

УДК 656.61.052.4

В.П. Коновалов, канд. техн. наук

Севастопольский национальный технический университет

Студгородок, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: root@sevgtu.sebastopol.ua

РЫСКЛИВОСТЬ СУДНА В ЗАДАЧЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ

Анализируется процесс управления судном при движении на прямом курсе. Предложена методика определения рыскливости судна при заданном законе управления рулем. Дана математическая модель оценки рыскливости судна. Приведены результаты экспериментальных исследований рыскливости судна, которые могут быть использованы как в автономных авторулевых, так и в судовых автоматизированных системах.

Быстрый рост водоизмещения и скорости судов, сокращение численности экипажа неразрывно связаны с развивающейся автоматизацией всех технических средств судовождения, особенно систем автоматического управления курсом судна.

Важным звеном в исследовании управления судном на прямом курсе является рыскливость.

Рыскливостью судна называют отклонение судна от заданного курса без вмешательства судоводителя, т.е. при руле в диаметральной плоскости судна.

Рысканием называют колебательные движения диаметральной плоскости судна относительно заданного курса, под действием возмущающей и рулевой силы.

Эксплуатационной устойчивостью называют способность судна держаться на прямом курсе за счет манипулирования рулем, т.е. это – рыскание.

При автоматическом управлении курсом судна по величине рассогласования между заданным и фактическим курсом рыскание неизбежно, а выделить рыскливость невозможно.

Целью данной статьи является разработка метода оптимизации автоматического управления судном на базе теоретического исследования рыскливости судна и эксперимента.

Нами предложен способ управления, который позволяет управлять судном на прямом курсе с заданной точностью по амплитуде отклонения судна от заданного курса.

На рисунке 1 показаны основные элементы движения судна на прямом курсе по этому способу. Закон управления рулем $\beta = f(\tau)$ – треугольной формы, выражается $\beta = \omega_r \tau$ при $0 \leq \tau \leq \tau_r$, где ω_r – скорость перекладки руля, а τ_r – время перекладки руля от 0 до β_0 . При перекладке руля от β_0 до 0 закон будет $\beta = \omega_r(2\tau_r - \tau)$ при $\tau_r \leq \tau \leq 2\tau_r$.

Зная закон перекадки руля и траекторию изменения угла курса, для определения рыскливости используем систему линейных дифференциальных уравнений первого порядка с постоянными коэффициентами [1], в которую введем внешнюю силу и момент внешних сил

$$\left. \begin{aligned} m'(1 + K_{22}) \frac{d\alpha}{dt} &= E_1 \beta - \overline{F}_b; \\ \overline{\chi} i'(1 + K_{66}) \frac{d\Omega}{dt} &= E_2 \beta - \overline{M}_b, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где m' – безразмерная масса судна; K_{22} – коэффициент присоединенной массы воды при движении вдоль диаметральной плоскости судна; α – угол дрейфа; E_1 – эффективность движительно-рулевого комплекса по рулевой силе; $\beta = f(\tau)$ – закон перекадки руля; $\overline{F}_b$ – внешняя сила, действующая на судно; $\overline{\chi}$ – относительное расстояние движительно-рулевого комплекса от ЦТ судна; i' – безразмерный момент инерции судна; K_{66} – коэффициент присоединенной массы воды при вращении судна вокруг вертикальной оси; Ω – безразмерная угловая скорость судна; E_2 – эффективность движительно-рулевого комплекса по моменту от действия руля; $\overline{M}_b$ – момент внешней силы.

Для удобства записи в систему уравнений (1) введем обозначения

$$A = m'(1 + K_{22}), \quad B = \overline{\chi} i'(1 + K_{66}),$$

которую запишем в виде

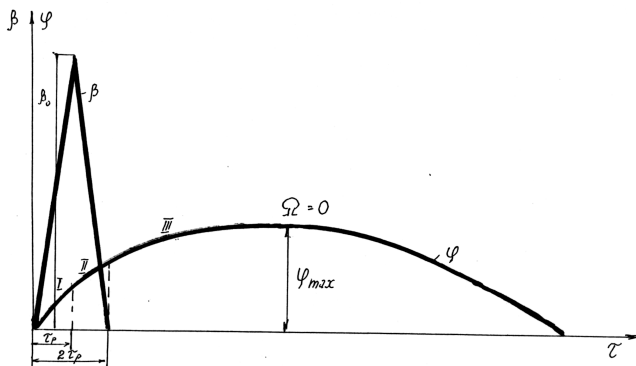


Рисунок 1 – Схема изменения угла курса и перекадки руля
 β_0 – амплитуда перекадки руля; τ_r – время перекадки руля; ϕ – угол курса;
 $2\tau_r$ – период перекадки руля; Ω – угловая скорость поворота

$$\left. \begin{aligned} A \frac{d\alpha}{dt} &= E_1 \beta - \overline{F_b}, \\ B \frac{d\Omega}{dt} &= E_2 \beta - \overline{M_b}, \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

