

ОЦЕНКА ИНТЕРВАЛОВ ИЗМЕНЕНИЯ ГИДРОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛАХ АТАКИ И ДРЕЙФА

Хожаев И.В.

Гайворонский С.А.

Томский политехнический университет

khozhaev.i@gmail.com

Введение

В процессе математического моделирования и синтеза систем управления (СУ) движением необитаемых подводных аппаратов (НПА) необходимо решать задачу параметрической идентификации НПА. Решение данной задачи осложняется тем, что значения гидродинамических параметров НПА нестационарны и зависят от ориентации НПА относительно набегающего потока жидкости, а именно от значений углов атаки и дрейфа. На практике такая задача решается постановкой натуральных или вычислительных экспериментов, на основе результатов которых с помощью регрессионного анализа строятся функции значений гидродинамических параметров от значений углов атаки и дрейфа.

В данной работе рассмотрим оценку интервалов изменения гидродинамических параметров НПА для дальнейшего синтеза робастных [1] или адаптивно-робастных [2] регуляторов СУ движением НПА. Введение интервальных параметров в модель системы позволяет упростить обработку экспериментальных данных, ограничившись только оценкой интервала его изменения.

Рассмотрим далее процедуру оценки интервалов гидродинамических параметров НПА.

Методика оценки интервалов гидродинамических показателей

В [3] описаны выражения, связывающие скорость движения НПА с силами и моментами, действующими на НПА во время движения, через гидродинамические коэффициенты НПА:

$$\begin{bmatrix} R_{x_1} \\ R_{y_1} \\ R_{z_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} c_{x_1} \\ c_{y_1} \\ c_{z_1} \end{bmatrix} \cdot \frac{\rho \cdot v^2 \cdot V^{2/3}}{2}; \begin{bmatrix} M_{x_1} \\ M_{y_1} \\ M_{z_1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_{x_1} \\ m_{y_1} \\ m_{z_1} \end{bmatrix} \cdot \frac{\rho \cdot v^2 \cdot V}{2} \quad (1)$$

где $c_{x_1}, c_{y_1}, c_{z_1}$ – коэффициенты гидродинамических сил, $m_{x_1}, m_{y_1}, m_{z_1}$ – коэффициенты гидродинамических моментов, ρ – плотность воды, V – водоизмещение НПА, v – скорость движения НПА.

Также в [3] приведены выражения, описывающие изменения гидродинамических параметров НПА с изменением его ориентации в пространстве:

$$\begin{aligned} c_x &= c_{x_1} \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) - c_{y_1} \cdot \sin(\alpha) + c_{z_1} \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta); \\ c_y &= c_{y_1} \cdot \cos(\alpha) + c_{z_1} \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) + c_{x_1} \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta); \\ c_z &= c_{z_1} \cdot \cos(\beta) - c_{x_1} \cdot \sin(\beta); \\ m_x &= m_{x_1} \cdot \cos(\alpha) \cdot \cos(\beta) + m_{y_1} \cdot \sin(\alpha) - m_{z_1} \cdot \cos(\alpha) \cdot \sin(\beta); \\ m_y &= m_{y_1} \cdot \cos(\alpha) + m_{z_1} \cdot \sin(\alpha) \cdot \sin(\beta) - m_{x_1} \cdot \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta); \\ m_z &= m_{z_1} \cdot \cos(\beta) + m_{x_1} \cdot \sin(\beta) \end{aligned} \quad (2)$$

На основе (1) и (2) сформулируем алгоритм оценки интервалов гидродинамических параметров НПА:

1. Оценить диапазон изменения скорости движения НПА.
2. С помощью средств вычислительной гидродинамики смоделировать распределение давления по поверхности НПА при движении на различных скоростях.
3. С помощью формул (1) рассчитать значения гидродинамических коэффициентов при нулевых значениях углов атаки и дрейфа.
4. С помощью формул (2) построить зависимости гидродинамических коэффициентов от углов атаки и дрейфа.
5. Найти минимальные и максимальные значения построенных зависимостей, соответствующие левым и правым границам искомых интервальных параметров

Оценка коэффициента лобового сопротивления

Рассмотрим применение разработанной методики на примере оценки интервала коэффициента лобового сопротивления телеуправляемого НПА (ТНПА), модель которого изображена на рисунке 1.

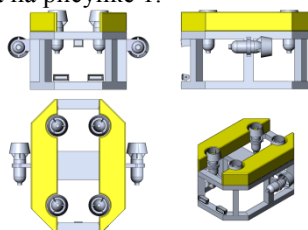


Рис. 1. Исследуемый ТНПА

Согласно разработанной методике определим диапазон скоростей: будем исследовать движение ТНПА в диапазоне скоростей $v_x = [-2; 2] м/с$.

