

ПОВЫШЕНИЕ БЫСТРОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ  
КУРСОМ СУДНА

Большинство эксплуатируемых сегодня систем автоматического управления (САУ) курсом судна реализуют пропорционально-интегро-дифференциальный (ПИД) закон управления. Эффективность управления в таком случае достигается подбором наиболее подходящих значений коэффициентов ПИД-контроллера. Анализируя последние публикации, следует отметить работы [1, 2], в которых рассматриваются адаптивные и интеллектуальные способы настройки коэффициентов ПИД-контроллера.

Помимо режима стабилизации судна на курсе на сегодняшний день возникла необходимость обеспечения САУ курсом судна режима перехода на заданный курс за минимальное время. Возможности ПИД-контроллера в данном случае являются ограниченными и не всегда удовлетворяют современным требованиям, в связи с чем режим перехода на заданный курс при больших курсовых поправках в настоящее время реализуется вручную.

Автоматизация такого режима требует анализа применения различных законов управления и выбора наиболее подходящего из них в отношении быстродействия. Решению задачи по повышению быстродействия САУ курсом судна в режиме введения курсовых поправок посвящена работа [3]. В качестве математического аппарата в работе [3] были использованы теорема Фельдбаума об  $n$  интервалах и принцип максимума Понтрягина.

Задачей данной работы является определение эффективности применения альтернативного существующему закону управления путем моделирования перехода судна на заданный курс при значительных курсовых поправках (отклонениях). Критерием эффективности применения закона управления будем считать быстродействие. Моделировать процесс управления курсом предлагается при отсутствии влияния на судно возмущающих воздействий. В качестве объекта моделирования выбрано грузовое судно дедвейтом 16622 т с электрогидравлической рулевой машиной постоянной производительности, параметры которого описаны в работе [4], а в качестве примера курсовой поправки – поправка в  $30^\circ$ .

Для режима перехода на заданный курс были рассмотрены ПИД-закон и предложенный в работе [3] релейный законы управления, а

также определены параметры соответствующих сигналов управления.

В первом случае для моделирования процесса перехода судна на заданный курс при значительных курсовых поправках использовался настроенный для используемого судна ПИД-контроллер [4] (рис. 1).

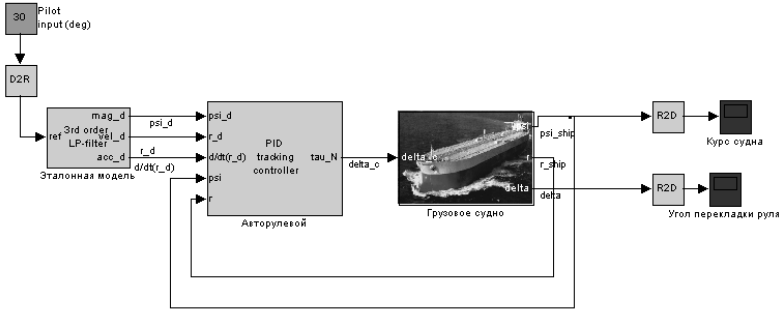


Рис 1. Структурная схема САУ курсом судна, использующей ПИД-контроллер

Моделирование проводилось на платформе SIMULINK пакета программ MATLAB с использованием патентованной библиотеки морских судов, установок и средств управления GNC [4].

Результаты моделирования процесса управления курсом с использованием ПИД-контроллера при введении курсовой поправки представлены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что при использовании ПИД-контроллера при курсовой поправке в  $30^\circ$  судно выходит на заданный курс за 95 с.

