

УДК 62-5

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ СУДНА С АВТОРУЛЕВЫМ, РЕАЛИЗУЕМЫМ НА БАЗЕ ПРОМЫШЛЕННОГО КОНТРОЛЛЕРА

Л.С. Грошева, А.В. Попов, М.И.Фейгин

Моделирование алгоритмов управления, как правило, осуществляется методом разработки компьютерной модели объекта управления с включением в её состав уравнений, описывающих алгоритмы управления. Учесть в такой модели особенности взаимодействия реальных объектов, а именно: судна, блока авторулевого и рулевой машины, весьма сложно.

Для апробации алгоритмов управления в условиях, приближенных к реальным, необходимо разделить модель судна, блок авторулевого и модель рулевой машины. С этой целью авторами предлагается лабораторный стенд, в состав которого входят ПК, моделирующий динамику движения судна в различных режимах и работу рулевой машины, а также промышленный контроллер, выполняющий функции авторулевого.

Динамические параметры судна рассчитываются с использованием компьютерной модели. Затем номер алгоритма управления, значение заданного курса и текущее направление движения передаются по сети Ethernet в контроллер. Контроллер на основании записанной в него программы выбирает алгоритм управления, рассчитывает управляющее воздействие для рулевой машины и передает его в модуль отработки управления (программа на ПК) также по сети Ethernet.

С использованием лабораторного стенда исследуется качество работы алгоритма управления с интеллектуальным стимулятором. Для сравнения параметров работы в контроллер записаны также два стандартных алгоритма управления.

Динамическая модель судна с учетом ветрового воздействия записывается в виде:

$$\begin{aligned}\dot{\omega} &= a\omega + b\beta + s_1U + M(\psi, \gamma), \\ \dot{\beta} &= c\omega + d\beta + h\beta|\beta| + s_2U + P(\psi, \gamma), \\ \dot{\psi} &= \omega,\end{aligned}\tag{1}$$

$$\begin{aligned}\dot{x} &= \cos(\psi - \beta), \\ \dot{y} &= \sin(\psi - \beta),\end{aligned}\tag{2}$$

где x, y – координаты центра тяжести судна, ψ – угол курса, ω – угловая скорость, β – угол дрейфа между линейной скоростью центра тяжести и продольной осью симметрии судна, U – параметр управления, равный углу отклонения пера руля. Координаты x и y в начальный момент совпадают с началом отсчета, а ось абсцисс с направлением истинного ветра ($V_{iy} = 0, V_i = V_{ix} > 0$) Аэродинамические момент и поперечная сила соответственно равны:

$$\begin{aligned}M(\psi, \gamma) &= g_1V^2 \sin \gamma(1 - \cos \gamma(1 + n \sin^2 \gamma)), \\ P(\psi, \gamma) &= g_2V^2 \sin \gamma,\end{aligned}\tag{3}$$

где V и γ – скорость и угол ветра относительно судна [1-3].

Соотношения между переменными, характеризующими ветровое воздействие на судно, следующие:

$$\begin{aligned} V^2 &= V_i^2 - 2V_i \cos(\psi - \beta) + 1, \\ V_i \sin(\psi + \gamma) - \sin(\beta + \gamma) &= 0. \end{aligned} \quad (4)$$

Диаграммой управляемости при ветре будем называть зависимость угла ψ установившегося движения судна прямым курсом от угла перекладки руля U при определенной скорости истинного ветра V_i (рис.1) [4].

