

# СИНТЕЗ РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМЫ ПРИВЕДЕНИЯ ДИФФЕРЕНТА НЕОБИТАЕМОГО ПОДВОДНОГО АППАРАТА К НУЛЮ В РЕЖИМЕ ЗАВИСИМОСТИ В УСЛОВИЯХ ИНТЕРВАЛЬНОЙ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ ПАРАМЕТРОВ

Хожаев И.В.

Научный руководитель: Гайворонский С.А.  
Томский политехнический университет, Институт кибернетики  
ivh1@tpu.ru

## 1. Введение

В настоящее время многие работы, связанные с исследованием некоторых объектов под водой, выполняются необитаемыми подводными аппаратами (НПА). В связи с этим, повышается актуальность совершенствования систем автоматического управления (САУ) НПА.

Цель данной работы – параметрический синтез регулятора робастной системы приведения дифферента НПА к нулю, обеспечивающего желаемое качество переходного процесса. Для этого необходимо решить ряд задач:

- сформулировать требования к качеству переходного процесса;
- выбрать принцип регулирования дифферента в зависимости от конструкции движительно-рулевого комплекса (ДРК) НПА;
- построить модель системы приведения дифферента НПА к нулю;
- синтезировать параметры регулятора, обеспечивающих желаемое качество переходного процесса.

## 2. Выбор принципа регулирования дифферента

Принцип регулирования дифферента зависит от конструкции ДРК НПА. ДРК исследуемого НПА включает в себя маршевые и подруливающие двигатели. Таким образом, дифферент исследуемого НПА может быть изменен за счет приложения к корпусу НПА момента, создаваемого парой сил тяги вертикальных подруливающих двигателей, как показано на рис. 1.

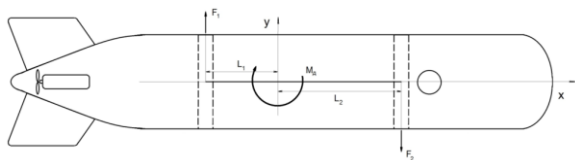


Рисунок 1 - Приложение сил тяги вертикальных подруливающих двигателей к корпусу НПА

Функциональная схема такого ДРК представлена на рис. 2. Управляющий сигнал  $g$  поступает на усилительные устройства  $УУ_1$  и  $УУ_2$ . Усиленный по мощности сигнал  $g$  поступает на двигатели  $ЭД_1$  и  $ЭД_2$ , вращающие винты  $B_1$  и  $B_2$ , которые обеспечивают силы тяги  $F_1$  и  $F_2$ . Последние умножаются на длины плеч  $L_1$  и  $L_2$  и

суммируются, образуя момент  $M_d$ , за счет которого и изменяется дифферент НПА.

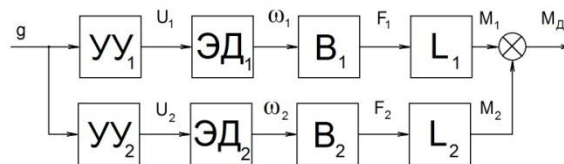


Рисунок 2 - Функциональная схема ДРК НПА

Такой принцип регулирования больше подходит для регулирования дифферента НПА в режиме зависания, рассматриваемом в данной работе. В свою очередь, при поступательном движении вперед такой принцип регулирования требует более высоких затрат энергии на работу подруливающих двигателей.

## 3. Построение математической модели системы

Дифференциальное уравнение процесса изменения дифферента НПА при работе вертикальных подруливающих двигателей имеет вид [1]:

$$\begin{aligned} & (J_z + \lambda_{66}) \cdot \frac{d^2 \psi}{dt^2} + (m \cdot x_g + \lambda_{26} - \frac{1}{2} m_z^{\omega_z} \cdot \rho \cdot V \cdot L \\ & - (m \cdot y_g - \lambda_{16}) \cdot [\alpha]) \cdot [\nu] \cdot \frac{d \psi}{dt} + G \cdot y_g \cdot \psi = \\ & = M + \left( \frac{1}{2} \cdot m_z \cdot \rho \cdot V^{\frac{2}{3}} - \lambda_{21} \right) \cdot v^2 - G \cdot x_g \end{aligned}$$

, где  $m$  – масса аппарата;  $\lambda_{ij}$  – присоединенные массы аппарата;  $\alpha$  – угол атаки;  $x_g, y_g$  – координаты центра тяжести аппарата относительно центра водоизмещения;  $\rho$  – плотность воды;  $V$  – водоизмещение аппарата;  $m_z^{\omega_z}$  – производные гидродинамических сил и моментов по углу атаки  $\alpha$ ;  $J_z$  – момент инерции аппарата относительно оси  $Oz$ ;  $p$  – отрицательная плавучесть аппарата;  $\psi$  – дифферент аппарата;  $v$  – скорость поступательного движения полюса аппарата.

Приведенное уравнение подходит для описания движения НПА на малых дифферентах, что позволяет использовать его в качестве уравнения объекта управления в системе приведения дифферента НПА к нулю.