При релейном управлении величина релейного сигнала соответствует максимально допустимому углу перекладки пера руля (в данном случае  $35^\circ$ ). Моменты переключения управляющего сигнала определялись из системы уравнений [5]:

$$\begin{cases} e^{-\lambda t_3} - e^{-\lambda t_2} + e^{-\lambda t_1} - e^{-\lambda t''} + e^{-\lambda t'} - 1 = 0; \\ t_3^2 - t_2^2 + t_1^2 - (t'')^2 + (t')^2 + 2 \frac{x_k}{k \delta_{\max}} = 0; \\ t_3 - t_2 + t_1 - t'' + t' = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где  $t_1$  – первый момент переключения (смены знака сигнала управления);  $t_2$  – второй момент переключения,  $t_3$  – момент обращения управляющего сигнала в 0;  $\delta_{\max}$  – максимальная скорость перекладки руля;  $\lambda_1, \lambda_2$  – корни характеристического уравнения системы рулевая маши-

на – судно;  $x_k = \alpha_k$  – курсовая поправка;  $k = k_p k_c$  – коэффициент передачи звена судно – рулевая машина;  $t$  – время перекладки пера руля от диаметральной плоскости до граничного положения,  $t = t_1 + 2t$ .

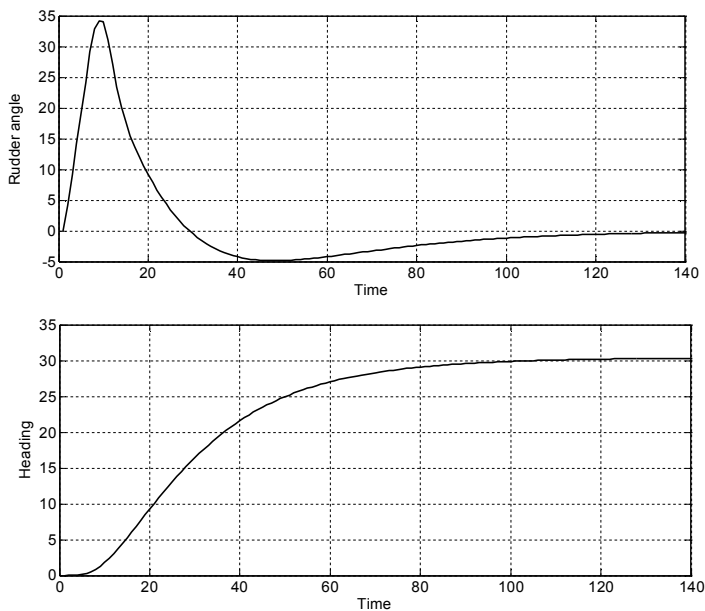


Рис. 2. Зависимости перекладки руля и курса судна от времени при использовании ПИД-контроллера: Rudder angle – угол перекладки пера руля; Time – время; Heading – курс судна

Параметры применительно к рассматриваемому объекту моделирования имеют значения [4]:  $-\lambda = 1/T_c = 0,00932$  1/с;  $t' = 7$  с;  $x_k = 30^\circ = 0,523$  рад;  $\dot{\delta}_{\max} = 5$  °/с = 0,087 рад/с;  $k = 0,185$  1/с.

Система (1) решалась методом сопряженных градиентов при помощи программы, написанной на языке С с применением библиотеки численных методов решения математических задач GSL.

В результате расчета для курсовой поправки в  $30^\circ$  и выбранного судна были получены значения моментов переключения:  $t_1 = 21,4$  с;  $t_2 = 45,2$  с;  $t_3 = 52,2$  с.

Структурная схема системы управления, работающей по релейному закону, представлена на рис. 3.

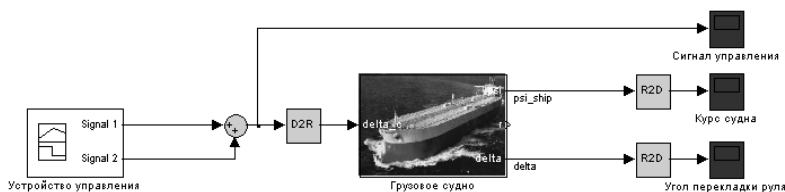


Рис. 3. Структурная схема системы управления, работающей по релейному закону

Результаты моделирования курсовой поправки при релейном законе управления представлены на рис. 4.

