

УДК 656.61.0521-52-047.44+629.5.051.5

В.А. Шевченко

**АНАЛИЗ РАБОТЫ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КУРСОМ СУДНА  
В УСЛОВИЯХ ПЕРИОДИЧЕСКИХ ВОЗМУЩЕНИЙ**

*Проведен анализ структуры и принципа действия системы автоматического управления курсом судна. Проанализирована осциллограмма кладок руля грузового судна, на основании которой построена диаграмма кладок руля. Выделены амплитуды и периоды основных гармоник кладок руля. Предложены пути использования полученных параметров.*

**Ключевые слова:** управление курсом, кладки руля, авторулевой, диаграмма кладок, управление по возмущению.

*Проведено аналіз структури та принципу дії системи автоматичного управління курсом судна. Проаналізована осцилограма кладок стерна вантажного судна, на підставі якої побудована діаграма кладок стерна. Виділені амплітуди та періоди основних гармонік кладок стерна. Запропоновані шляхи використання одержаних параметрів.*

**Ключові слова:** управління курсом, кладки стерна, автостерновий, діаграма кладок, управління по збуренню.

*Ships' course control system diagram and operation principle analysis was carried out. Cargo vessel rudder blade position oscillogram was analyzed and rudder blade position diagram was received. Rudder blade main harmonics amplitudes and periods were received. Ways for using of received parameters were offered.*

**Keywords:** course control, rudder angle changing, autopilot, rudder angle changing diagram, feedforward control.

**Обзор литературы по теме исследования.** В настоящее время процесс управления в режиме стабилизации судна на курсе полностью автоматизирован [1]. Автоматическое управление осуществляется с помощью современных авторулевых, которые реализуют пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) закон управления. ПИД закон управления реализует управление по отклонению, и реагирует лишь на отклонения курса, а не на возмущающие воздействия. Это приводит к рысканию судна, а, следовательно, к снижению качества удержания его на курсе.

В работе [2] в качестве основного возмущающего воздействия рассматривается нерегулярное волнение. При рассмотрении автором этого возмущения выделяются две основных составляющих: постоянная или медленно изменяющаяся, вызывающая снос

и угол дрейфа, и периодическая, следствием которой является рыскание.

Исследование [3] посвящено изучению действия ветрового возмущающего воздействия в процессе управления судном в режиме стабилизации. Ветровое возмущение представлено двумя параметрами: скоростью и направлением ветра.

В этой связи особый интерес представляет исследование действия возмущающих воздействий на судно для дальнейшего использования этой информации при формировании компенсирующего сигнала в авторулевом.

**Цель исследования.** Цель данного исследования состоит в анализе работы системы автоматического управления курсом судна (САУ КС) в условиях периодических возмущений.

**Изложение основного материала.** Эксплуатируемые сегодня системы автоматического управления курсом судна в режиме стабилизации реализуют ПИД закон управления и являются замкнутыми системами автоматического управления (САУ) по отклонению. Структура такой системы представлена на рис. 1.

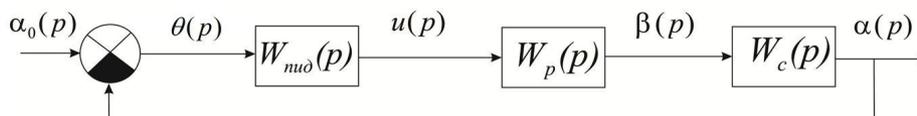


Рис. 1. Структурная схема САУ движением судна

На рисунке 1 приняты следующие условные обозначения:  $\alpha_0(p)$  – задающее воздействие;  $u(p)$  – выходной сигнал ПИД-регулятора (управляющее воздействие);  $\beta(p)$  – угол перекадки руля;  $\alpha(p)$  – курс судна;  $\theta(p) = \alpha_0(p) - \alpha(p)$  – сигнал ошибки;  $W_{mud}(p)$  – передаточная функция ПИД-регулятора;  $W_p(p)$  – передаточная функция рулевой машины;  $W_c(p)$  – передаточная функция судна.

