

- [3] Гурылев М.В., Преображенский А.В. Идентификация математических моделей управляемых на курсе речных судов. Вестник ВГАВТ. Межвуз. серия Моделирование и оптимизация сложных систем. Вып.1. 2002. С. 113–119.
- [4] Чиркова М.М. Чередование областей различных статико-динамических особенностей объекта с изменением его чувствительности к управляющему воздействию.// Моделирование и оптимизация сложных систем. Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 273. Ч. 1. Н Новгород. 1997. С. 188–208.
- [5] Чиркова М.М. Разработка методов идентификации и управления движением неустойчивого на курсе объекта со скрытыми динамическими особенностями. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Н.Новгород, 1998.

**А.В. Романов**  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

### СПОСОБ УСКОРЕНИЯ ИДЕНТИФИКАЦИИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УПРАВЛЯЕМОСТИ ВОДОИЗМЕЩАЮЩЕГО СУДНА

По результатам исследований, проведенных в данной работе, обосновывается использование информации о величине относительной глубины судового хода в качестве параметра определяющего значения коэффициентов модели динамики судна в первом приближении. Это позволит ускорить параметрическую идентификацию математической модели управляемости водоизмещающего судна.

Математические модели управляемости подвижных объектов (в частности водоизмещающего судна) используются для различных целей:

- при проектировании судна с желаемыми характеристиками управляемости, в этом случае коэффициенты модели должны иметь связь как минимум с главными размерениями судна;
- для предварительной отладки алгоритма работы авторулевого;
- в алгоритме работы адаптивного авторулевого с целью предсказания реакции судна на заданную авторулевым перекладку руля.

В данной работе рассматривается третья цель. Для прогноза результатов управления используется математическая модель динамики водоизмещающего судна, предложенная А.М. Басиным [1]:

$$\begin{aligned}d\omega / dt &= -q_{31}\beta - r_{31}\omega - s_{31}\alpha \\d\beta / dt &= -q_{21}\beta - r_{21}\omega - h_{21}\beta |\beta| - s_{21}\alpha\end{aligned}\quad (1)$$

где  $q_{21} - s_{31}$  – гидродинамические коэффициенты,

$\alpha$  – угол перекладки рулевого органа,

$\omega, \beta$  – координаты состояния (угловая скорость, угол дрейфа).

Поскольку динамика суда зависит от условий внешней среды, то для сохранения адекватности модели необходимо периодически корректировать коэффициенты модели.

Время и точность нахождения коэффициентов модели зависят от их количества и погрешностей измерений датчиков координат состояния судна, в основном от точности датчика угла дрейфа. Датчики угла дрейфа имеют зону нечувствительности более 0,5 град.

При погрешности измерения координат состояния судна более 2–3% от среднего

значения коэффициентов модели рассчитываются неоднозначно. Автоматический выбор комбинаций коэффициентов занимает значительное время и не всегда дает значения соответствующие истинной динамике судна.

В данной работе предлагается использовать зависимость коэффициентов модели от относительной осадки.

Будем считать, что гидродинамические коэффициенты  $q_{31}$ ,  $r_{31}$ ,  $s_{31}$  рассчитаны по данным, измеренным при энергичном маневре (циркуляции) для большой глубины судового хода (малой относительной осадки  $T/H$ ). Согласно [1], в формулах коэффициентов  $q_{31}$ ,  $r_{31}$ ,  $s_{31}$  присутствуют члены, зависящие от глубины судового хода  $H$ , а именно коэффициент присоединенного момента инерции  $k_{66}$ , коэффициент демпфирующего момента  $C_m^\omega$ , коэффициент момента корпуса  $C_m^\beta$ .

$$q_{31} = -\frac{\rho L^3 (C_m^\beta F_D - \mu_k \varepsilon \kappa_{II} S_{II})}{2I(1 + k_{66})} \quad (2)$$

$$r_{31} = \frac{\rho L^3 (C_m^\omega F_D + \mu_k \varepsilon^2 \kappa_{II} S_{II})}{2I(1 + k_{66})} \quad (3)$$

$$s_{31} = -\frac{\rho L^3 \mu_k \varepsilon S_{II}}{2I(1 + k_{66})}, \quad (4)$$