Выбрав несколько значений скорости внутри указанного диапазона, построим для каждого из них с помощью SolidWorks Flow simulation картину распределения давления по поверхности корпуса ТНПА (см. рис. 2).

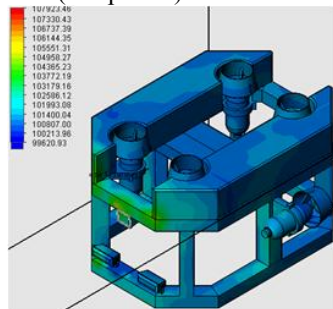


Рис. 2. Пример картины распределения давления по поверхности ТНПА

Исходя из распределения давления по корпусу ТНПА во время движения, вычислим силу лобового сопротивления R_x . График зависимости R_x от скорости движения ТНПА v_x приведен на рис. 3.

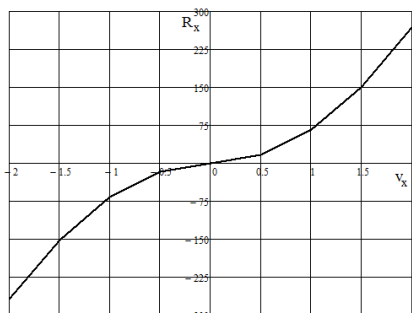


Рис. 3. Зависимость силы лобового сопротивления исследуемого ТНПА R_x от скорости движения v_x

Отметив, что модуль силы лобового сопротивления пропорционален квадрату модуля скорости движения, воспользуемся формулами (1) и рассчитаем значение коэффициента лобового сопротивления при нулевых значениях углов атаки и дрейфа: $c_{x1} = 1,775 \pm 0,005$. По аналогии рассчитаем коэффициенты подъемной и боковой сил: $c_{y1} = 3,623 \pm 0,008$; $c_{z1} = 2,55 \pm 0,08$.

Затем, воспользовавшись формулами (2) построим поверхность значений коэффициента лобового сопротивления при изменении угла атаки α и угла дрейфа β в пределах $[-\pi; \pi] рад$ (см. рис. 4). Найдя любым доступным способом минимальное и максимальное значения c_x на данной поверхности, определим искомый интервал коэффициента лобового сопротивления $c_x = [-4,773; 4,773]$.

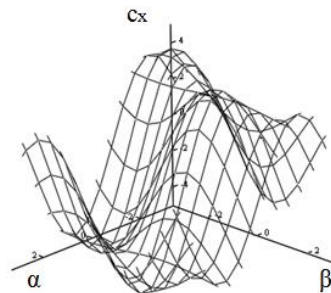


Рис. 4. Зависимость коэффициента лобового сопротивления c_x от углов атаки α и дрейфа β

Заключение

Разработанная методика оценки интервалов гидродинамических параметров НПА характеризуется низкой трудоемкостью по сравнению с существующими аналогами и в сочетании с существующими методами синтеза регуляторов для интервальных систем позволяет разрабатывать СУ движением НПА ([4] и [5]), способные работать в условиях интервальной параметрической неопределенности.

Список использованных источников

1. Хожаев И.В. Размещение вещественного интервального доминирующего полюса САУ с интервальными параметрами методом деления полиномов // Молодежь и современные информационные технологии. Сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под редакцией Т.Е. Мамоновой. 2016. – с. 229-230.
2. И.В. Хожаев, С.А. Гайворонский, Т.А. Езангина Стабилизация колебательного переходного процесса интервальной системы на основе адаптивно-робастного размещения полюсов // III Международная научная конференция «Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине». 2016. – с 1-2.
3. Основы теории движения подводных аппаратов / Е.Н. Пантов, Н.Н. Махин, Б.Б. Шереметов. – Л.: Судостроение, 1973. – 216 с.
4. I.V. Khozhaev and S.A. Gayvoronsky Synthesis of a PID-controller of a trim robust control system of an autonomous underwater vehicle // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – 2016 – Vol. 124, Article number 012019. – p. 1-7.
5. Хожаев И.В. Синтез регулятора системы приведения дифферента необитаемого подводного аппарата к нулю в режиме зависания в условиях интервальной неопределенности параметров // Молодежь и современные информационные технологии. Сборник трудов XIII Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Под редакцией Т.Е. Мамоновой. 2016. – с. 282-283.