Передаточные функции рулевого устройства  $W_p(p)$ , судна  $W_c(p)$  и ПИД-регулятора  $W_{mud}(p)$  имеют вид [2]

$$W_p(p) = \frac{k_p}{T_p p + 1};$$

$$W_c(p) = \frac{k_c}{T_c p^2 + p};$$

$$W_{mud}(p) = k_n + \frac{k_u}{p} + k_d p,$$

где  $k_p$ ,  $T_p$ ,  $k_c$ ,  $T_c$  – коэффициенты передачи и постоянные времени рулевого устройства и судна соответственно;  $k_n$ ,  $k_u$ ,  $k_d$  – пропорциональный, интегральный и дифференциальный коэффициенты ПИД регулятора.

Нахождение эффективного управления по ПИД закону сводится к определению наиболее подходящих значений коэффициентов  $k_n$ ,  $k_u$ ,  $k_d$ .

К основным недостаткам систем автоматического управления по отклонению относятся: склонность к колебаниям и принципиальная трудность одновременного достижения высокой точности управления, устойчивости и быстродействия. При настройке систем приходится принимать компромиссные решения: выбирать изменяемые параметры так, чтобы обеспечить требуемую точность при необходимом запасе устойчивости. Исходя из перечисленных недостатков и учитывая современный этап развития самонастраивающихся САУ КС, можно заключить, что повышение эффективности работы САУ КС путем настройки коэффициентов ПИД-регулятора фактически себя исчерпало.

Необходимость ощутимого повышения эффективности САУ КС в режиме стабилизации судна на курсе требует пересмотра законов управления и структур существующих САУ КС.

Одним из возможных способов повышения эффективности винторулевого комплекса может быть введение в существующую САУ канала управления по возмущению. Однако на сегодняшний день проблемой является отсутствие датчиков измерения возмущающих воздействий, действующих на судно. Поскольку непосредственно измерять возмущающие воздействия не представляется возможным, то одним из способов определения влияния возмущающих воздействий, действующих на судно, может служить способ оценки параметров сигнала управления при ПИД регулировании в режиме стабилизации судна на курсе.

Достаточным материалом для данного этапа исследования может служить осциллограмма кладок рулевой машины т/х «Парфентий Гречаный», при работе САУ КС в режиме «автомат». При этом динамические параметры судна и возмущающих воздействий были следующие: курс  $119^\circ$ ; волнение 6 баллов; ветер  $311^\circ$ - $331^\circ$ , 11,9 м/сек.; скорость 10 узлов.

В результате анализа осциллограммы был отмечен периодический характер кладок рулевой машины как результат реакции на возмущающие воздействия в режиме стабилизации судна на курсе. При этом была получена следующая диаграмма (рис. 2): где  $\alpha$  – угол кладки руля, град;  $n_i$  – количество кладок на определенный угол;  $n$  – общее количество кладок.

