

5. Minchev, D. Marine diesel engines operating cycle simulation for diagnostics issues / D. Minchev, R. Varbanets, N. Aleksandrovskaya, L. Pisintsaly // Acta Polytechnica. – 2021. – № 3(61). – pp. 428–440. DOI: <https://doi.org/10.14311/AP.2021.61.0435>

6. Minchev, D. S. Blitz-PRO User's manual [Електронний ресурс] / D. S. Minchev – Режим доступу: <http://blitzpro.zeddmalam.com/extra/Tutorial/Help.pdf> (дата звернення: 27.06.2022)

7. Neumann S., Varbanets R., Minchev D., Malchevsky V., Zalozh V. Vibrodiagnostics of marine diesel engines in IMES GmbH systems. *Ships and Offshore Structures*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.1080/17445302.2022.2128558>

УДК 656.61.052:681.51

**ВИКОРИСТАННЯ «НУЛЬОВИХ РУХІВ» ДЛЯ НАЛАШТУВАННЯ
НАДЛИШКОВИХ СТРУКТУР ВИКОНАВЧИХ ПРИСТРОЇВ**

Зінченко С. М., доктор технічних наук, доцент, **Товстокорий О. М.**, кандидат
технічних наук, доцент, **Бень А. П.**, кандидат технічних наук, професор,
Нагрибельний Я. А., доктор технічних наук, професор

Херсонська державна морська академія

Найбільш перспективним напрямком на найближчі 10 років, до появи повністю роботизованих суден, є розробка та впровадження автоматичних модулів керування у автоматизованих системах, які виконують поставлену задачу без участі людини [1-8]. Функції людини в таких системах зводяться лише до запуску автоматичного модуля та спостереження за його роботою. Прикладом автоматичного модуля, який сьогодні використовується майже на всіх суднах, є автопілот. Пасажирські, військові та офшорні судна у значній мірі оснащені автоматичними модулями системи динамічного позиціонування (DP–system), засобами активного керування (ЗАК) [9,10], мають резервування в каналах вимірювання та керування. Використання надлишкових структур виконавчих

пристроїв дає можливість не тільки створювати необхідні керуючі сили і моменти, але й оптимізувати процеси керування. Наприклад, функція якості керування $Q_1(u_1, u_2, \dots, u_n) = u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2 \rightarrow \min$ мінімізує енергетичні витрати, функція якості керування $Q_2(u_1, u_2, \dots, u_n) = |P_x| \rightarrow \max$ максимізує керуючу силу вздовж осі OX_1 ЗСК, поздовжнє прискорення та поздовжню швидкість руху, функція якості керування $Q_3(u_1, u_2, \dots, u_n) = |P_y| \rightarrow \max$ максимізує керуючу силу вздовж осі OY_1 ЗСК, бокове прискорення та бокову швидкість, функція якості керування $Q_4(u_1, u_2, \dots, u_n) = |M_z| \rightarrow \max$ максимізує керуючий момент вздовж осі OZ_1 ЗСК, кутове прискорення та кутову швидкість обертання. Звичайно що судна, оснащені оптимізаційними алгоритмами, будуть мати переваги по тактико – технічним характеристикам над суднами, не оснащеними такими алгоритмами, при інших рівних умовах. Функції якості керування $Q_1(u_1, u_2, \dots, u_n) = u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2$, $Q_2(u_1, u_2, \dots, u_n) = |P_x|$, $Q_3(u_1, u_2, \dots, u_n) = |P_y|$, $Q_4(u_1, u_2, \dots, u_n) = |M_z|$ мають кілька екстремумів, але вони гладкі, що дозволяє використовувати градієнтні методи глобальної оптимізації.

$$\frac{dQ_j}{dt} = \frac{\partial Q_j}{\partial u_1} \frac{du_1}{dt} + \frac{\partial Q_j}{\partial u_2} \frac{du_2}{dt} + \dots + \frac{\partial Q_j}{\partial u_n} \frac{du_n}{dt} = \langle \mathbf{grad} Q_j, \frac{d\mathbf{U}}{dt} \rangle \rightarrow \text{extr}$$

Одночасно повинні виконуватися обмеження типу рівностей $\mathbf{f}_u(u_1, u_2, \dots, u_n) = 0$, для забезпечення необхідних керувань у каналах поздовжнього, бокового та кутового руху, а також обмеження типу нерівностей, для врахування обмежень на керування $|\mathbf{U}| \leq \mathbf{U}^{\max}$ та швидкість їх зміни $\left| \frac{d\mathbf{U}}{dt} \right| \leq \mathbf{U}^{\max}$.