где  $C_m^\omega$  – коэффициент демпфирующего момента,

$C_m^\beta$  – коэффициент момента корпуса,

$F_D$  – приведенная площадь диаметральной плоскости судна,

$I$  – момент инерции массы судна,

$L$  – длина судна по ватерлинии,

$k_{66}$  – коэффициент присоединенного момента инерции,

$\kappa_{II}$  – коэффициент влияния корпуса на руль,

$S_{II}$  – приведенная площадь рулей,

$\varepsilon$  – относительное расстояние руля от миделя,

$\mu_k$  – коэффициент боковой силы руля,

$\rho$  – плотность воды.

Гидродинамические коэффициенты  $q_{31}$ ,  $r_{31}$ ,  $s_{31}$ ,  $k_{66}$ ,  $C_m^\omega$ ,  $C_m^\beta$  для большой глубины судового хода обозначим  $\tilde{q}_{31}$ ,  $\tilde{r}_{31}$ ,  $\tilde{s}_{31}$ ,  $\tilde{k}_{66}$ ,  $\tilde{C}_m^\omega$ ,  $\tilde{C}_m^\beta$ .

По графикам зависимостей гидродинамических характеристик транспортных судов от относительной осадки  $T/H$ , полученных В.И. Коганом и формулам для коэффициентов  $k_{66}$ ,  $C_m^\omega$ ,  $C_m^\beta$  для большой глубины судового хода [1], были выведены поправочные множители для произвольной глубины судового хода:

$$k_{66} = \tilde{k}_{66} \cdot \left( 1 + \delta_V \cdot \frac{L}{T} \cdot \frac{T^2}{H^2} \right) \quad (5)$$

$$C_m^\omega = \tilde{C}_m^\omega \cdot \left( 1 + \frac{\pi \cdot \sigma}{LT} \frac{B^2}{4T^2} \cdot \left( \frac{T}{H} + \frac{1}{2} \cdot \frac{T^2}{H^2} \right) \right) \quad (6)$$

$$C_m^\beta = \tilde{C}_m^\beta \cdot \left( 1 + \frac{T^2}{H^2} \cdot \ln(100 \cdot (1 - \sigma)) \right) \quad (7)$$

где  $B$  – ширина судна по ватерлинии,

$T$  – осадка судна,

$H$  – глубина судового хода,

$\delta_V$  – коэффициент общей полноты,

$\sigma$  – приведенный коэффициент полноты диаметральной плоскости погруженной части судна.

Отсюда получим формулы пересчета гидродинамических коэффициентов  $q_{31}$ ,  $r_{31}$ ,  $s_{31}$  для произвольной глубины судового хода.

$$s_{31} = \tilde{s}_{31} \cdot \frac{1 + \tilde{k}_{66}}{1 + \tilde{k}_{66} \cdot \left( 1 + \delta_V \cdot \frac{L}{T} \cdot \frac{T^2}{H^2} \right)} \quad (8)$$

$$r_{31} = \left\{ \left( \tilde{r}_{31} + \varepsilon \cdot \kappa_{II} \cdot \tilde{s}_{31} \right) \left( 1 + \frac{\pi \cdot \sigma}{LT} \frac{B^2}{4T^2} \cdot \left( \frac{T}{H} + \frac{1}{2} \cdot \frac{T^2}{H^2} \right) \right) - \varepsilon \cdot \kappa_{II} \cdot \tilde{s}_{31} \right\} \cdot \frac{1 + \tilde{k}_{66}}{1 + \tilde{k}_{66} \cdot \left( 1 + \delta_V \cdot \frac{L}{T} \cdot \frac{T^2}{H^2} \right)} \quad (9)$$

$$q_{31} = \left\{ \left( \tilde{q}_{31} + \kappa_{II} \cdot \tilde{s}_{31} \right) \left( 1 + \frac{T^2}{H^2} \cdot \ln(100 \cdot (1 - \sigma)) \right) - \kappa_{II} \cdot \tilde{s}_{31} \right\} \cdot \frac{1 + \tilde{k}_{66}}{1 + \tilde{k}_{66} \cdot \left( 1 + \delta_V \cdot \frac{L}{T} \cdot \frac{T^2}{H^2} \right)} \quad (10)$$