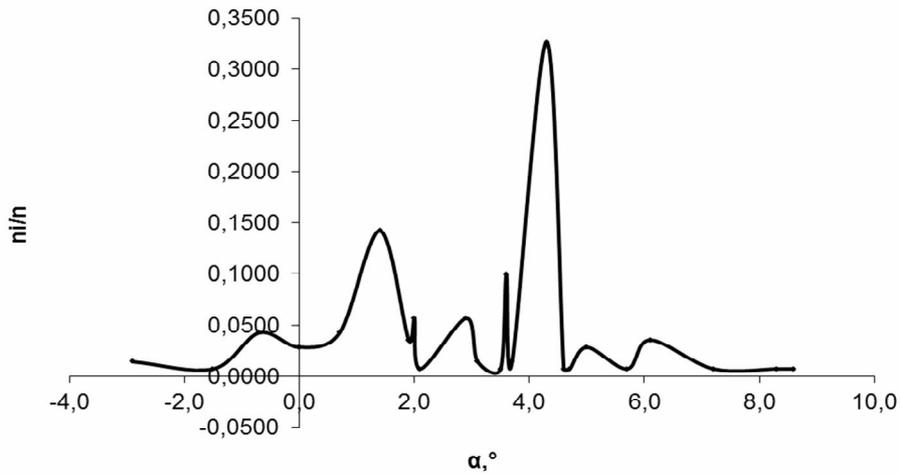


Рис. 2. Диаграмма кладок руля

Поскольку кладки руля в таком режиме носят периодический характер, важным для анализа работы авторулевого будет определение периода кладок руля на различные углы (рис. 3).

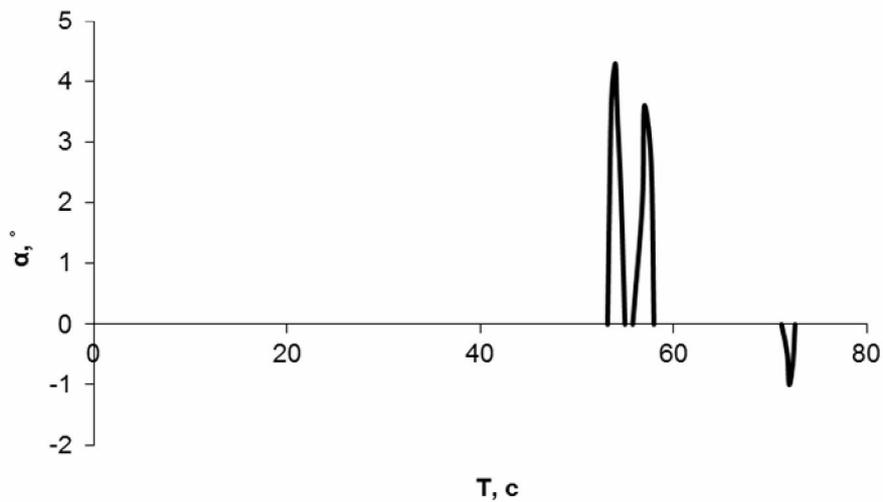


Рис. 3. Диаграмма периода кладок руля

На диаграмме (рис. 3) показаны три основных гармоники кладок руля при работе САУ КС в режиме стабилизации. Первая гармоника имеет период 54 с, амплитуду 4,5°; вторая – период 57 с, амплитуду 3,5°; третья – период 73 с, амплитуду – 1,1°.

**Выводы.** Полученные диаграммы свидетельствуют о периодическом характере кладок руля при периодических возмущающих воздействиях, и показывают определенное постоянство в таких параметрах как период и амплитуда кладок пера руля. Эти параметры позволят формировать управляющий сигнал с упреждением (до отклонения курса), что в комбинации с традиционным каналом по отклонению в целом повысит качество удержания судна на курсе.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Fossen T.I. Marine Control Systems. Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles – Marine Cybernetics, Trondheim, Norway, 2002. – 570 p.*
2. *Подпорин С.А. Развитие методов интеллектуального управления движением судна на курсе. – Диссертация ... к.т.н.: 05.22.13. – Одесса: ОНМА, 2009. – 180 с.*
3. *Голиков В.А., Львов В.Е. Сравнительное имитационное моделирование движения судов по предписанному курсу с различными принципами управления // Судовождение. – Вып.17. – Одесса: ОНМА, 2010.*

*Стаття надійшла до редакції 30.03.2015*

#### **Рецензенти:**

професор, директор інституту Післядипломної освіти  
Одеський морський тренажерний центр» **Ю.В. Пашенко**

кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теорія та проектування  
корабля ім. проф. Ю.Л. Воробйова» Одеського національного морського  
університету **О.В. Демідюк**