Для прикладу, розглянемо переналаштування мінімально надлишкової структури кормових азиподів офшорного судна, зображеної на рис. 1.

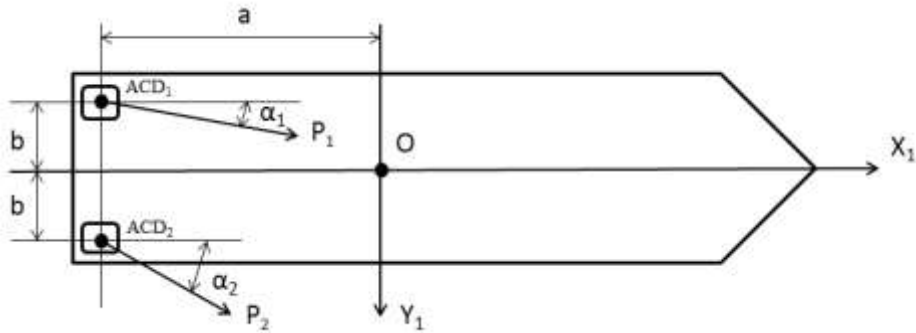


Рисунок 1 – Мінімально надлишкова структура кормових азиподів

Математична модель наведеної структури має вигляд

$$\begin{cases} P_x = P_1 \cos \alpha_1 + P_2 \cos \alpha_2, \\ P_y = P_1 \sin \alpha_1 + P_2 \sin \alpha_2, \\ M_z = P_1 b \cos \alpha_1 - P_2 b \cos \alpha_2 - P_1 a \sin \alpha_1 - P_2 a \sin \alpha_2, \\ |P_1| \leq P^{\max}, |P_2| \leq P^{\max}, |\alpha_1| \leq \pi, |\alpha_2| \leq \pi \end{cases} \quad (1)$$

Прийmemo функцію якості керування, яка забезпечує максимальну керуючу силу у напрямку бокової осі OY_1 ЗСК

$$P_y = P_1 \sin \alpha_1 + P_2 \sin \alpha_2 \rightarrow \max \quad (2)$$

Знайдемо градієнт функції (2)

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{dP_y}{dt} = \frac{\partial P_y}{\partial P_1} \frac{\partial P_1}{\partial t} + \frac{\partial P_y}{\partial \alpha_1} \frac{\partial \alpha_1}{\partial t} + \frac{\partial P_y}{\partial P_2} \frac{\partial P_2}{\partial t} + \frac{\partial P_y}{\partial \alpha_2} \frac{\partial \alpha_2}{\partial t} = \langle \mathbf{grad} P_y, \frac{dU}{dt} \rangle \rightarrow \max, \\ \mathbf{grad} P_y = (\sin \alpha_1, P_1 \cos \alpha_1, \sin \alpha_2, P_2 \cos \alpha_2), \\ \frac{dU}{dt} = (u_1, u_2, u_3, u_4), \\ \bullet \\ P_1 = u_1, \\ \bullet \\ \alpha_1 = u_2, \\ \bullet \\ P_2 = u_3, \\ \bullet \\ \alpha_2 = u_4, \end{array} \right. \quad (3)$$

