

УДК 681.5.015

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КУРСОМ СУДНА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ СИЛЬНЫХ ВОЗМУЩЕНИЙ

*В.П. Щербаков*

Рассматриваются результаты применения методов параметрической идентификации модели судна по каналу курса при воздействии на судно достаточно сильных возмущений, обусловленных ветровым волнением и течением, а также с учетом шумов измерительных приборов. Показана эффективность алгоритма оценки параметров динамического объекта и регулятора в программном продукте Acsocad.

Ключевые слова: авторулевой, идентификация динамических объектов, Acsocad.

Решение задач управления транспортными средствами с использованием современных алгоритмических и программных средств, положенных в основу автоматических устройств и автоматизированных комплексов, подключаемых к рулевой машине и отслеживающих изменение курса, позволяет не только существенно уменьшить число действий, выполняемых человеком-оператором, но и повысить качество управления за счет использования эффективных методов настройки параметров авторулевого.

При эксплуатации судна в автоматическом режиме возникает задача оценки параметров системы управления, целью которой является обеспечение оптимальных характеристик движения и расхода энергоресурсов в условиях воздействия течения, волнения, ветра [1], изменения массогабаритных характеристик, а также с учетом погрешностей инерциальных навигационных приборов и шума, возникающего при аналого-цифровом преобразовании сигнала, определяющего текущий курс судна.

Математическая модель, определяющая динамику движения судна, является нелинейной и достаточно сложной для описания, однако для реализации управления по курсу возможно ограничиться более простой адекватной моделью (рис. 1), параметры которой необходимо оценить.

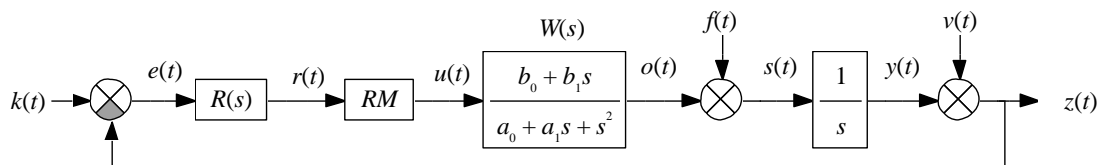


Рис. 1. Структурная схема авторулевого в общем виде

Суть настройки параметров авторулевого состоит в том, что сначала выполняется оценка значений параметров объекта управления  $W(s)$  по из-

вестному сигналу рулевой машины  $RM$   $u(t)$  и измеряемому сигналу курса судна  $z(t)$ , а затем для полученного объекта синтезируется регулятор  $R(s)$ , формирующий сигнал для рулевой машины  $r(t)$  и позволяющий достичь заданное извне значение курса  $k(t)$  с учетом воздействия возмущений  $f(t)$  и ошибок аппаратуры  $v(t)$  при получении текущего значения курса судна  $y(t)$ .

На рис. 2 приведена структурная схема объекта при подаче на его вход известного управляющего сигнала  $u(t)$ , а также воздействие на выход объекта  $o(t)$  возмущений  $f(t)$  и шума измерительного прибора  $v(t)$ .

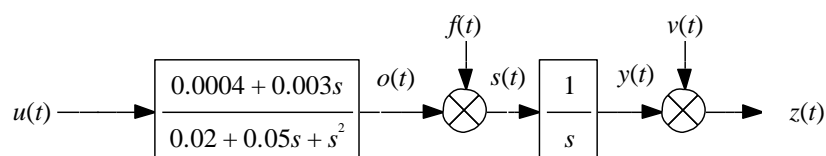


Рис. 2. Структурная схема объекта

В качестве управляющего сигнала  $u(t)$  на входе объекта рассматривается сигнал трапецеидальной формы, что связано с невозможностью мгновенного изменения положения рулевой машины судна. В работе [2] приводится эмпирическая формула для определения скорости ветрового дрейфа, по которой возможно приблизительно определить её максимальное значение при истинной скорости ветра равной, например, 15 м/с.