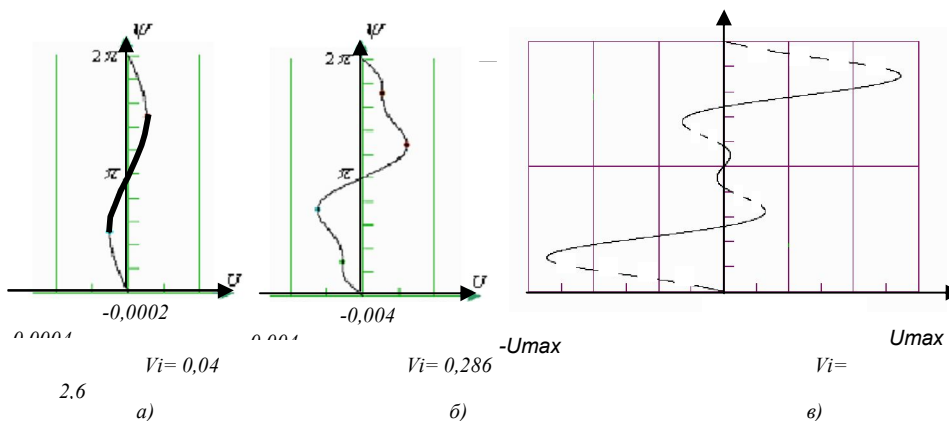


Рис. 1.

Использование стандартных алгоритмов управления в условиях ветрового воздействия на судно не удовлетворяет условиям безопасного плавания: возможно установление «паразитного» курса», возникновение автоколебаний (повышенного рысканья на курсе) и статической ошибки, проявление эффекта бифуркационной памяти, ситуации потери управляемости. Для устранения выявленных недостатков предложен алгоритм управления, включающий интеллектуальный стимулятор. Компьютерное моделирование процесса управления с его использованием показало высокие качественные характеристики.

Интеллектуализация алгоритма управления судном возможна путем введения значения угла перекладки руля U^* , определяемого диаграммой управляемости для задаваемого угла курса ψ^*

$$\dot{U} = k_1(\psi - \psi^*) + k_2\omega + k_3(U - U^*). \quad (5)$$

Однако диаграмма управляемости меняется с изменением внешних условий (скорость и направление ветра, глубина фарватера и т.п.). Даже солидная база данных, созданная на основании построения диаграмм в натуральных условиях, не позволит избежать ошибок. Значение U^* , соответствующее «исходной диаграмме», не будет соответствовать U_1^* для того же ψ^* в изменившихся условиях. Устанавливается стационарный режим $\psi = \psi^* + \Delta\psi$, $U = U^* + \Delta U$, при котором

$$\dot{U} = -k_1(\psi^* + \Delta\psi - \psi^*) - k_2\omega - k_3(U^* + \Delta U - U^*) = -k_1\Delta\psi - k_2\omega - k_3\Delta U = 0$$

Предложен способ ликвидации статической ошибки установкой стимулятора, который периодически (через интервал времени τ) обнуляет второе слагаемое [5-6]. В основу стимулятора заложено отображение пространства состояний динамической системы в себя $U(t_i) \rightarrow U(t_i + \tau)$ в процессе ее естественного функционирования.

Переходные процессы изменяются за счет периодического (через время τ) обнуления статической ошибки $U-U^*$. После этого $\dot{U} = k_1(\psi - \psi^*) \neq 0$ и переходный процесс продолжается до полного обнуления обоих слагаемых $U-U^* = 0$ и $\psi - \psi^* = 0$.

Исследования качественных характеристик управления на компьютерной модели

На основе предварительного исследования проведен эксперимент для различных типов судов при варьировании внешних параметров в изменяющихся эксплуатационных ситуациях. Кроме того, исследовалось влияние параметров самого алгоритма на качество управления. Были рассмотрены:

а) Различные эксплуатационные ситуации

- выход на заданный курс из различных начальных условий;
- маневр изменения направления прямолинейного движения. С возникновением ветра поведение судна характеризуется диаграммой управляемости, изменяющейся в зависимости от скорости ветра. Появляется ряд критических точек. Управляемость значительно усложняется (рис.1);

- маневр обгона или расхождения судов на параллельных курсах, в том числе в условиях ограниченной ширины и глубины фарватера. Здесь сложность может быть вызвана наличием неоднозначности числа стационарных режимов, возможных при одном и том же угле перекладки руля (рис.1).