Для того чтобы получить значения координат состояния, в модель динамики судна (1) вводились значения коэффициентов  $q_{31}$ ,  $r_{31}$ ,  $s_{31}$ , вычисленные по данным натурных испытаний танкера Волгонефть при различных глубинах судового хода. В модель динамики вводилась волновая помеха. Удержание на курсе осуществлялось с помощью авторулевого с пропорционально-дифференциальным алгоритмом с постоянными параметрами. Чтобы установить чувствительность предлагаемого метода к погрешности датчика угла курса, вводилось несколько различных уровней округления  $d\beta$  относительно среднего значения угла дрейфа.

Подставив формулы коэффициентов  $q_{31}$ ,  $r_{31}$ ,  $s_{31}$  в уравнение углового ускорения, проведем поиск численных значений коэффициентов модели в зависимости от неизвестного параметра относительной глубины методом перебора. Было установлено, что восстановленные коэффициенты модели при точности измерения угла дрейфа меньше 20% от среднего значения схожи с исходными значениями коэффициентов.

В таблице 1 приведены зависимости результатов расчетов значений коэффициентов  $q_{31}$ ,  $r_{31}$ ,  $s_{31}$  от относительной осадки при погрешности измерений угла дрейфа  $d\beta$  20% от среднего значения.

Данный метод позволил повысить на порядок порог точности для координат состояния, вводимых для вычисления коэффициентов модели управляемости судна.

**Зависимость результатов расчетов значений коэффициентов  $q_{31}$ ,  $r_{31}$ ,  $s_{31}$  от относительной осадки при погрешности измерений угла дрейфа  $d\beta$  20% от среднего значения**

Относительная глубина $T/H$	$q_3$ ( $q_3$ исходный)	$r_3$ ( $r_3$ исходный)	$s_3$ ( $s_3$ исходный)
0,21	-0,199 (-0,2)	0,148 (0,16)	-0,0018 (-0,0018)
0,25	-0,18 (-0,175)	0,129 (0,13)	-0,0016 (-0,002)
0,32	-0,138 (-0,155)	0,089 (0,11)	-0,0011 (-0,0012)
0,46	-0,166 (-0,127)	0,069 (0,083)	-0,0008 (-0,0008)

Таким образом, можно считать доказанной принципиальную возможность ускорения идентификации математической модели управляемости судна.

**Список литературы:**

[1] Войткунский Я.И. Справочник по теории корабля. Управляемость водоизмещающих судов. Гидродинамика судов с динамическими принципами поддержания/ Под ред. Я.И. Войткунского. Л.: Судостроение, 1985. – 544 с.

**В.Н. Савельев, Е.Ю. Седова**  
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ПРЕПОДАВАНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ П и ОС В ВГАВТ**

Ранее авторы уже писали о проблемах преподавания дисциплины «Приём и обработка сигналов» для студентов специальности 162107 – «Техническая эксплуатация транспортного радиооборудования» в ВГАВТ и путях их решения. На текущий момент наиболее актуальным представляется оптимизация сочетания репродуктивных и проблемно-поисковых методов в процессе обучения студентов-радиотов.

Репродуктивные методы эффективно применяются при освоении студентами учебного материала, носящего информативный характер, и при усвоении способов практических действий, т. к. предполагают активное восприятие и запоминание информации.

Практические и лабораторные работы репродуктивного характера – это применение по образцу ранее или только что усвоенных знаний. При этом в ходе работы студенты самостоятельно знания не приращивают. Репродуктивные методы также служат целям выработки практических умений и навыков. При необходимости преподавать большое количество нового материала в коротком курсе естественно преобладают репродуктивные методы. Но при чрезмерном применении они способствуют формализации процесса усвоения знаний. Возникает необходимость создать проблемную ситуацию для того, чтобы предоставить обучаемому разрешить её самостоятельно. Если студентам не удаётся справиться с такой задачей, то проводится коллективное обсуждения проблемы, и после выяснения причин её возникновения студенты должны предложить возможные пути решения. Это методика носит название проблемно-поискового метода обучения. При её применении обучаемые, основываясь на прежнем опыте и знаниях, находят пути решения проблемы. Это требует