С учетом значения скорости ветрового дрейфа произвольным образом спроектирован сигнал  $f(t)$ , имеющий преимущественно гармоническую форму. Графики входного  $u(t)$ , выходного  $o(t)$  сигналов объекта, возмущений  $f(t)$  и измеряемого курса  $z(t)$  представлены на рис. 3.

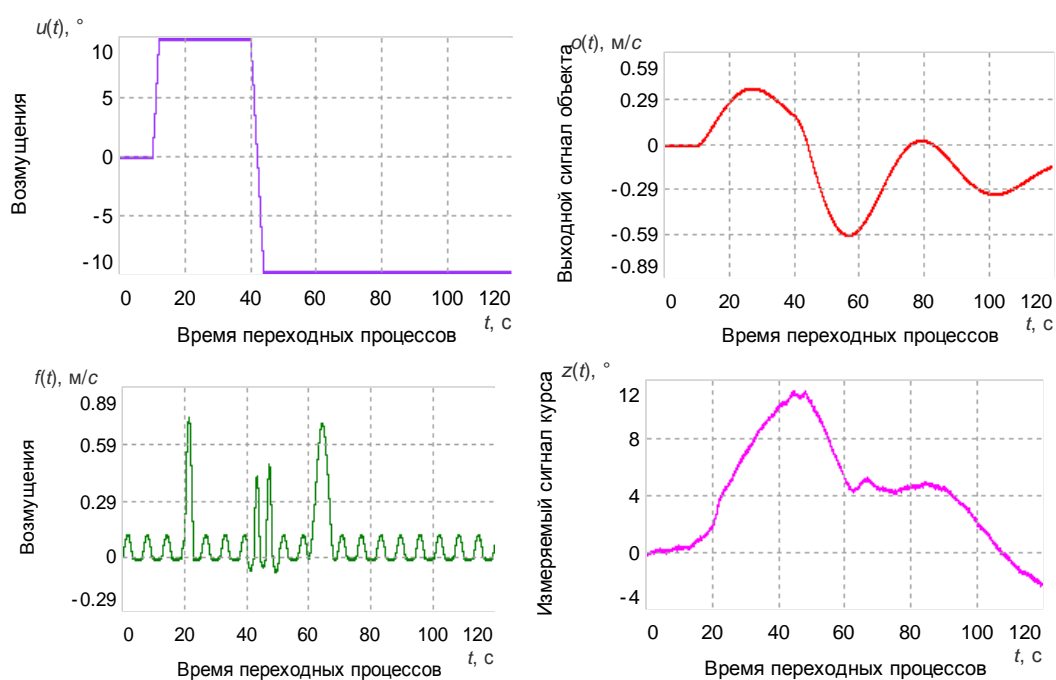


Рис. 3. Графики сигналов исследуемого объекта

По входному  $u(t)$  и выходному  $z(t)$  сигналам при помощи фильтра Калмана (ФК) и алгоритма комбинации методов (АКМ) с использованием идей градиентного метода спуска [3], которые реализованы в продукте Ascocad, осуществляется оценка параметров передаточной функции  $W(s)$ .

Применение ФК для сигналов  $u(t)$  и  $z(t)$ , полученных с шагом 0,1 с, для передаточной функции с первым порядком полинома числителя и третьим порядком полинома знаменателя позволяет построить оценочный сигнал  $c(t)$  (пунктирная линия), среднеквадратичное отклонение (СКО) которого относительно сигнала  $z(t)$  (сплошная линия) составляет  $0,65^\circ$ , а наибольшая относительная погрешность оценки параметров  $W(s)$  не превышает 140 %. Применение АКМ позволяет получить СКО, равное  $0,55^\circ$ , с наибольшей относительной погрешностью оценки параметров  $W(s)$  не превышающей 218 %. Графики реального и оценочного выходного сигнала объекта при применении ФК и АКМ представлены на рис. 4.

