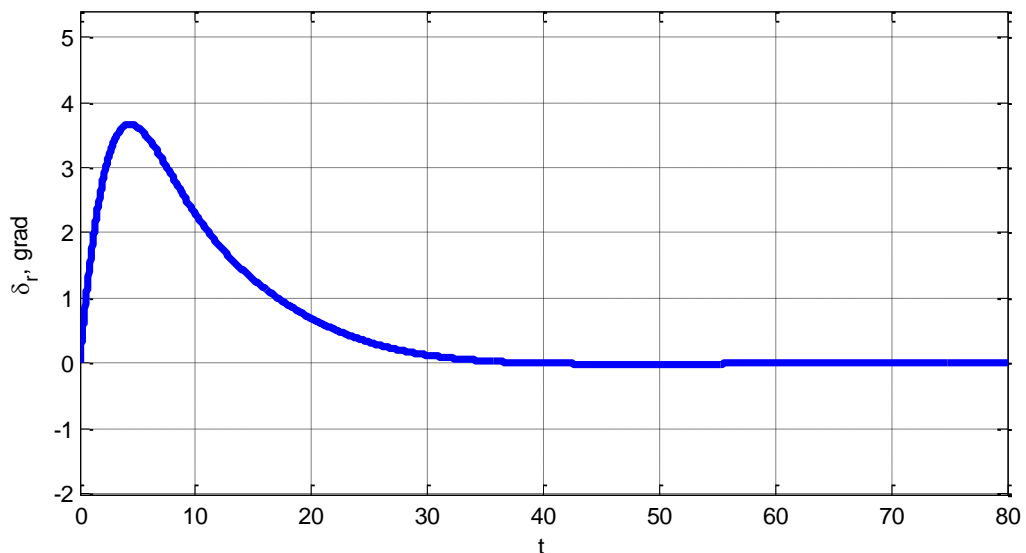


Рис. 1. Управляющие воздействия в процессе выхода на заданный курс $\phi_z = 10^\circ$.

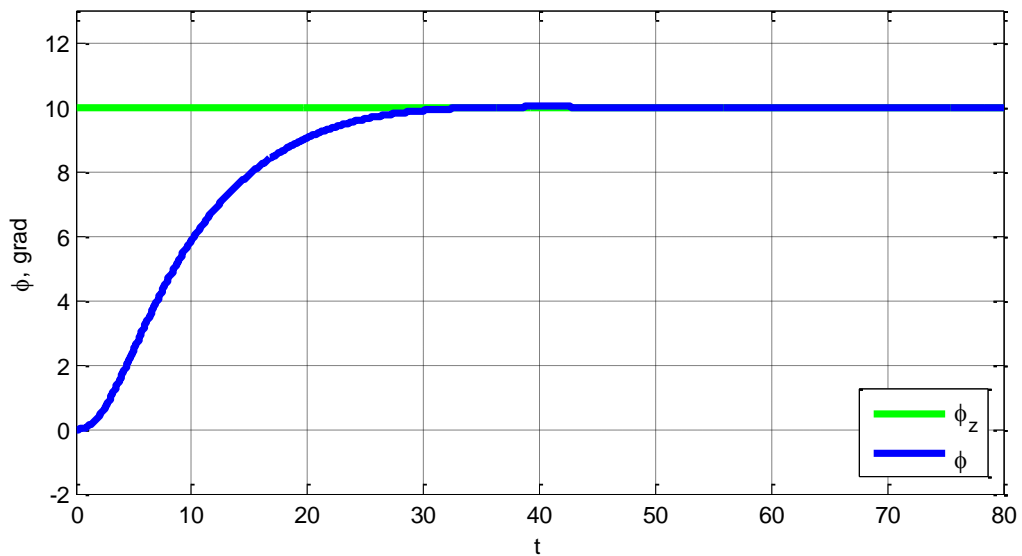


Рис. 2. Изменение курса ϕ .