Решая систему уравнений (2) путем интегрирования по участкам I, II и III траектории изменения курса при начальных условиях каждого участка траектории, получаем: для времени сопротивления

$$\tau_R = \frac{E_2 \beta_0}{M_b} \tau_P^3, \quad (3)$$

и для амплитуды отклонения судна от курса

$$\Phi_{\max} = \Phi_{2\tau_P} + \frac{B}{M_b} \Omega_{2\tau_P}^2. \quad (4)$$

Для четвертого участка траектории, который характеризует рыскливость, при $\beta=0$ и $\tau_{III} < \tau_{IV}$ и начальных условиях $\tau = \tau_{III}$; $\alpha=0$; $\Omega=0$; $\Phi = \Phi_{\max}$ получаем

$$f(\tau) = \frac{\overline{M_b}}{2B} \tau^2 - \left(\Omega_{2\tau_P} + \frac{2\overline{M_b}}{B} \tau_P \right) \tau + \left[\frac{2\overline{M_b}}{B} \tau_P^2 - \Phi_{2\tau_P} \right] = 0.$$

Если $\Phi=0$, то находим

$$\begin{aligned} 0 &= \Phi_{2\tau_P} + \Omega_{2\tau_P}(\tau - 2\tau_P) - \frac{\overline{M_b}}{B} \left[\frac{1}{2}(\tau_P^2 - 4\tau_P^2) - 2\tau_P\tau + 4\tau_P^2 \right]; \\ \Phi_{2\tau_P} &= \frac{E_2 \beta_0}{B} \tau_P^3 - 2 \frac{\overline{M_b}}{B} \tau_P^2; \quad \Omega_{2\tau_P} + \frac{2\overline{M_b}}{B} \tau_P = \frac{E_2 \beta_0}{B} \tau_P^2; \\ \frac{\overline{M_b}}{2B} \tau^2 - \frac{E_2 \beta_0}{B} \tau_P^2 \tau + \frac{E_2 \beta_0}{B} \tau_P^3 &= 0; \quad \tau^2 - \frac{2E_2 \beta_0 \tau_P^2}{\overline{M_b}} \tau + \frac{2E_2 \beta_0 \tau_P^3}{\overline{M_b}} = 0; \\ \tau_{1,2} &= \frac{E_2 \beta_0 \tau_P^2}{\overline{M_b}} \pm \sqrt{\left(\frac{E_2 \beta_0 \tau_P^2}{\overline{M_b}} \right)^2 - \frac{2E_2 \beta_0 \tau_P^3}{\overline{M_b}}}. \end{aligned}$$

Учитывая, что при $\tau_1 = \frac{E_2 \beta_0 \tau_P^2}{\overline{M_b}}$ $\Phi = \Phi_{\max}$, надо взять знак «+», т.е.

$$\tau = \tau_1 + \sqrt{\tau_1^2 - 2\tau_1\tau_P}.$$

Полученные элементы рыскливости позволяют управление судном осуществлять в заданных пределах.

Важным этапом в исследовании рыскливости судна являются натурные испытания. Нами проведены натурные испытания по определению

рыскливости судна, результаты которых приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты натурных испытаний

Угол перекладки руля β_0 , град	Время перекладки τ_p , с	Максимальный угол курса $\phi_{\max}$, град	Время сопротивления τ_{pl} , с	Время рыскливости τ , с
5	5	0,5	200	26
10	9	1,8	42	50
15	14	3,2	50	62

Методика определения рыскливости состоит в следующем.

Судно ложится на заданный курс и руль устанавливается прямо. Отклонение судна от заданного курса происходит в сторону борта с меньшей сопротивляемостью. Определив борт с меньшей сопротивляемостью, судно возвращается на заданный курс и в момент прихода судна на заданный курс руль импульсной перекладкой, например 5 градусов, перекладывается в сторону борта с большей сопротивляемостью. При достижении максимального отклонения от заданного курса судно под действием внешних сил возвращается на заданный курс.

Нами проведены натурные испытания судна смешанного плавания проекта 1557 в эксплуатационном рейсе Николаев–Генуя при следующих условиях:

Ветер – западный 3 балла, волнение моря 1 балл, гирокомпасный курс 317,0°; скорость 10,5 узлов, осадки 3,42 м.

С позиций улучшения экономических показателей работы судна управление на прямом курсе считается качественным, если амплитуда угла курса меньше одного градуса, а угол перекладки руля не превышает пяти градусов [2]. Эти требования отечественных и зарубежных инструкций к качеству управления судном выполняются на скоростных испытаниях при ручном управлении рулем. Предлагаемый способ управления позволяет выполнить эти требования и при автоматическом режиме управления судном.

Полученные результаты позволяют решать задачи дальнейшего развития методов повышения качества авторулевых путем оптимизации работы средств управления существующих судов, а также «судов будущего».

Библиографический список

1. Павленко В.Г. Маневренные качества речных судов / В.Г. Павленко. — М.: Транспорт, 1979. — 271 с.
2. Коновалов В.П. Исследование управления судном на скоростных испытаниях / В.П. Коновалов // Тр. Николаев. кораблестр. ин-та: Сб. науч. тр. — Николаев, 1979. — Вып. 152. — С. 21–26.

Поступила в редакцию 17.02.2004 г.