б) ***Различная скорость ветра:*** в условиях штиля, при ветре средней силы и штормовом ветре. При некотором значении скорости ветра может произойти потеря управляемости, когда судно не в состоянии изменить определенный курс: диаграмма управляемости своими критическими значениями выходит за порог возможного отклонения пера руля U_{max} . В рассматриваемом случае $\psi_{нач}$ и ψ^* находятся на разных ветвях диаграммы, разделенных между собой участком неуправляемости (рис.1в).

в) ***Различные значения параметра стимулятора τ и коэффициента усиления управляющего воздействия k_3 .*** При соответствующем их подборе уменьшаются амплитуда перекладки руля и длительность переходных процессов. Данное условие позволит сэкономить топливо и уменьшить износ оборудования.

Отладка алгоритмов управления со стимулятором на лабораторном стенде

В состав стенда входят ПК, моделирующий динамику движения судна в различных режимах, а также работу рулевой машины, и промышленный контроллер, выполняющий функции авторулевого (рис. 2).

Для отладки алгоритма управления был проведен ряд экспериментов, целью которых была проверка адекватности лабораторного стенда компьютерной модели, расчетной правильности выполняемых вычислений и др. Ниже приведены некоторые результаты исследования динамики математической модели неустойчивого на курсе судна типа VI-пятiletка. Параметры интеллектуального алгоритма управления (5) $k_1 = 1.9, k_2 = 1, k_3 = 10, \tau = 0.04$.

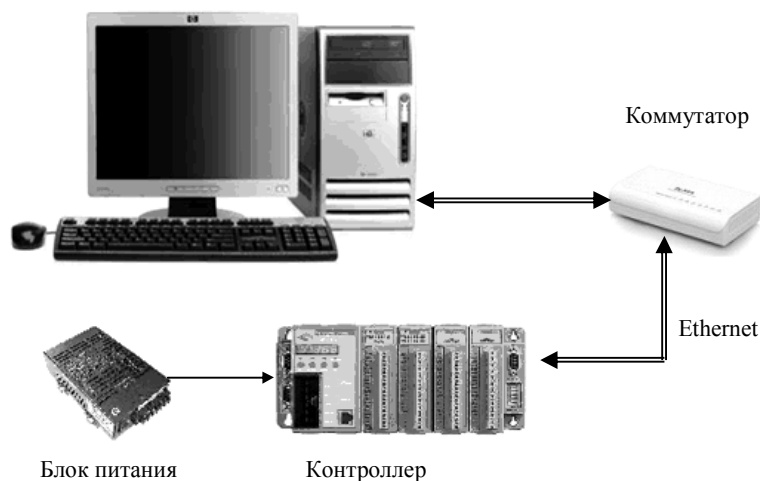


Рис.2 Лабораторный стенд для отладки алгоритмов управления

1 эксперимент - установление начального курса. Судно движется с начальными условиями (значения указаны в радианах) $\omega_{нач} = 0$, $\beta_{нач} = 0.03$, $\psi_{нач} = 0.01$, $x_{нач} = 0$, $y_{нач} = 0$, $U_{нач} = 0.1$, скорость ветра $V_i = 2.18$ скоростей судна. Требуется установить курс $\psi_{треб} = 1.5$. Результаты моделирования динамики судна с авторулевым, включенным в алгоритм непосредственно в математической модели, и под управлением авторулевого, реализованного в контроллере, совпадают (Рис.3).