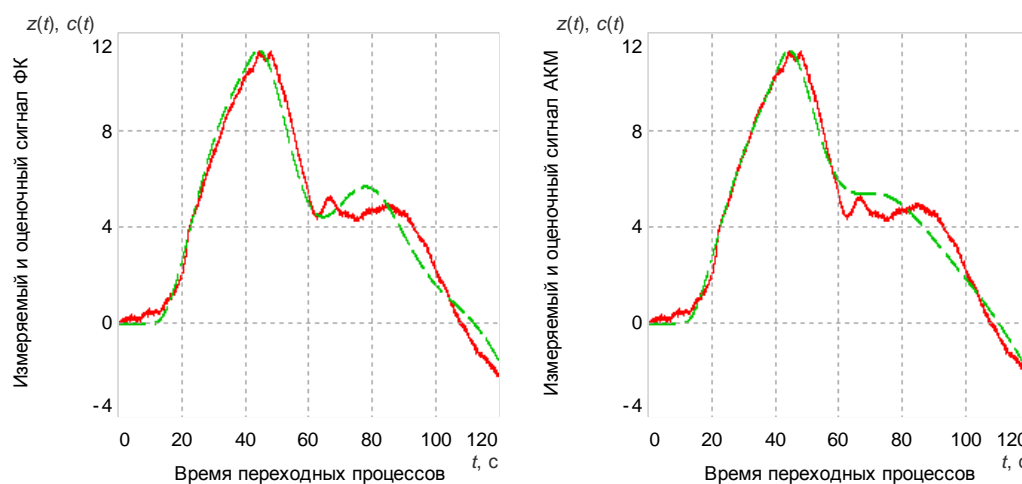


Рис. 4. Графики реального и оценочного выходного сигнала объекта

Так как на структурной схеме объекта (рис. 2) имеется идеальное интегрирующее звено, то следует рассмотреть возможность понижения порядка объекта, добавляя к выходу  $z(t)$  идеальное дифференцирующее звено и на выходе которого будет наблюдаться сигнал  $z_d(t)$ . В этом случае порядок полинома знаменателя передаточной функции  $W(s)$  уменьшается до второго, после чего применяются алгоритмы ФК и АКМ.

Применение ФК не позволяет получить адекватную передаточную функцию, описывающую взаимосвязь сигналов  $u(t)$  и  $z_d(t)$ . Применение АКМ для этих сигналов позволяет получить СКО, равное  $0,16^\circ$ , причем наибольшая относительная погрешность оценки параметров  $W(s)$  не превышает 20 %. На рис. 5 представлены графики измеряемого выходного сигнала  $z_d(t)$  (сплошная линия) и получаемого оценочного сигнала на выходе объекта  $o_d(t)$  (пунктирная линия), а на рис. 6 изображены графики истинного сигнала выхода исследуемого объекта  $o(t)$  (сплошная линия) и полученный оценочный сигнал выхода объекта  $o_d(t)$  (пунктирная линия).



Рис. 5. Графики измеряемого и оценочного сигнала выхода объекта

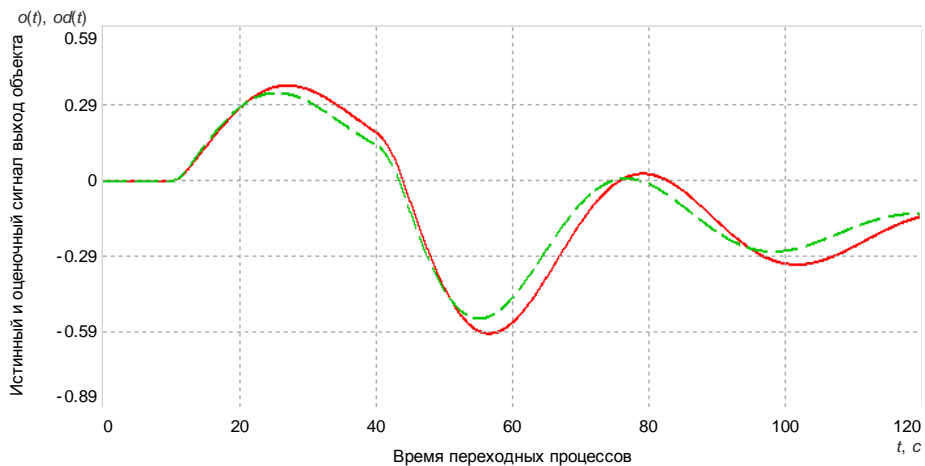


Рис. 6. Графики истинного и оценочного сигнала выхода объекта

Для реализации задачи автоматического управления судном применим ПИД-регулятор ввиду его достаточной эффективности при управлении сложными динамическими объектами и процессами, математические модели которых достаточно сложно определить [4].

