

Список литературы:

- [1] Joseph Mitola III. Cognitive Radio. An Integrated Agent Architecture for Software Defined Radio // Doctor of Technology Dissertation, Royal Institute of Technology, Sweden, May 2000.
- [2] Simon Haykin. Cognitive Radio: Brain-Empowered Wireless Communications // IEEE Journal on selected areas and communications, vol. 23, No. 2, February 2005, p. 213.
- [3] Авдонин Д.В., Рындык А.Г. Интеллектуальные радиосистемы: Когнитивное радио. Электронный ресурс: Электронный журнал «Вычислительные сети. Теория и практика» («Network journal. Theory and practice»), Сети и системы беспроводной связи, 2006, №1 (8): 6.1. Режим доступа: <http://network-journal.mpei.ac.ru/cgi-bin/main.pl?l=ru&n=8&pa=6&ar=1>
- [4] Гурьянов И.О. Когнитивное радио: Новые подходы к обеспечению радиочастотным ресурсом перспективных радиотехнологий. Электросвязь, № 8, 2012, С. 5–8.
- [5] Манассевич В. Синтезаторы частот (теория и проектирование): Пер. с англ./ Под ред. А.С. Галина. - М.: Связь, 1979. 384 с.
- [6] Liu J., Dunleavy L.P., Svensen T.B. A Table-Based Asymmetric System Mixer Model. European Microwave Conference 2003. [Электронный ресурс] Monolithics. Precision Measurements and Models You Trust. Режим доступа: <http://www.modelithics.com/paper/633.pdf>
- [7] Логинов В.И., Маркова С.А. Номограмма комбинационных частот - алгоритмический подход. Ж. «Радиотехника», 1989, № 1, С. 44–46.
- [8] Логинов В.И. Номограмма комбинационных частот – алгоритмический подход с учетом преобразования на гармониках сигнала и гетеродина. - ж. Радиотехника, № 4, 2011, С. 61–66.
- [9] Грушин П.И., Логинов В.И., Ямпурин Н.П. Сравнительные характеристики алгоритмов расчета комбинационных составляющих на основе рядов Фарея /Труды нижегородского государственного технического университета им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород, 2010, № 2(81), С. 21–29.
- [10] Грушин П.И., Логинов В.И. Эффективность расчета комбинационных составляющих на основе цепных дробей. Всероссийский научно-технический семинар «Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов для связи и вещания».- Н. Новгород: 2010. – С. 29–32.
- [11] Александров Е.В., Логинов В.И. Эффективность расчета частотного распределения нелинейного преобразования частот с использованием рядов Фарея. Радиопромышленность. 2013. № 1. С. 100–105.
- [12] Грушин П.И., Логинов В.И., Ямпурин Н.П. Интеллектуальный анализ помех нелинейного преобразования частоты в ближней зоне и формулировка требований к элементной базе //Труды 1-ой Российско-Белорусской научно-технической конференции элементная база отечественной радиоэлектроники. Том 1. Нижний Новгород, 11–14 сентября 2013. С. 233–235.

А.В. Преображенский, А.В. Романов
ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ОЦЕНКА АДЕКВАТНОСТИ УПРОЩЕННЫХ МОДЕЛЕЙ УПРАВЛЯЕМОГО НА КУРСЕ СУДНА

Проведена оценка адекватности линейной с четырьмя коэффициентами математической модели водоизмещающего судна при движении заданным курсом.

Управление объектом с учетом ожидаемой реакции, оцениваемой на математической модели, является одним из способов повышения качества управления. Характеристики управляемости судна, особенно речного, зависят от условий движения (скорости, глубины воды, силы и направления ветра) и существенно отличаются от рассчитанных теоретически. Поэтому объект необходимо оперативно идентифицировать, используя базовую модель с возможно меньшим числом коэффициентов. В литературе рассматриваются разные модели [1], в том числе нейросетевые [2]. Актуальна оценка адекватности моделей и времени наблюдения за объектом, достаточного для его идентификации.

Большинство динамических эффектов, наблюдаемых при движении судов, демонстрирует модель

$$\frac{d\beta}{dt} = -q_2\beta - r_2\omega - s_2U - h|\beta|\beta, \quad \frac{d\omega}{dt} = -q_3\beta - r_3\omega - s_3U, \quad \frac{d\varphi}{dt} = \omega, \quad (1)$$

где ω – угловая скорость судна в горизонтальной плоскости,

β – угол дрейфа,

U – угол перекаладки руля,

φ – курсовой угол,

t – время.

Следующая модель получается исключением из (1) обычно не измеряемой переменной β :

$$\frac{d^2\omega}{dt^2} + 2p\frac{d\omega}{dt} + q\omega = -s_3dU/dt + sU - h|q_3|^{-1}\left(\frac{d\omega}{dt} + r_3\omega + s_3U\right)\left|\frac{d\omega}{dt} + r_3\omega + s_3U\right|, \quad (2)$$

$$d\varphi/dt = \omega, \quad 2p = r_3 + q_2, \quad q = q_2r_3 - q_3r_2, \quad s = s_2q_3 - s_3q_2.$$

Как показано в [3], модель (2) адекватна объекту при подборе коэффициентов уравнений и постоянной добавки к углу перекаладки руля для конкретных участков пути судна. Можно предположить, что в основном режиме движения судна – заданным курсом с малыми углами дрейфа допустима линеаризация модели. При $h = 0$ число коэффициентов модели (2) уменьшается до четырех:

$$d^2\omega/dt^2 + 2p d\omega/dt + q\omega = -s_3dU/dt + sU, \quad d\varphi/dt = \omega, \quad (3)$$

В работе оценивается адекватность модели (3) по среднеквадратичному отклонению σ_φ курса модели от курса объекта в замкнутой системе управления с ПД-регулятором и в разомкнутой системе по реакции на импульсное воздействие. В качестве реального объекта с разными характеристиками управляемости использована модель (1) судна Волгонефть с тремя наборами параметров, идентифицированными при движении судна на разной глубине и при разной загрузке [4]. Внешнее возмущающее воздействие моделировалось суммированием угловой скорости ω объекта с сигналом $n(t) = Asint$, $A = 0,02-0,03$ град/с. В моделях рулевого привода и датчиков курса и угловой скорости учитывалась нечувствительность к малым сигналам. Введение нелинейности позволяет идентифицировать линейный объект в замкнутом контуре.