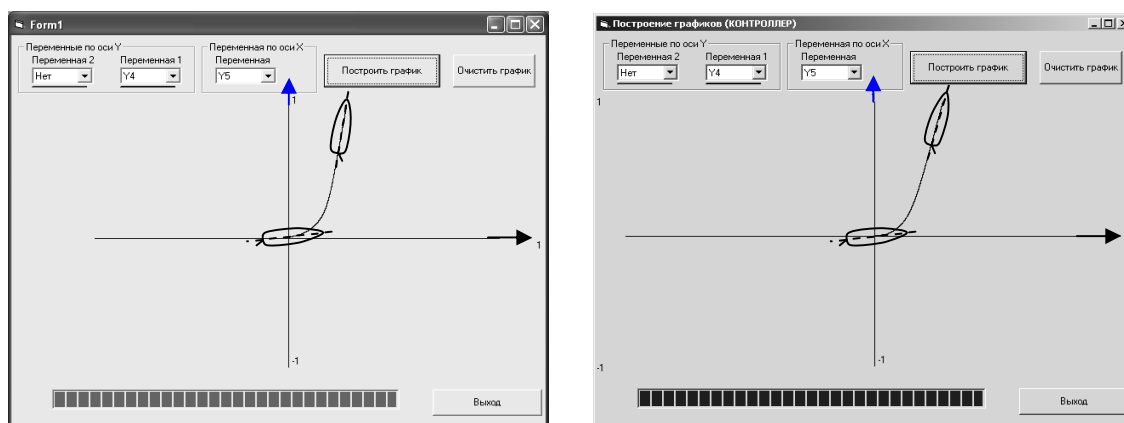


Рис.3 Установление начального курса: авторулевой непосредственно в модели (слева), авторулевой реализованный в контроллере (справа).

2 эксперимент - маневр смены курса. Судно движется с начальными условиями $\omega_{нач} = 0$, $\beta_{нач} = 0.03$, $\psi_{нач} = 0.01$, $x_{нач} = 0$, $y_{нач} = 0$, $U_{нач} = 0.1$ скорость ветра $V_i = 2.18$ скоростей судна. Требуется перейти на курс $\psi_{треб} = 3.14$. Результаты моделирования непосредственно в математической модели и под управлением авторулевого, реализованного в контроллере, совпадают (Рис.4).

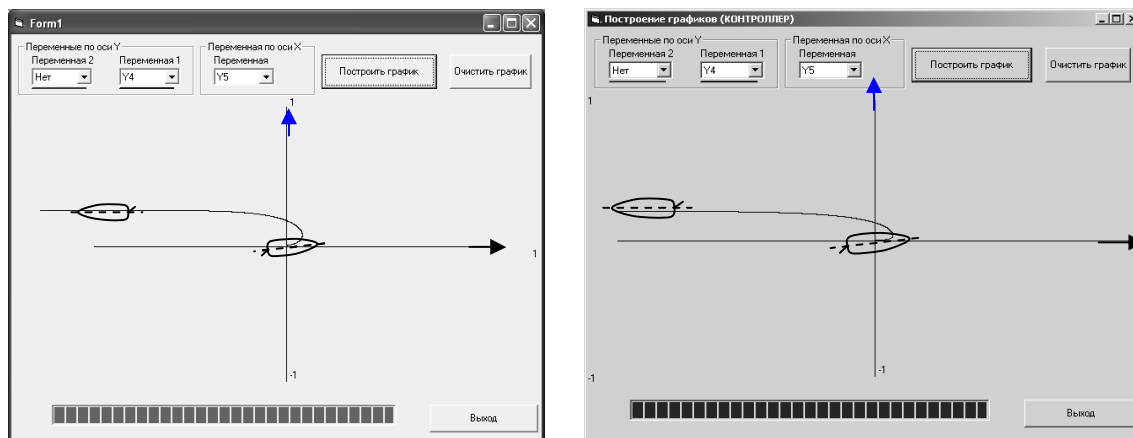


Рис.4 Маневр смены курса: авторулевой непосредственно в модели (слева), авторулевой реализованный в контроллере (справа).

3 эксперимент - маневр расхождения судов. Судно движется с начальными условиями такими же, как и во 2 эксперименте. Сначала требуется перейти на курс $\psi_{треб1} = 1.4$, а потом установить курс $\psi_{треб1} = 0.01$. Результаты моделирования непосредственно в математической модели и под управлением авторулевого реализованного в контроллере совпадают (Рис.5).