Из рис. 4 видно, что при релейном законе регулирования при курсовой поправке в  $30^\circ$  судно выходит на заданный курс за 65 с. Перерегулирование в данном случае, обусловлено постоянной скоростью перекладки руля.

Таким образом при значительных курсовых поправках (отклонениях) релейный закон управления по сравнению с ПИД законом обеспечивает быстрдействие 65 с вместо 95 с, что существенно повышает безопасность судоходства.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Виткалов Я.Л. Исследование проблем синтеза нейросетевого контроллера в задаче управления курсом судна: автореф. дис. на соиск. учён. степ. канд. техн. наук / Виткалов Ярослав Леонидович. – Владивосток, 2006. – 25 с.
2. Подпорин С.А. Развитие методов интеллектуального управления движением судна на курсе: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.13 / Подпорин Сергей Анатольевич. – Одесса: ОНМА, 2009. – 180 с.
3. Захарченко В. Н. Повышение быстрдействия системы управления судном при больших отклонениях курса / В. Н. Захарченко, В. С. Луковцев, В. А. Шевченко // Судовождение: Сб. научн. трудов. – Вып. 16. – Одесса: ОНМА, 2009. – С. 71 – 76.
4. Fossen T. I. Marine Control Systems: Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles. – Marine Cybernetics, Trondheim, Norway, 2002. – 570 p.
5. Антомонов Ю.Г. Автоматическое управление с применением вычислительных машин. – Л.: Судпромгиз, 1962. – 340 с.

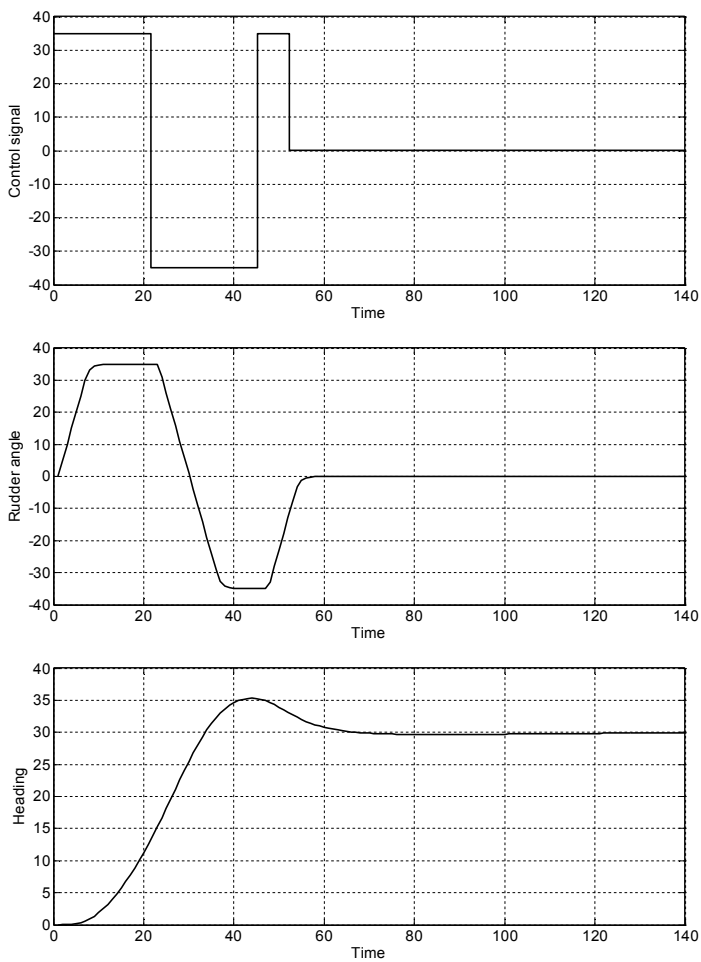


Рис. 4. Зависимости управляющего сигнала, перекладки руля и курса судна от времени при релейном законе управления