

- [1] Пушкин А.М. Модель обслуживания стационарных объектов перемещающимся процессором с возможностью возвратов / А.М. Пушкин // Научно-технический вестник Поволжья. №5. 2014 г. – С. 288-292.
- [2] Коган Д.И. Задачи синтеза оптимальных стратегий обслуживания стационарных объектов в одномерной рабочей зоне процессора / Д.И. Коган, Ю.С. Федосенко // Автоматика и телемеханика. – 2010. – №10. – С. 50–62.
- [3] Коган Д.И. Бикритериальные задачи обслуживания стационарных объектов в одномерной рабочей зоне процессора / Д.И. Коган, Ю.С. Федосенко, Н.А. Дуничкина // Автоматика и телемеханика. 2012. №10. – С. 93–110.
- [4] Подиновский В.В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В.В. Подиновский, В.Д. Ногин. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. – 256 с.
- [5] Штойер Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения: Пер. с англ. / Р. Штойер – М.: Радио и связь, 1992. – 504 с.: ил.

А.В. Романов
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

ОБ АВТОМАТИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ МОДЕЛИ ДИНАМИКИ ВОДОИЗМЕЩАЮЩЕГО СУДНА В ПРОЦЕССЕ ЕГО ДВИЖЕНИЯ

Определение коэффициентов по натурным данным в штатном режиме движения судна осложняется недостаточной точностью или отсутствием на судах датчика угла дрейфа. Чувствительность датчика угла дрейфа не превышает 0,5–1 градуса и, в процессе удержания на заданном курсе угол дрейфа, как правило, неизмерим. 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.

Так как коэффициенты модели динамики судна более всего зависят от относительной осадки T/H , в данной работе по графикам зависимостей гидродинамических характеристик транспортных судов от относительной осадки, полученных В.И. Коганом [1], были выведены поправочные множители коэффициентов для произвольной глубины судового хода.

Большинство динамических эффектов, наблюдаемых при движении судов, можно описать с помощью модели, предложенной А.М. Басиным [1]:

$$\frac{d\beta}{dt} = -q_{21}\beta - r_{21}\omega - s_{21}\alpha - h|\beta|\beta, \quad \frac{d\omega}{dt} = -q_{31}\beta - r_{31}\omega - s_{31}\alpha, \quad \frac{d\varphi}{dt} = \omega, \quad (1)$$

где ω – угловая скорость судна в горизонтальной плоскости,

β – угол дрейфа,

α – угол перекладки руля,

φ – курсовой угол,

t – время.

Коэффициенты уравнений (1) обычно рассчитываются теоретически по конструктивным параметрам судна с использованием результатов натурных экспериментов на физических моделях и на реальных судах при выполнении определенных маневров.

Предположим, что гидродинамические коэффициенты q_{31} , r_{31} , s_{31} , q_{21} , r_{21} , s_{21} , h 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} , q_{21} , r_{21} , s_{21} , h присутствуют члены, зависящие от глубины судового хода H , а именно коэффициенты присоединенной массы k_{11} , k_{22} , коэффициент присоединенного момента инерции k_{66} , коэффициенты позиционной нормальной силы корпуса C_Y^β , C_2 , коэффициент демпфирующего момента C_m^ω , коэффициент момента корпуса C_m^β .

$$q_{21} = \frac{C_Y^\beta F_D L + \mu_k \kappa_{II} S_{II}}{2V(1+k_{22})}, \quad (2)$$

$$r_{21} = \frac{\mu_k \varepsilon \kappa_{II} S_{II} - 2V(1+k_{11})}{2V(1+k_{22})}, \quad (3)$$

$$s_{21} = -\frac{\mu_k S_{II} L}{2V(1+k_{22})}, \quad (4)$$

$$h = -\frac{C_2 F_D L}{2V(1+k_{22})}, \quad (5)$$

$$q_{31} = -\frac{\rho L^3 (C_m^\beta F_D - \mu_k \varepsilon \kappa_{II} S_{II})}{2I(1+k_{66})}, \quad (6)$$

