

УДК 62-83:629.584

С. М. Волянский,
Я. Б. Волянская, канд. техн. наук

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖИТЕЛЬНО-РУЛЕВЫМ КОМПЛЕКСОМ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ПРЯМОЛИНЕЙНОМ ДВИЖЕНИИ ПОДВОДНОГО АППАРАТА С РАЗЛИЧНЫМИ ТИПАМИ РЕГУЛЯТОРОВ

Аннотация. Рассмотрены вопросы повышения качества управления движительно-рулевым комплексом подводного аппарата. Разработаны и исследованы системы управления этим комплексом при горизонтальном прямолинейном движении подводного аппарата с синтезированными адаптивными ПИД-регуляторами и нечеткими регуляторами. Экспериментально доказано, что использование таких регуляторов позволяет увеличить точность позиционирования подводного аппарата и снизить время его перемещения по заданной траектории, что значительно повышает эффективность управления.

Ключевые слова: движительно-рулевой комплекс, подводный аппарат, система автоматического управления, регулятор

S. Volyansky,
Y. Volyanskaya, PhD.

DEVELOPMENT AND RESEARCH OF SYSTEM MANAGERMENTS MOTIVE-STEERING COMPLEX AT RECTILINEAL PLATFORMING OF SUBMARINE VEHICLE WITH DIFFERENT TYPES OF THE REGULATORS

Abstract. The questions of upgrading of management of MSC of SV are considered. Control system of MSC is worked out and investigational at a rectilinearly platforming SV with the synthesized adaptive PID-regulators and fuzzy regulators. It is experimentally well-proven that the use of such SAC allows increasing exactness of positioning of SV and bringing down time of moving of submarine vehicle on the set trajectory, that considerably promotes management efficiency a submarine vehicle.

Keywords: motive steering complex, submarine vehicle, system of automatic control, regulator

С. М. Волянський,
Я. Б. Волянська, канд. техн., наук

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ РУШІЙНО-КЕРМОВИМ КОМПЛЕКСОМ ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ ПРЯМОЛІНІЙНОМУ РУСІ ПІДВОДНОГО АПАРАТУ З РІЗНИМИ ТИПАМИ РЕГУЛЯТОРІВ

Анотація. Розглянуті питання підвищення якості управління рушійно-кермовим комплексом підводного апарату. Розроблені та досліджені системи управління цим комплексом при горизонтальному прямолінійному русі підводного апарату з синтезованими адаптивними ПИД-регуляторами і нечіткими регуляторами. Експериментально доведено, що використання таких регуляторів дозволяє збільшити точність позиціонування підводного апарату і знизити час його переміщення за заданою траєкторією, що значно підвищує ефективність управління.

Ключові слова: рушійно-кермовий комплекс, підводний апарат, система автоматичного управління, регулятор

Постановка проблемы. Основной задачей при разработке систем управления (САУ) движительно-рулевым комплексом (ДРК) подводного аппарата (ПА) является применение такого схемотехнического решения, которое позволит реализовывать все возможные задачи с требуемыми критериями качества управления [2].

В большинстве проводимых исследований ПА рассматривается как единый комплекс, что приводит к сложным расчетным схемам, возможным погрешностям из-за большого количества допущений.

В то же время мало исследованным остается движительно-рулевой комплекс ПА, как объект управления, без привязки его к остальным системам подводного аппарата. При решении задач синтеза систем управления ДРК ПА, инвариантных к внешним

воздействиям и связям с остальными частями ПА (манипуляторы, сменное навесное оборудование, транспортируемый груз), можно получить систему управления, удовлетворяющую требованиям точности выполняемых задач [1; 3 – 4].

Таким образом, проблема синтеза систем управления ДРК ПА, как нелинейной электромеханической системы, изменяющейся во времени и функционирующей в условиях неопределенности объекта, еще окончательно как с теоретической, так и с практической точек зрения не решена, следовательно, актуальна.

Цель статьи. Повышение качества управления ПА путем разработки и исследования системы управления ДРК при горизонтальном прямолинейном движении ПА с различными типами регуляторов.

Изложение основного материала. Пропорционально-интерго-дифференцирующий регулятор

(ПИД-регулятор) относится к наиболее распространенному типу регуляторов. Порядка 90 – 95 % регуляторов [10], находящихся в настоящее время в эксплуатации, используют ПИД-алгоритмы. Однако, наличие в ПИД-регуляторах только трех регулируемых параметров в ряде случаев оказывается недостаточным для получения заданного качества регулирования, особенно для систем, в которых требуется одновременно высокое качество слежения за уставкой и высокое качество ослабления нелинейных внутренних возмущений (например, гидродинамический тормозной момент в бароразгруженном электродвигателе) и внешних возмущений (например, функционирование ПА в условиях морского волнения).

