

УДК 681.5

И.В.Юдин (асп., каф. МПУ), С.Ф.Бурдаков, д.т.н., проф.

УПРАВЛЕНИЕ ПОГРУЖЕНИЕМ – ВСПЛЫТИЕМ ПОДВОДНОЙ ЛОДКИ ПРИ ОТСУТСТВИИ СКОРОСТИ ХОДА В УСЛОВИЯХ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Работа посвящена вопросам, связанным с управлением движением подводной лодки (ПЛ) при отсутствии скорости хода в подводном положении. Такой режим движения применяется при решении многих задач: всплытие или погружение при ремонтных работах, покладки на грунт и приледнения, в случаях необходимости снижения шума гребных винтов, а также при решении экипажем различных тактических задач. Отсутствие скорости хода означает равенство нулю продольной составляющей вектора скорости ПЛ ($V_x=0$). Так как горизонтальные рули при отсутствии скорости хода ПЛ не работают, то для выхода на заданную глубину, а так же компенсации внешних возмущающих сил используется плавучесть, получаемая в результате приема или откачки балласта из специальной цистерны «без хода» (ЦБХ).

В качестве полной базовой математической модели принимается система обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений 12-го порядка, которая описывает движение ПЛ, как управляемого тела погруженного в жидкость [1]:

$$\frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{F}_{in}(\mathbf{V}, \mathbf{w}) + \mathbf{F}_{hd}(\mathbf{V}, \mathbf{w}, \mathbf{x}_p, \delta) + \mathbf{F}_{out}, \quad (1)$$

где: $\mathbf{x} = \{\mathbf{V}, \mathbf{w}, \mathbf{x}_p\}$ - вектор состояния ПЛ, $\mathbf{V} \in \mathbf{E}^3$ - вектор линейных скоростей, $\mathbf{w} \in \mathbf{E}^3$ - вектор угловых скоростей, $\mathbf{x}_p \in \mathbf{E}^6$ - вектор линейных и угловых координат объекта, $\delta \in \mathbf{E}^k$ - вектор управляющих воздействий (тяга винта, рули, цистерны балласта и др.). Считается, что движение происходит под воздействием внутренних сил и моментов инерционной (\mathbf{F}_{in}) и гидродинамической природы (\mathbf{F}_{hd}), зависящих от текущего положения объекта, а также внешних сил и моментов (\mathbf{F}_{out})

В исследованиях Рождественского В. В. [2, т.2, с. 94], показано, что замкнутая система уравнений движения ПЛ при отсутствии скорости хода, а также в предположении того, что дифферент (ψ) и крен (θ) равны нулю выглядит следующим образом:

$$m \cdot (1 + k_{22}) \cdot \ddot{\eta} + C_{y1}(90^\circ) \cdot \frac{\rho \cdot V^{2/3}}{2} \cdot \dot{\eta}^2 = F - Q, \quad (2)$$

$$\dot{Q} = f(\sigma)$$

где: m – масса ПЛ, k_{22} – коэффициент присоединенных масс, $C_{y1}(90^\circ)$ – гидродинамический коэффициент, соответствующий движению ПЛ без скорости хода, V – полное подводное водоизмещение ПЛ, ρ – плотность воды, η – глубина погружения ПЛ, F – внешние возмущения, Q – регулирующее воздействие балласта в специальной цистерне без хода (ЦБХ), σ – сигнал, управляющий насосом, который осуществляет перекачку балласта из цистерны ПЛ за борт и обратно, f – характеристика привода.

Характеристика привода $f(\sigma)$ представляет собой звено релейного типа с зоной нечувствительности (рис. 1):

$$f(\sigma) = \begin{cases} c \cdot \text{sign}(\sigma) & \text{при } \sigma > b \\ 0 & \text{при } \sigma \leq b \end{cases} \quad (3)$$

В течении длительного времени алгоритмы автоматического управления движением ПЛ при отсутствии скорости хода представляли собой ту или иную модификацию изодромного устройства [2], и обеспечивали стабилизацию глубины погружения

удифференцированной на этой глубине ПЛ относительного заданного значения с погрешностью не превышающей ± 1 м, что удовлетворяет требованиям предъявляемым к системе такого типа. Однако существенным недостатком таких алгоритмов является длительное время выхода ПЛ в зону стабилизации и может составлять до 1000 с. Помимо этого недостатка следует отметить, что алгоритм управления с изодромной структурой ориентирован на достаточно полное описание математической модели объекта управления и требует специальной настройки коэффициентов при различных возмущениях.

С целью улучшения характеристик переходного процесса при управлении ПЛ в режиме «без хода», используя метод не прямой компенсации [3] был получен следующий закон управления ЦБХ:

$$\sigma = -\gamma(\ddot{\eta} + k_2 \cdot \dot{\eta} + k_1(\eta - \eta^d)), \quad (4)$$

где: η - глубина погружения ПЛ, k_1 , k_2 и γ - коэффициенты управления. Следует отметить, что выбором коэффициентов k_1 и k_2 достигается желаемая траектория движения ПЛ, а для подавления внешних возмущений используется большой коэффициент усиления γ .

На рисунке 1 представлены результаты моделирования процесса погружения ПЛ на глубину 10 м, при этом случай (а) соответствует алгоритмам с изодромной структурой, а в случае (б) применялся полученный закон управления (4).

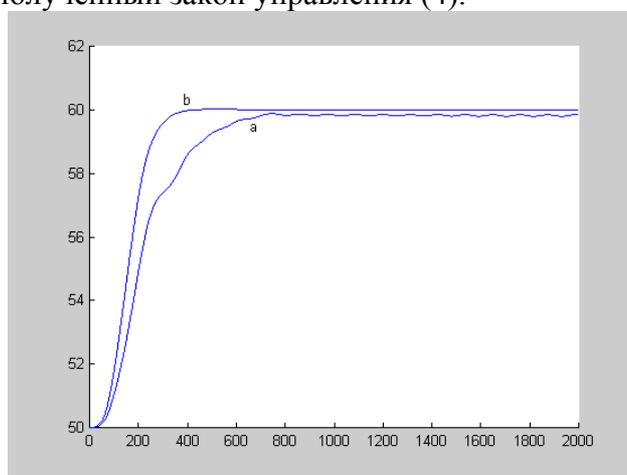


Рис.1

Как видно из результатов моделирования, полученный закон управления позволяет сократить время переходного процесса почти вдвое, не ухудшив при этом качество процесса стабилизации. Следует отметить, что анализ эффективности закона управления (4) исследовался на полной математической модели ПЛ (1).

Дальнейшие исследования связаны с моделированием и анализом эффективности предлагаемого закона управления в режиме торможения ПЛ («постановки на без хода»). Эта задача осложняется тем, что модель ПЛ существенным образом зависит от диапазона скоростей V_x . При этом управление ЦБХ возможно только при малой начальной скорости V_x .

ЛИТЕРАТУРА

1. Веремей Е.И., Еремеев В.В., Мисенов Б.А. Отработка и автоматическая отладка алгоритмического обеспечения специальных режимов. // Отчет ФГУП «НПО «АВРОРА», Санкт-Петербург 2000 г.
2. Рождественский В.В. Динамика подводной лодки. // Изд-во «Судостроение», Ленинград, 1970 г.
3. Бурдаков С.Ф., Первозванский А.А., Фрейдович Л.Б. Робастное управление нелинейными механическими системами с помощью линейных обратных связей. // Автоматика и телемеханика. 1999 г. № 11, с 69 – 80.