$$r_{31} = \frac{\rho L^3 (C_m^\omega F_D + \mu_k \varepsilon^2 \kappa_{II} S_{II})}{2I(1+k_{66})}, \quad (7)$$

$$s_{31} = -\frac{\rho L^3 \mu_k \varepsilon S_{II}}{2I(1+k_{66})}, \quad (8)$$

где V – объемное водоизмещение судна,

L – длина судна по ватерлинии,

I – момент инерции массы судна,

F_D – приведенная площадь диаметральной плоскости судна,

C_Y^β , C_2 – коэффициенты позиционной нормальной силы корпуса,

C_m^ω – коэффициент демпфирующего момента,

C_m^β – коэффициент момента корпуса,

F_D – приведенная площадь диаметральной плоскости судна,

k_{11} , k_{22} – коэффициенты присоединенной массы,

k_{66} – коэффициент присоединенного момента инерции,

κ_{II} – коэффициент влияния корпуса на руль,

S_{II} – приведенная площадь рулей, ε – относительное расстояние руля от миделя,

μ_k – коэффициент боковой силы руля, ρ – плотность воды.

Гидродинамические коэффициенты k_{11} , k_{22} , k_{66} , C_Y^β , C_2 , C_m^ω , C_m^β для произвольной глубины судового хода были выведены из коэффициентов для большой глубины с помощью поправочных множителей:

$$k_{11} = \tilde{k}_{11} \cdot \left(1 + 2 \cdot \frac{T^2}{\sigma H^2} \right), \quad k_{22} = \tilde{k}_{22} \cdot \left(1 + \frac{L}{\sigma B} \cdot \frac{T^2}{H^2} \right) \quad (9)$$

$$k_{66} = \tilde{k}_{66} \cdot \left(1 + \frac{L}{\sigma B} \cdot \frac{T^2}{H^2} \right), \quad (10)$$

$$C_2 = \tilde{C}_2 \cdot \left(1 + \frac{L}{2\sigma B} \cdot \frac{T^3}{H^3} \right), \quad C_Y^\beta = \tilde{C}_Y^\beta \cdot \left(1 + \frac{L}{2\sigma B} \cdot \frac{T^3}{H^3} \right) \quad (11)$$

$$C_m^\omega = \tilde{C}_m^\omega \cdot \left(1 + \frac{\sigma B^2}{8T^3} \cdot \frac{T^{3/2}}{H^{3/2}} \right), \quad C_m^\beta = \tilde{C}_m^\beta \cdot \left(1 + \frac{T^2}{H^2} \cdot \ln(100 \cdot (1 - \sigma)) \right) \quad (12)$$

где B – ширина судна по ватерлинии,

T – осадка судна,

H – глубина судового хода,

σ – приведенный коэффициент полноты диаметральной плоскости погруженной части судна,

$\tilde{q}_{31}, \tilde{r}_{31}, \tilde{s}_{31}, \tilde{k}_{11}, \tilde{k}_{22}, \tilde{k}_{66}, \tilde{C}_Y^\beta, \tilde{C}_2, \tilde{C}_m^\omega, \tilde{C}_m^\beta, \tilde{h}$ – гидродинамические коэффициенты для большой глубины судового хода.

Отсюда получим формулы пересчета гидродинамических коэффициентов $q_{31}, r_{31}, s_{31}, q_{21}, r_{21}, s_{21}, h$ для произвольной глубины судового хода.