Поэтому применение ПИД-регуляторов с переменными коэффициентами позволит получить стабильные показатели качества управления. Также перспективным для автоматического управления ПА является использование методов нечеткой логики (fuzzy logic).

Simulink – модели синтезированных систем управления ДРК при горизонтальном прямолинейном движении ПА с адаптивными ПИД-регуляторами и нечеткими регуляторами представлены на рис. 1. При синтезе систем использовались:

1) система уравнений уточненной математической модели [5; 7];

2) синтезированные законы управления по стабилизации угловой скорости вращения гребного винта ПА, по стабилизации упора гребного винта ПА, по стабилизации скорости перемещения ПА при его горизонтальном прямолинейном движении [6];

3) синтезированные адаптивные ПИД-регуляторы и нечеткие регуляторы: “PID1”, “FUZZY1” – адаптивный ПИД-регулятор и нечеткий регулятор по стабилизации координаты горизонтального прямолинейного перемещения ПА; “PID2”, “FUZZY2” – адаптивный ПИД-регулятор и нечеткий регулятор по стабилизации скорости перемещения ПА при его горизонтальном прямолинейном движении; “PID3”, “FUZZY3” – адаптивный ПИД-регулятор и нечеткий регулятор по стабилизации упора гребного винта (ГВ) ПА; “PID4”, “FUZZY4” – адаптивный ПИД-регулятор и нечеткий регулятор по стабилизации угловой скорости вращения гребного винта ПА [5 – 6].

В блоке “Task” Simulink-модели формируется задание и производится выбор сигнала обратной связи и адаптивного ПИД-регулятора (нечеткого регулятора), соответствующего заданию.

Выход блока “Task” u_{zad} подается на сумматор для определения ошибки $\varepsilon(t)$, которая поступает на вход “In” блоков регуляторов “PID1” – “PID4” (“FUZZY1”–“FUZZY4”).

Выход блока “Multiport Switch” содержит управляющее воздействие $u(t)$ и подается в блок “Motor”.

Блок “Motor”, совмещающий в себе регулируемый источник напряжения и асинхронный двигатель бароразгруженного исполнения. На выходе блока “Motor” получаем сигнал “ τ ” – температуру рабочей жидкости, который подается в блок K_q и в блоки аппрок-

симации коэффициентов k_1, k_2, k_3 блоков “PID1” – “PID4” (“FUZZY1” – “FUZZY4”). Блок K_q представляет собой аппроксиматор табличных значений коэффициента гидродинамических потерь K_q в зависимости от температуры и вида рабочей жидкости [5; 9]. Также на выходе блока “Motor” получаем сигнал “w” – угловую скорость вращения вала электродвигателя. В блоке “Propeller” производится расчет момента “Q” и упора “F” гребного винта, скорости “V” и координаты “S” горизонтального перемещения ПА.

