

УДК 681.5

Го Пэн

**ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ РУЛЯ  
ПОДВОДНОГО РОБОТА**

*Рассмотрена задача оптимального управления поворотом подводного робота (ПР).  
Получен алгоритм и разработана программа микроконтроллерного управления поворотом  
робота.*

*Подводный робот; поворот; оптимальное управление.*

Guo Peng

**OPTIMAL CONTROL OF UNDERWATER ROBOT SERVOMECHANISM**

*Consider process optimal control movement of underwater robot. Receive algorithm and  
development programmers' controller.*

*Underwater robot; turning process; optimal control.*

**Введение.** Электрическая энергия используется для питания различных технических устройств, обеспечивая их высокие технологические и эксплуатационные свойства. Одним из таких устройств является подводный робот, для управления которым используются электрические двигатели, электроприводы движителей, органы управления и устройство управления движением. В последнее время устройства управления ПР реализуются на основе микроконтроллеров или микро-ЭВМ. Поэтому, благодаря соответствующему программному обеспечению и памяти, ПР может самостоятельно ориентироваться в окружающей обстановке.

Подводные аппараты способны выполнять различные операции под водой, например, установку приборов на дне морской акватории точно в заданное положение и их обслуживание. Подводные аппараты могут также использоваться для монтажа и периодической проверки работоспособности штатных стационарных приборов, опускаемых с судна, или для наблюдений, выполняемых стандартными измерительными устройствами.

Для того чтобы наиболее рационально использовать подводные роботы, необходимо иметь алгоритмы для автоматического выполнения наиболее часто встречающихся операций по их управлению. В данной работе разрабатываются алгоритм и программа для автоматического оптимального выполнения поворота подводным роботом.

**Постановка задачи.** Для исследования процессов управления движением подводного робота (ПР) в данной работе используется упрощенная математическая модель следующего вида :

$$\dot{V} = 0, \quad \dot{\omega} = M/J, \quad \dot{\phi} = \omega,$$

$$\dot{x} = V \cdot \cos \phi, \quad \dot{z} = V \cdot \sin \phi$$

где  $V$  – линейная скорость ПР;  $\omega$  – угловая скорость ПР относительно вертикальной оси;  $M$  – момент, создаваемый вертикальным рулём;  $\phi$  – курс ПР;  $\phi_0$  – начальный курс;  $x$  – расстояние вдоль оси  $X$ ;  $z$  – расстояние вдоль оси  $Z$ , пройденное роботом.

Алгоритм управления ПР разработан на основе теории оптимального по быстродействию управления [1]. Для описания движения используется система координат, показанная на рис. 1.

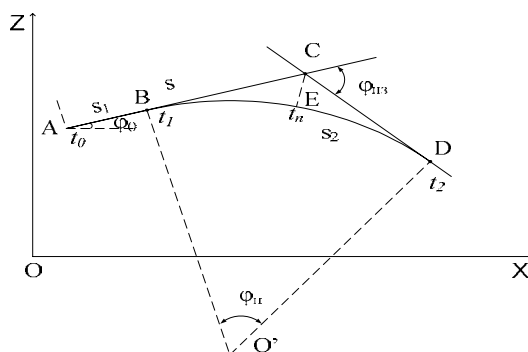


Рис. 1. Процесс поворота робота

Допустим ПР движется с начальным курсом  $\varphi_0$  и постоянной скоростью  $V$ . Далее ПР должен изменить курс на новый, направление которого отличается на угол  $\varphi_{пз}$  от старого. Этот курс пересекается со старым в точке  $C$ .

Допустим ПР достигнет точки  $B$  при  $t = t_1$ . В этот момент изменяется угол поворота вертикального руля и начинается поворот с постоянной угловой скоростью  $\omega$ . Дуга  $\widehat{BED}$  – это траектория поворота. Согласно теории оптимального по быстродействию управления на отрезке  $\widehat{BE}$  момент руля  $M = -M_{\max}$ , (если  $\varphi_{пз} < 0$ ) и  $M = M_{\max}$ , (если  $\varphi_{пз} > 0$ ). При  $t = t_n$  (рис. 2) момент переключается и становится  $M = M_{\max}$  ( $M = -M_{\max}$ ).

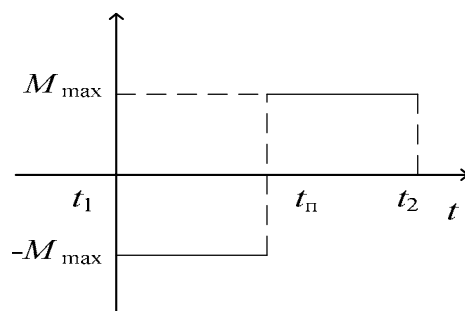


Рис. 2. Оптимальное управление поворотом ПР

В точке  $D$  (рис. 1) ПР должен закончить поворот и далее двигаться прямолинейно с новым курсом. Будем считать, что момент  $M_{\max}$  известен и является постоянным, поэтому для решения этой задачи необходимо найти моменты переключения  $t_n$  и  $t_2$ .