$$s_{21} = \tilde{s}_{21} \cdot \frac{1 + \tilde{k}_{22}}{1 + \tilde{k}_{22} \cdot \left(1 + \frac{L}{\sigma B} \cdot \frac{T^2}{H^2} \right)}, \quad (16)$$

$$r_{21} = \left\{ (\tilde{r}_{21} + \varepsilon \kappa_{II} \tilde{s}_{21}) \left[1 + \tilde{k}_{11} \left(1 + 2 \frac{T^2}{\sigma H^2} \right) \right] \right\} / \left\{ (1 + \tilde{k}_{11}) - \varepsilon \kappa_{II} \tilde{s}_{21} \right\} \cdot \frac{1 + \tilde{k}_{22}}{1 + \tilde{k}_{22} \cdot \left(1 + \frac{L}{\sigma B} \cdot \frac{T^2}{H^2} \right)}, \quad (17)$$

$$q_{21} = \left\{ (\tilde{q}_{21} + \kappa_{II} \cdot \tilde{s}_{21}) \left(1 + \frac{L}{2\sigma B} \cdot \frac{T^3}{H^3} \right) - \kappa_{II} \cdot \tilde{s}_{21} \right\} \cdot \frac{1 + \tilde{k}_{22}}{1 + \tilde{k}_{22} \cdot \left(1 + \frac{L}{\sigma B} \cdot \frac{T^2}{H^2} \right)}, \quad (18)$$

$$h = \tilde{h} \cdot \left(1 + \frac{L}{2\sigma B} \cdot \frac{T^3}{H^3} \right) \cdot \frac{1 + \tilde{k}_{22}}{1 + \tilde{k}_{22} \cdot \left(1 + \frac{L}{\sigma B} \cdot \frac{T^2}{H^2} \right)}. \quad (19)$$

$$s_{31} = \tilde{s}_{31} \cdot \frac{1 + \tilde{k}_{66}}{1 + \tilde{k}_{66} \cdot \left(1 + \frac{L}{\sigma B} \cdot \frac{T^2}{H^2} \right)}, \quad (20)$$

$$r_{31} = \left\{ (\tilde{r}_{31} + \varepsilon \kappa_{II} \tilde{s}_{31}) \left(1 + \frac{\sigma B^2 T^{3/2}}{84 T^3 H^{3/2}} \right) - \varepsilon \kappa_{II} \tilde{s}_{31} \right\} \frac{1 + \tilde{k}_{66}}{1 + \tilde{k}_{66} \left(1 + \frac{L T^2}{\sigma B H^2} \right)}, \quad (21)$$

$$q_{31} = \left\{ (\tilde{q}_{31} + \kappa_{II} \tilde{s}_{31}) \left(1 + \frac{T^2}{H^2} \ln(100(1 - \sigma)) \right) - \kappa_{II} \tilde{s}_{31} \right\} \frac{1 + \tilde{k}_{66}}{1 + \tilde{k}_{66} \left(1 + \frac{L T^2}{\sigma B H^2} \right)}, \quad (22)$$

Восстановим коэффициенты модели динамики, используя значения глубин судового хода, найденных по логии.

Ниже представлены результаты оценки адекватности модели (1) объекту, в качестве которого использована модель (1) судна Волгонефть с экспериментальными характеристиками. Три набора коэффициентов уравнений модели (1) найденных по результатам ходовых испытаний, обозначенные как «объекты» ОУ1, ОУ2, ОУ3, приведены в таблице 1 вместе с соответствующими коэффициентами модели (1), обозначенных как Мод1, Мод2, Мод3.

Таблица 1

Зависимость результатов расчетов значений коэффициентов

$q_{31}, r_{31}, s_{31}, q_{21}, r_{21}, s_{21}, h$ от относительной осадки

	T/H	q_2 (эксперим)	r_2 (эксперим)	s_2 (эксперим)	h (эксперим)	q_3 (эксперим)	r_3 (эксперим)	s_3 (эксперим)
Мод1 (ОУ1)	0.2	-0.43 (-.044)	.029 (.029)	-.0018 (-.002)	.057 (.056)	-.199 (-.2)	.171 (.16)	-.0019 (-.0018)
Мод2 (ОУ2)	0.7	-0.47 (-.048)	.016 (.01)	-.001 (-.0008)	.07 (.118)	-.191 (-.155)	.165 (.11)	-.0011 (-.0012)
Мод3 (ОУ3)	0.9	-0.56 (-.066)	.012 (.021)	-.0008 (-.0007)	.073 (.376)	-.188 (-.127)	.155 (.083)	-.0008 (-.0008)

Внешнее возмущающее воздействие моделировалось суммированием угловой скорости ω объекта с сигналом $n(t) = A \sin t$, $A = 0,02-0,03$ град/с. На рис.1 М – модель, ОУ – объект управления, РП – рулевой привод, $g(t)$ – импульсное воздействие. В моделях рулевого привода и датчиков курса и угловой скорости учитывалась нечувствительность к малым сигналам.