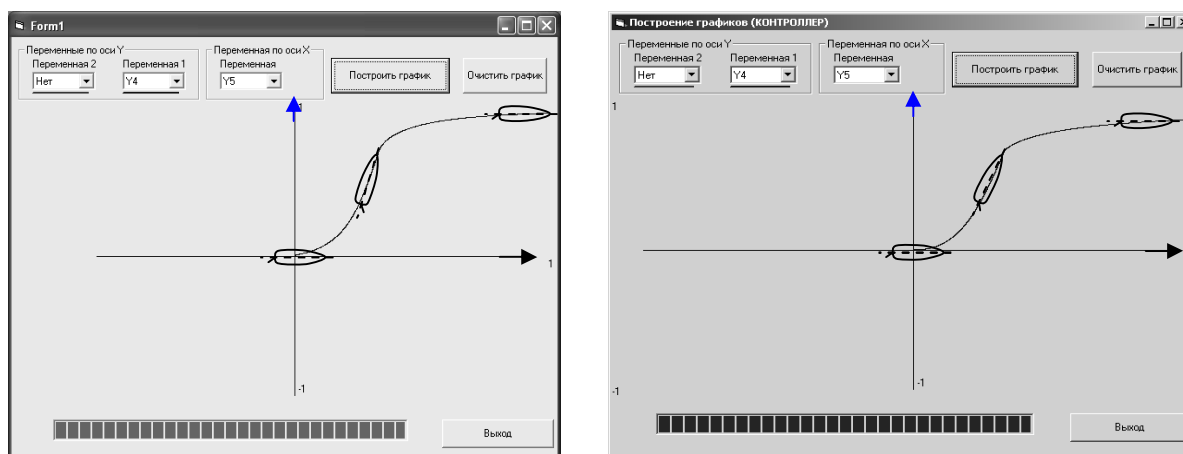


Рис.5 Маневр расхождения судов: авторулевой непосредственно в модели (слева), авторулевой реализованный в контроллере (справа).

В результате был разработан алгоритм автоматического управления движением судна по курсу с использованием интеллектуального стимулятора, выполнено программирование и отладка алгоритмов управления на промышленном контроллере, произведен ряд расчетов с использованием предложенного алгоритма, начато исследование результатов произведенных расчетов, разработан план проведения экспериментальных исследований.

Литература

1. Войткунский Я.И., Першиц Р.Я., Титов И.А. Справочник по теории корабля // Судостроение , 1973.
2. Гофман А.Д. Теория и расчет поворотливости судов внутреннего плавания // Л.: Судостроение , 1971.
3. Фейгин М.И. Бифуркационный подход к исследованию управляемости судна при ветровом воздействии // Вестник ННГУ: Математическое моделирование и оптимальное управление. Н.Новгород. Изд-во ФГОУ ВПО ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 1998, вып.2(19), 41-49.
4. Фейгин, М.И. Зарождение и эволюция диаграммы управляемости при ветре. // Вестник ВГАВТ. Межвузовская серия: Моделирование и оптимизация сложных систем. Н.Новгород. Изд-во ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2005, вып.14, 9-17.
5. Попов, А.В. О рождении и исчезновении стационарных режимов движения судна при ветре. // XI Нижегородская сессия молодых ученых. Математические науки: материалы докладов. Н.Новгород. Изд-во Гладкова О.В., 2006, 39–40.
6. Попов А.В., Фейгин М.И. // Управление курсом судна с введенным в алгоритм авторулевого стимулятором.. IX Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике. Н.Новгород. Изд-во ФГОУ ВПО ННГУ им. Н.И. Лобачевского, 2006, т.1., 98–99.

*Волжская государственная академия водного транспорта,
Россия, Нижний Новгород*

Поступила: 20.03.09.