Из приведенных графиков видно, что на 30-й секунде угловая координата выходит на заданное значение $\phi_z = 10^\circ$ и находится в этом положении.

В качестве программного движения по курсу для данного примера примем гармоническую функцию

$$\phi_d(t) = A_d \sin \omega_d t$$

полагая $A_d = 10^\circ$, $\omega_d = 0.05$.

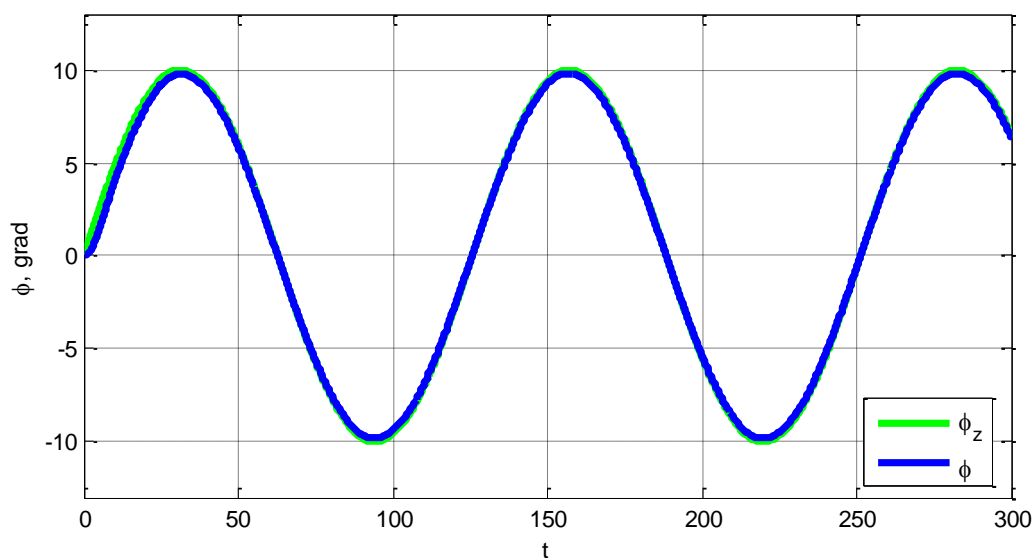


Рис. 3. Желаемый и фактический курс.

На рис. 3 представлены графики фактического курса $\phi(t)$ замкнутой системы и желаемого курса $\phi_d(t)$. Как видно из этого графика, фактический курс практически идеально совпадает с желаемым, что позволяет сделать вывод о хорошей работе найденного закона управления.

Таким образом, в статье рассмотрена математическая модель реализации заданного движения морского аппарата по курсу. Сформирована компьютерная модель системы управления движением рассматриваемого объекта управления и проведено компьютерное моделирование. В результате проведенного компьютерного моделирования сделан вывод о хорошем качестве переходных процессов.

Библиографический список

1. Veremei E.I., Korchanov V.M. Multiobjective stabilization of a certain class of dynamic systems // Automation and Remote Control, №49, 1989. pp. 1210 – 1219.
2. Веремей Е.И. Линейные системы с обратной связью. – СПб.: Изд-во «Лань», 2013 – 448 с.
3. Веремей Е. И., Корчанов В. М. Многоцелевая стабилизация динамических систем одного класса // АН СССР. Автоматика и телемеханика. 1988. – № 9. – С. 126–137.
4. Веремей Е.И. Синтез законов многоцелевого управления движением морских объектов // Гироскопия и навигация. 2009. – № 4. –С. 3–14.
5. Smirnov N.V., Smirnova M.A., Smirnov A.N., Smirnov M.N. Combined control synthesis algorithm. 2017 Constructive Nonsmooth Analysis and Related Topics (Dedicated to the Memory of V.F. Demyanov), CNSA 2017 - Proceedings. –2017 – pp. 194-196.
6. Smirnova M.A., Smirnov M.N., Smirnova T.E., Smirnov N.V. Multi-purpose control laws in motion control systems // Information (Japan). –2017. – 20(4). –pp. 2265-2272.2017.