Определение моментов переключения. Первый интервал. Так как на интервале  $[t_1, t_n]$  момент  $M = const$ , то  $\dot{\omega} = const$ , поэтому

$$\omega(t) = \omega_0 + \frac{M}{J} t \Big|_{\omega_0=0}, \quad (1)$$

где  $\omega_0$  – начальная угловая скорость ПР относительно вертикальной оси;  $M$  – момент создаваемый рулём;  $J$  – момент инерции ПР относительно вертикальной оси. Следовательно, угол поворота ПР за время  $t-t_1$  будет равен

$$\varphi(t) = \varphi_1 + \int_{t_1}^t \omega(\tau) d\tau = \varphi_1 + \int_{t_1}^t \frac{M}{J} (\tau) d\tau = \varphi_1 + \frac{M}{J} \frac{t^2}{2}, \quad (2)$$

где  $\varphi_1$  – начальный угол поворота ПР. При  $\varphi_1 = 0$  имеем  $\varphi(t) = \frac{M}{J} \frac{t^2}{2}$ .

По теории оптимального по быстродействию управления  $\varphi(t_n)$ , а  $t_2 = 2t_n$ , по этому можно записать равенство:

$$\frac{M}{J} \frac{(t_n - t_1)^2}{2} = \frac{\varphi_{пз}}{2}. \quad (3)$$

Отсюда находим

$$t_n = t_1 + \sqrt{\frac{\varphi_{пз} J}{M}}, t_2^* = t_n + \sqrt{\frac{\varphi_{пз} J}{M}}.$$

Полученные выражения определяют моменты перекладки руля ПР при оптимальном по быстродействию выполнении поворота.

Полученные соотношения (4) приводят к следующему алгоритму моделирования процесса оптимального поворота ПР:

1. Ввод исходных данных (см. рис. 1):  $X_0, Y_0, \varphi_0, t_1, \varphi_{пз}$ ,

$$\text{вычисление } t_n^* = \sqrt{\frac{\varphi_{пз} J}{M}}, S_{\text{упр}}^* = \frac{2V\sqrt{J}}{\sqrt{\varphi_{пз} \cdot M}} \text{tg} \frac{\varphi_{пз}}{2}.$$

2. Начало движения (интегрирование уравнений (1) при  $M = 0$  пока  $t \leq t_1$ ).
3. При  $t = t_1$ , алгоритм устанавливает момент  $M = M_{\text{max}} \text{sign}(\varphi_{пз})$ , после чего продолжается интегрирование уравнений (1) пока  $t \leq t_1$ .
4. При  $t = t_1$ , алгоритм меняет знак момента, полагая  $M = -M_{\text{max}} \text{sign}(\varphi_{пз})$ . Затем продолжается интегрирование уравнений (1) до тех пор пока  $t \leq t_1 + 2t_n^*$ .
5. При  $t = t_1 + 2t_n^*$  алгоритм устанавливает момент  $M = 0$  и продолжает интегрирование уравнений (1) до тех пор пока  $t \leq t_{\text{mod}}$ .
6. При  $t = t_{\text{mod}}$  интегрирование прекращается и осуществляется вывод полученных результатов в виде графиков.

Результаты моделирования процесса управления поворотом ПР проводилось с помощью MATLAB. Параметры ПР:  $J = 1000 \text{кгм}^2$ ,  $M_{\text{max}} = 25 \text{Нм}$ ; начальные условия:  $x_0 = 2$ ,  $y_0 = 5$ ,  $\varphi_0 = 30^\circ$ ,  $\varphi_{пз} = 45^\circ$ ,  $t_1 = 5$ . В результате моделирования были получены графики, приведенные на рис. 3, соответствующие различным значениям скорости движения  $V$  подводного робота.

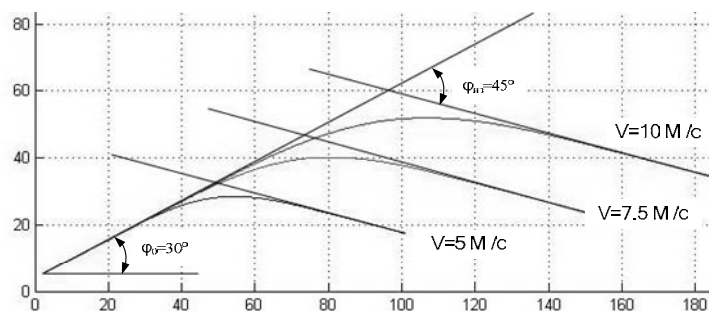


Рис. 3. Поворот с  $30^\circ$  на  $45^\circ$

**Заключение.** Как показывают результаты экспериментов предложенные в данной работе алгоритм и программа обеспечивают эффективное выполнение поворотов подводного робота в автоматическом режиме.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Ястребов В.С. Подводные роботы. СПб.: Судостроение, 1977.
2. Гайдук А.Р. Оптимальные и адаптивные системы автоматического управления. – М.: Училиствуз, 2007.
3. Дьяконов В.П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6. Основы применения. Серия «Библиотека профессионала». – М.: СОЛОН-Пресс, 2005. – 800 с.

#### Го Пэн

Технологический институт федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Южный федеральный университет» в г. Таганроге.  
E-mail: jarod77@gmail.com.  
347928, г. Таганрог, пер. Некрасовский, 44.  
Тел.: 88634371689.

#### Guo Peng

Taganrog Institute of Technology – Federal State-Owned Educational Establishment of Higher Vocational Education “Southern Federal University”.  
E-mail: jarod77@gmail.com.  
44, Nekrasovskiy, Taganrog, 347928, Russia.  
Phone: 88634371689.

УДК 518.5.001.57

**В.И. Финаев, Н.И. Битюцкая**

#### РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ СИСТЕМНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕГИОНА КМВ

*Обоснована необходимость системного исследования экологического состояния региона. Выполнено формальное описание экосистемы как сложной системы. Приведен обзор математических моделей окружающей среды. Предложена концепция моделирования экосистемы.*

*Экосистема; модель распространения загрязнения.*