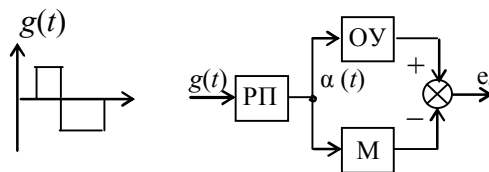


Рис. 1. Схемы включения в систему объекта и модели

Были получены следующие результаты.

Расхождение реакций объектов ОУ1, ОУ2, ОУ3 и его моделей Мод1, Мод2, Мод3 на импульсное воздействие $\alpha(t)$ в разомкнутой системе превышает 0.2 градуса курса через 5–6 с.

Подставив приближенные значения коэффициентов q_{31} , r_{31} , s_{31} в уравнение углового ускорения были получены численные оценки угла дрейфа. Установлено, что оценки угла дрейфа отличается от истинных значений менее чем 30%, но при неизмеряемо малых углах дрейфа (0,2–0,3 градуса) отклонение не превышает 0.1 градуса.

Таким образом, прогнозирование движения неустойчивого и нестационарного объекта с использованием любой его модели осложняется рядом обстоятельств. Объект необходимо оперативно идентифицировать в штатном режиме движения без подачи специальных тестовых воздействий. Длительность наблюдения за объектом, достаточная для его идентификации, зависит от внешних возмущений. Она может превышать длительность интервала постоянства характеристик объекта. Идентификацию объекта в первом приближении можно ускорить, используя конструктивные параметры судна и фактор относительной осадки. Но для точной идентификации также необходимы расчеты, учитывающие текущие значения скорости судового хода и ходового дифферента или уточняющий подбор коэффициентов.

Список литературы:

[1] Справочник по теории корабля. Т.3./ Под редакцией Войткунского Я.И. Л.: Судостроение. 1985. 544 с.

Ю.С. Федосенко, А.В. Преображенский, В.И. Логинов
ФГБОУ ВО «ВГУВТ»

ОСОБЕННОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ И МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ КУРСА «ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ»

Основная цель подготовки специалистов в области цифровой обработки сигналов (ЦОС) заключается, на наш взгляд, в достижении глубокого понимания студентами физических процессов, происходящих при формировании и обработке сигналов, протоколов взаимодействия элементов радиотехнических систем, государственных образовательных стандартов (ГОС) и позволит эффективно использовать и совершенствовать современные телекоммуникационные технологии и Internet. Для достижения поставленной цели необходимо решение следующих задач.

1. Оптимизация учебного плана с учетом уровня общеинженерной подготовки студентов и с включением в план дисциплин, определяющих современное состояние систем и средств телекоммуникаций и изучаемых при подготовке специалистов смежных специальностей.

2. Взаимодействие с научно-промышленными предприятиями и организациями с целью повышения качества профессиональной подготовки – основной составляющей инженерного образования, максимальное использование возможностей прохождения практик на базовых предприятиях радиотехнического профиля: Нижегородский научно-исследовательский институт радиотехники (ННИИРТ), Нижегородский авиационный завод «Сокол» и т.д. Это позволит будущим специалистам ознакомиться с современным радио и телекоммуникационным оборудованием, принять участие в разработке современных радиотехнических систем.

3. Привлечение ведущих специалистов радиоэлектронной промышленности к учебной работе – это самый эффективный способ повышения качества образования, востребованности и компетентности выпускников вуза. Например, студенты ВГАВТ проходят практику в ННИИРТ, имеющих исчисляемый десятилетиями опыт работы