7. Smirnov N.V., Smirnova M.A., Smirnova T.E., Smirnov M.N. The Problem of Synthesis the Control Laws with Uncertainties in External Disturbances. // Lecture Notes in Engineering and Computer Science, –2017.– pp. 276-279.

8. Smirnov N.V., Smirnova M.A., Smirnova T.E., Smirnov M.N. The Issues of Multipurpose Control Laws Construction. // Lecture Notes in Engineering and Computer Science. –2017. –pp. 194-196.

9. Smirnova M.A., Smirnov M.N. Multipurpose control laws in trajectory tracking problem.// International Journal of Applied Engineering Research. –2017– 11(22), – pp.11104-11109.

10. Vitrant E., Canudas–De–Vit C., Georges D., Alamir M. Remote stabilization via time–varying communication network delays // IEEE Conference in Control Applications, Taiwan, –2004.

11. Smirnov M.N., Smirnova M.A. Control synthesis for marine vessels in case of limited disturbances // Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control), – 2018, –16(2), –pp. 648–653.

12. Smirnov M.N., Smirnova M.A. Questions of stabilization and control of unmanned aerial vehicles // Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences, –2018, –71(1), –pp. 87–91.

Literature

1. Veremei E.I., Korchanov V.M. Multiobjective stabilization of a certain class of dynamic systems // Automation and Remote Control, №49, 1989. pp. 1210 – 1219.

2. Veremei E.I. Linejnye sistemy s obratnoj svyaz'yu. – SPb.: Izd–vo «Lan'», 2013 – 448 s.

3. Veremei E. I., Korchanov V. M. Mnogocelelevaya stabilizaciya dinamicheskikh sistem odnogo klassa // AN SSSR. Avtomatika i telemekhanika. 1988. – № 9. – S. 126–137.

4. Veremei E. I. Sintez zakonov mnogocelelego upravleniya dvizheniem morskikh ob"ektov // Giroskopiya i navigaciya. 2009. – № 4. –S. 3–14.

5. Smirnov N.V., Smirnova M.A., Smirnov A.N., Smirnov M.N. Combined control synthesis algorithm. 2017 Constructive Nonsmooth Analysis and Related Topics (Dedicated to the Memory of V.F. Demyanov), CNSA 2017 - Proceedings. –2017 – pp. 194-196.

6. Smirnova M.A., Smirnov M.N., Smirnova T.E., Smirnov N.V. Multi-purpose control laws in motion control systems // Information (Japan). –2017. – 20(4). –pp. 2265-2272.2017.

7. Smirnov N.V., Smirnova M.A., Smirnova T.E., Smirnov M.N. The Problem of Synthesis the Control Laws with Uncertainties in External Disturbances. // Lecture Notes in Engineering and Computer Science, –2017.– pp. 276-279.

8. Smirnov N.V., Smirnova M.A., Smirnova T.E., Smirnov M.N. The Issues of Multipurpose Control Laws Construction. // Lecture Notes in Engineering and Computer Science. –2017. –pp. 194-196.

9. Smirnova M.A., Smirnov M.N. Multipurpose control laws in trajectory tracking problem.// International Journal of Applied Engineering Research. –2017– 11(22), – pp.11104-11109.

10. Vitrant E., Canudas–De–Vit C., Georges D., Alamir M. Remote stabilization via time–varying communication network delays // IEEE Conference in Control Applications, Taiwan, –2004.

11. Smirnov M.N., Smirnova M.A. Control synthesis for marine vessels in case of limited disturbances // Telkomnika (Telecommunication Computing Electronics and Control), – 2018, –16(2), –pp. 648–653.

12. Smirnov M.N., Smirnova M.A. Questions of stabilization and control of unmanned aerial vehicles // Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences, –2018, –71(1), –pp. 87–91.