Параметры ПИД-регулятора могут быть определены как аналитическими методами, так и с применением автоматизированных средств расчёта с учетом заданных требований и критериев качества [5].

Параметрами ПИД-регулятора являются пропорциональный P, интегрирующий I, дифференцирующий D параметр, а также коэффициент фильтра N. Для определения этих значений в программном продукте MATLAB необходимо построить структурную схему системы (рис. 7), настроить тип регулятора и запустить инструмент PID Tuner.

Задав желаемое значение времени процессов в 0,5 с и характеристику переходного режима в 0,8, получены значения параметров ПИД-регулятора: P=1506, I=52,83, D=-95,4, N=4. Величина перерегулирования равна 3 %.

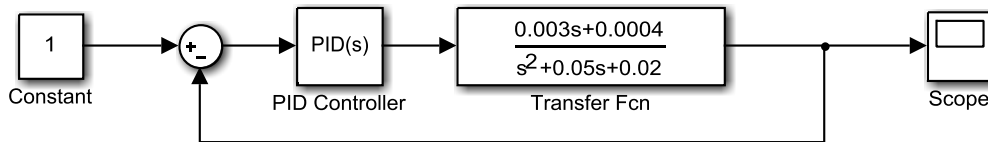


Рис. 7. Модель системы в продукте MATLAB Simulink

В продукте Acsocad при помощи АКМ также имеется возможность определения параметров регулятора, для этого необходимо выходной сигнал системы сравнивать с входным сигналом, а также задать критерий оптимальности как минимум перерегулирования, минимум времени переходного процесса и минимум числа переходов выходного сигнала через величину требуемого конечного значения сигнала. На рис. 8 представлена структурная схема системы, содержащая ПИД-регулятор, параметрам которого соответствуют внутренние переменные:  $P=P0$ ,  $I=P1$ ,  $D=P2$ ,  $N=P3$ .

В результате идентификации получены следующие значения параметров ПИД-регулятора:  $P=2000$ ,  $I=100$ ,  $D=182$ ,  $N=2,13$ . Перерегулирования в системе не наблюдается. Отличие выходного сигнала  $Y(t)$ , полученного в Acsocad (сплошная линия), и выходного сигнала  $Y^*(t)$ , полученного в MATLAB (пунктирная линия), представлено на рис. 9.