Для идентификации рассматриваемого объекта достаточным оказалось время наблюдения $T_n = 30$ с. При $T_n = 15$ с показатель σ_φ практически постоянен в широком диапазоне параметров модели, с увеличением T_n его чувствительность к изменениям параметров возрастает.

Поиск адекватной модели производился подбором параметров $2p$ и q при расчетных и заданных произвольно значениях параметров s и s_3 . Параметры моделей, идентифицированных в разомкнутом и в замкнутом контуре с разной настройкой ПД-регулятора, отличались незначительно.

Объект идентифицируется не однозначно. Модели объекта с большим критическим углом перекаладки руля, полученные при отличающихся в 2–3 раза значениях коэффициента s , имели одинаково высокий показатель адекватности, при котором движения модели и объекта не различимы ($\sigma_\varphi = 0,001-0,002$ град на интервале 30 с). Идентификация была не однозначной и при $T_n = 60$ с. Возмущения влияют на величину экстремума σ_φ и его расположение в пространстве коэффициентов модели.

В некоторых ситуациях модель неожиданно теряет адекватность. Как показано на рис. 1, движения модели М1 и объекта ОУ становятся противоположными после иде-

ального совпадения в течение 30 с. Причина – не идентичность неустойчивых ветвей характеристик $\omega(U)$ объекта и модели. В состоянии, отмеченном знаком \circ , переменная ω должна увеличиваться у объекта и модели M2, а у модели M1 уменьшаться, что и наблюдается на осциллограммах.

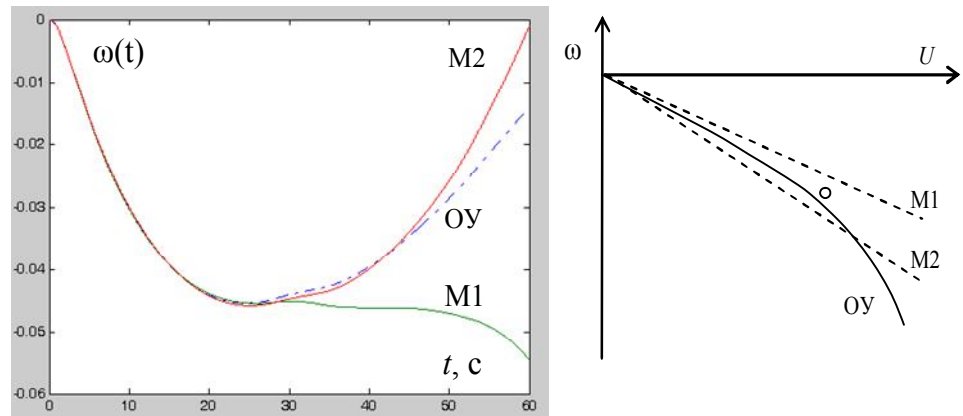


Рис. 1. Осциллограммы и фрагмент характеристик $\omega(U)$ объекта и его моделей

Таким образом, за исключением некоторых ситуаций модель (3) достаточно хорошо описывает движение судна по курсу при соответствующем подборе коэффициентов модели. Для прогнозирования движения объекта необходимо знать текущие значения φ , ω , $d\omega/dt$.

Прогнозирование движения осложняется рядом обстоятельств. Коэффициенты модели необходимо постоянно уточнять в штатном режиме движения судна без подачи специальных тестовых воздействий. Достаточная для идентификации объекта длительность наблюдения, зависящая от внешних возмущений и точности датчиков, может превышать длительность интервала постоянства характеристик объекта.

Судно обычно неустойчиво на курсе, поэтому движения объекта и модели со временем все больше различаются. Координаты состояния модели необходимо периодически корректировать по состоянию объекта. Коррекция должна выполняться параллельно с идентификацией без взаимных помех, что усложняет алгоритм управления и увеличивает длительность вычислений.

При нарушениях адекватности модели, возможных даже в спокойных и неизменных условиях движения, управление по модельному прогнозу необходимо заменять управлением по текущей ситуации, которое станет основным в сложных условиях движения. Как показали испытания на различных судах, ситуационный алгоритм, учитывающий особенности нелинейной динамики судна, не уступает по качеству управления опытному судоводителю [5]. В этом алгоритме, если пользоваться терминами нечеткой логики, функция принадлежности довольно сложная, зависящая не только от текущих значений φ и ω , как в [2]. Актуальной задачей является оптимизация функции принадлежности с использованием не стационарной модели (1).

Список литературы:

- [1] Справочник по теории корабля. Т. 3./ Под редакцией Войткунского Я.И. Л.: Судостроение. 1985. 544 с.
- [2] Глушков С.В. Методы повышения качества управления судном на основе использования нейросетевых технологий. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Владивосток, 2008.

- [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,

α – угол перекладки рулевого органа,

ω, β – 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