Зная дифференциальное уравнение объекта управления, запишем его передаточную функцию:

$$W_{M\psi}(s) = \frac{1}{(J_z + \lambda_{66}) \cdot s^2 + \left[ \begin{array}{l} m \cdot x_g + \lambda_{26} - \\ -\frac{1}{2} m_z^{\omega z} \cdot \rho \cdot V \cdot L - \end{array} \right] \cdot [\nu] \cdot s + G \cdot y_g - (m \cdot y_g - \lambda_{16}) \cdot [\alpha]}$$

Пусть интервальные параметры системы – скорость поступательного движения  $\nu$  и угол атаки  $\alpha$  – изменяются в диапазонах

$$[\alpha] = \left[ -\frac{\pi}{2}; \frac{\pi}{2} \right] \text{ рад}, \quad [\nu] = [0; 0.5] \text{ м/с}$$

Зная выражения для передаточных функций ДРК, НПА и датчика дифферента, а также значения их постоянных и интервальных параметров, запишем передаточную функцию замкнутой системы по задающему воздействию:

$$W_{M\psi}(s) = \frac{K_d \cdot s^2 + K_p \cdot s + K_i}{0.0500 \cdot s^4 + [2.8379; 3.2300] \cdot s^3 + (K_d + [2.4288; 9.3892]) \cdot s^2 + (K_p + 8.6690) \cdot s + K_i}$$

#### 4. Синтез робастного ПИД-регулятора

Пусть необходимо обеспечить в исследуемой системе длительность переходного процесса не более 2 с. При корневом подходе к синтезу такая задача предполагает размещение доминирующего полюса системы на вещественной оси в интервале  $[-1.6; -1.5]$ ; остальных полюсов – левее прямой  $\text{Re}(X) = -5$ .

Воспользовавшись интервальным аналогом методики [2], определили значения параметров регулятора, обеспечивающие заданное качество переходного процесса:  $K_p = 300$ ,  $K_i = 400.767$ ,  $K_d = 36.555$ .

Расположение полюсов системы при найденных значениях параметров регулятора показано на рис. 3. Из рисунка видно, что желаемое расположение доминирующего и свободных полюсов обеспечено.

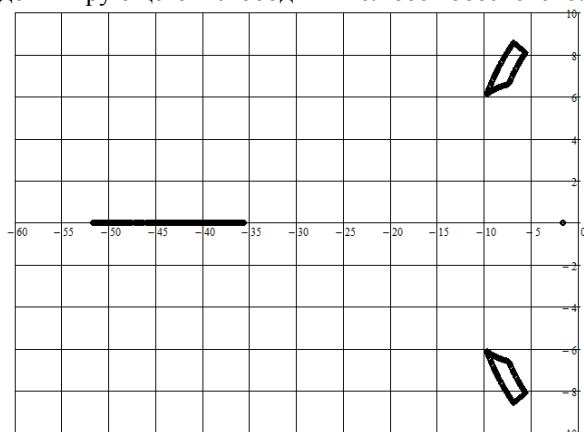


Рисунок 3 - Расположение полюсов полученной системы

Переходная характеристика системы в наихудшем режиме работы приведена на рис. 4.

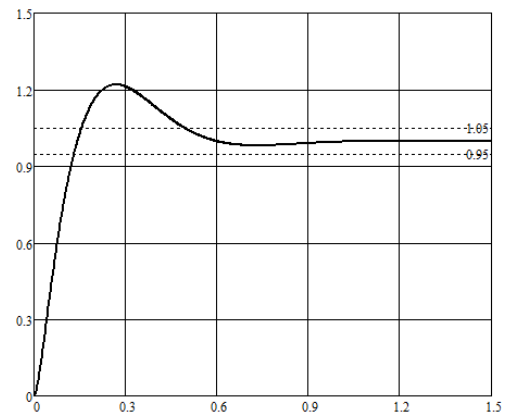


Рисунок 4 - Переходная характеристика системы в одной из вершин параметрического многогранника

Длительность переходного процесса не превышает 2 с, колебательность и перерегулирование не превышают нормы. Таким образом, система имеет желаемое качество регулирования.

#### 5. Заключение

В ходе выполнения данной работы были синтезированы параметры регулятора, обеспечивающие желаемое качество переходного процесса в системе.

В дальнейшем предполагается уточнить модель НПА, проведя идентификацию подруливающих движителей и гидродинамических характеристик корпуса НПА. Также предполагается развить методику синтеза, отказавшись от излишнего огрубления системы за счет приведения неопределенности коэффициентов характеристического полинома к интервальному типу.

#### Литература

1. Хожаев И.В., Гайворонский С.А. Синтез регулятора системы управления дифферентом автономного обитаемого подводного аппарата в условиях интервальной неопределенности параметров // Шестая всероссийская научно-техническая конференция «Технические проблемы освоения мирового океана». Материалы конференции, Владивосток, 28 сентября-2 октября, 2015. – Владивосток, 2015 - с. 470-475.
2. Khozhaev I. V. Linear time invariant system pole placing by polynomial division method [Electronic resorces] // Современные техника и технологии: сборник трудов XX международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 т., Томск, 14-18 Апреля 2014. - Томск: ТПУ, 2014 - Т. 2 - С. 313-314. - Mode of access: [http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C01/V2/C01\\_V2.pdf](http://www.lib.tpu.ru/fulltext/c/2014/C01/V2/C01_V2.pdf)