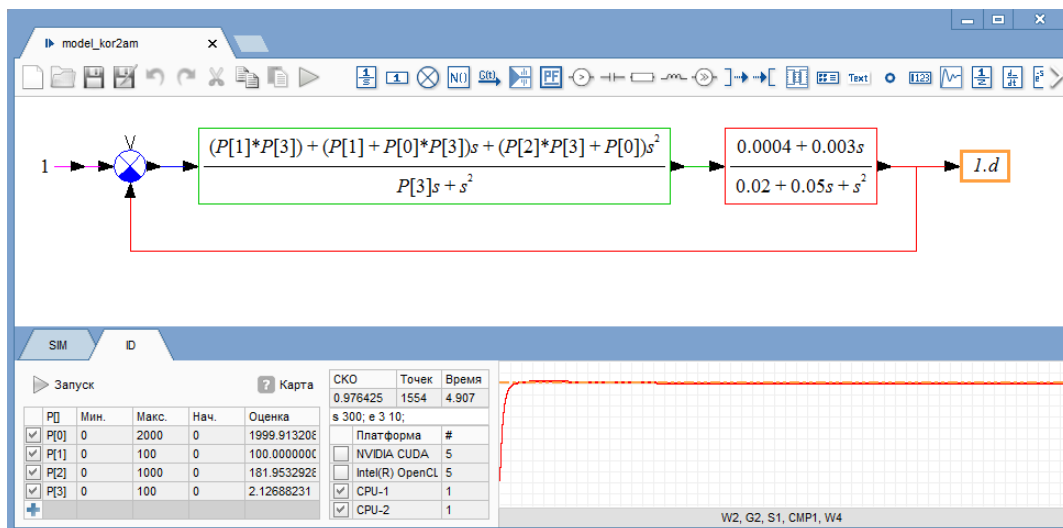


Рис. 8. Диалоговое окно Acsocad при идентификации параметров регулятора

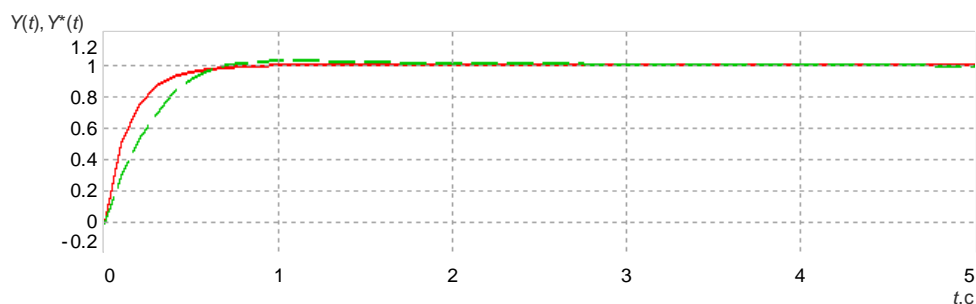


Рис. 9. Выходной сигнал системы в Acsocad и MATLAB

Таким образом, при получении параметров объекта  $W(s)$  по известному сигналу управления и измеренному курсу в условиях воздействия возмущений методы ФК и АКМ не позволяют получить достаточно точные значения параметров, однако СКО измеренного и оценочного сигналов, полученное АКМ, на  $0,1^\circ$  меньше, чем при использовании ФК.

При понижении порядка объекта применение ФК не позволило получить адекватные значения параметров и оценочный сигнал, однако использование АКМ позволило получить СКО, равное  $0,15^\circ$ , причем относительная ошибка между истинными и оценочными значениями параметров не превышает 20 %.

Автоматизированный синтез ПИД-регулятора, на параметры которого накладывались ограничения, рассмотрен в продуктах MATLAB и Acsocad. В продукте MATLAB получена характеристика переходного процесса системы с перерегулированием 3 %, а в продукте Acsocad перерегулирование полученной характеристики не наблюдается за счет возможности выбора критерия оптимальности.

#### Библиографический список

1. Вагущенко, Л.Л. Системы автоматического управления движением судна / Л.Л. Вагущенко, Н.Н. Цымбал. – Одесса: Фенікс, 2007. – 328 с.
2. Голиков, В.В. Анализ вектора смещения пути судна от ветра / В.В. Голиков, С.Э. Мальцев // Науковий вісник Херсонської державної морської академії. – 2015. – № 1 (12). – С. 29–35.
3. Щербаков, В.П. Метод идентификации моделированием для получения частотной характеристики объектов и систем / В.П. Щербаков // Механика и процессы управления. Т. 2. Материалы XXXXI Всероссийского симпозиума. – М.: РАН, 2011. – С. 238–245.
4. Поздняков, С.И. Сравнение математических моделей с точки зрения коэффициентов влияния / С.И. Поздняков, Ю.И. Юдин // Вестник Мурманского гос. техн. ун-та. – 2006. – Т. 9. – С. 241–245.
5. Жабко, Н.А. Синтез ПИД-регулятора для управления курсом судна с учетом модальных требований / Н.А. Жабко // Материалы XIV конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». – URL: <https://dspace.comsep.ru/handle/comsep/695/>.

[К содержанию](#)