Для забезпечення переналаштування структури (1) на функцію якості керування (2) без створення збурюючих сил та моментів, необхідно враховувати обмеження типу рівностей на параметри керування, які отримані шляхом диференціювання другого та третього рівняння системи (1)

$$\begin{cases} \dot{P}_1 \sin \alpha_1 + P_1 \dot{\alpha}_1 \cos \alpha_1 + \dot{P}_2 \sin \alpha_2 + P_2 \dot{\alpha}_2 \cos \alpha_2 = 0, \\ \dot{P}_1 b \cos \alpha_1 - P_1 \dot{\alpha}_1 b \sin \alpha_1 - \dot{P}_2 b \cos \alpha_2 + P_2 \dot{\alpha}_2 b \sin \alpha_2 - \dot{P}_1 a \sin \alpha_1 - P_1 \dot{\alpha}_1 a \cos \alpha_1 = 0, \\ -\dot{P}_1 a \sin \alpha_1 - P_1 \dot{\alpha}_1 a \cos \alpha_1 = 0. \end{cases} \quad (4)$$

Також необхідно врахувати обмеження типу нерівностей

$$\begin{cases} |P_1| \leq P^{\max}, |P_2| \leq P^{\max}, |\alpha_1| \leq \pi, |\alpha_2| \leq \pi, \\ |P_1| \leq P^{\max}, |P_2| \leq P^{\max}, |\alpha_1| \leq \left(\alpha\right)^{\max}, |\alpha_2| \leq \left(\alpha\right)^{\max}, \end{cases} \quad (5)$$

Вирішення оптимізаційної задачі (3) з обмеженнями (4) та (5) здійснюється у бортовому обчислювачі системи керування на кожному такті обчислення з використанням процедури глобальної оптимізації типу **fmincon(@fun,X0,A,b,Aeq,beq,lb,ub,@nonlcon)** MATLAB.

Висновки. Розглянуто метод «нульових рухів» у надлишкових структурах виконавчих пристроїв, який дозволяє налаштовувати структуру відповідно до вибраної функції якості керування без створення збурюючих сил і моментів, на фоні вирішення основної функціональної задачі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Zinchenko S. M., Ben A. P., Nosov P. S., Popovych I. S., Mamenko P. P., Mateichuk V. M. Improving the accuracy and reliability of automatic vessel motion control system. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, vol. 2. - 2020. - pp. 183–195. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-2-19>
2. Nosov P. S., Popovych I. S., Cherniavskiy V. V., Zinchenko S. M., Prokopchuk Yu. A., Makarchuk D. V. Automated identification of an operator

anticipation on marine transport. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, vol. 3. - 2020. – pp. 158–172. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2020-3-15>

3. Zinchenko S., Nosov P., Mateichuk V., Mamenko P., Popovych I., Grosheva O. Automatic collision avoidance system with many targets, including maneuvering ones. *Bulletin of University of Karaganda. Technical Physics*, № 4(96). - 2019. - pp. 69-79. DOI: 10.31489/2019Ph4/69-79

4. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Шалаева А.А. Расчет и реализация маневра расхождения с судами целями в бортовой ЦВМ. Матеріали IV МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві - освіта, наука, практика», Херсон, 14-16 вересня 2017 р., с. 230- 235

5. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Грошева О.А. Синтез оптимального управления судном с граничными условиями. *Науковий вісник ХДМА №1(18)*. - 2018. - с. 18-26. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/502/440>

6. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Грошева О.А. Синтез оптимального управления судном с граничными условиями. *Науковий вісник ХДМА №1(18)*. - с. 18-26, 2018. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/502/440>

7. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г., Шалаева А.А. Оценка маневренных возможностей судна с помощью нейросетевой модели, синтезируемой в процессе его штатной эксплуатации. Матеріали IV МНПК «Безпека життєдіяльності на транспорті та виробництві - освіта, наука, практика», Херсон, 14-16 вересня 2017 р., с. 236-240

8. Зинченко С.Н., Ляшенко В.Г. Использование нейросетевой модели судна для решения задач управления. *Науковий вісник ХДМА, №2 (17)*. - 2017. - с. 231-237. <http://journals.ksma.ks.ua/nvksma/article/view/587/524>

9. Pakaste, R., Laukia, K., Wilhelmson, M., Kuuskoski, J.: Experience with Azipod®propulsion systems on board marine vessels. *Marine Propulsion*. <https://pdfs.semanticscholar.org/4956/a88815fe21a86883277042d8cd304a35efc5.pdf>

10. *Piloting Vessels Fitted with Azimuthing Control Devices (ACD's)*. United Kingdom Maritime Pilot's Association (UKMPA Transport House London)