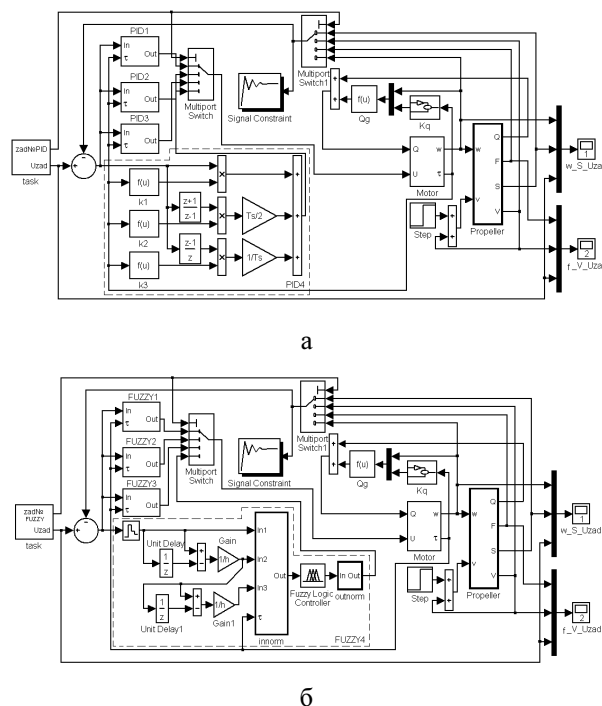


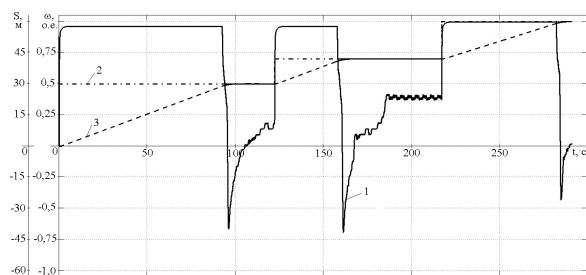
Рис. 1. Simulink – модели синтезированных систем управления ДРК ПА:
 а – с адаптивными ПИД-регуляторами;
 б – с нечеткими регуляторами

Блок “Signal Constraint” используется при настройке адаптивных ПИД-регуляторов.

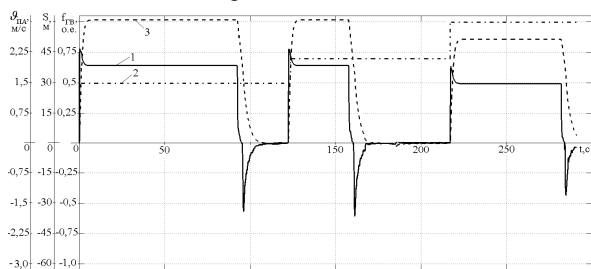
При проведении исследований не учитывались динамические процессы, происходящие с ПА при его поворотах вокруг вертикальной оси.

Результаты моделирования работы синтезированных систем управления ДРК при горизонтальном прямолинейном движении ПА с адаптивными ПИД-регуляторами представлены на рис. 2 (а; б), с нечеткими регуляторами – на рис. 2 (в; г).

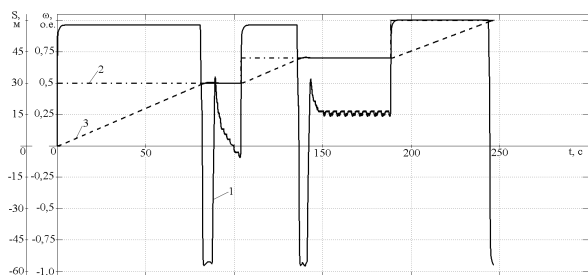
Из графиков, представленных на рис. 2 видно, что системы управления ДРК при горизонтальном прямолинейном движении ПА с ПИД-регуляторами и нечеткими регуляторами выполнили программу перемещения ПА по заданному алгоритму. При этом в переходных режимах (разгон, торможение ПА) система управления с нечеткими регуляторами показала более высокую скорость отработки сигнала.



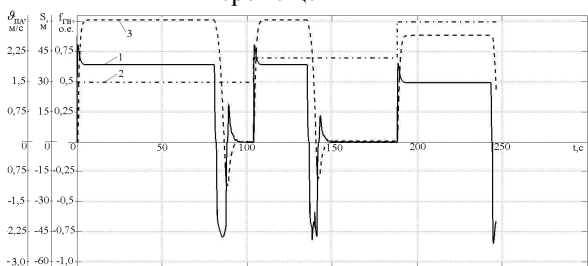
а
 1 – угловая скорость вращения ГВ; 2 – u_{zad} ;
 3 – координата горизонтального прямолинейного перемещения ПА



б
 1 – упор ГВ; 2 – u_{zad} ; 3 – скорость горизонтального прямолинейного перемещения ПА



в
 1 – угловая скорость вращения ГВ; 2 – u_{zad} ;
 3 – координата горизонтального прямолинейного перемещения ПА



г
 1 – упор ГВ; 2 – u_{zad} ; 3 – скорость горизонтального прямолинейного перемещения ПА

Рис. 2. Результаты моделирования работы синтезированной системы управления ДРК при горизонтальном прямолинейном движении ПА с адаптивными ПИД-регуляторами (а, б) и нечеткими регуляторами (в, г)

Выводы. Проведенные исследования функционирования разработанных синтезированных систем управления ДРК при горизонтальном прямолинейном

движении ПА с адаптивными ПИД-регуляторами и нечеткими регуляторами показали, что система управления с адаптивными ПИД-регуляторами при торможении ПА имеет значение перерегулирования угловой скорости вращения ГВ на 12 % меньше, чем система управления с нечеткими регуляторами. Система управления ДРК при горизонтальном прямолинейном движении ПА с нечеткими регуляторами выводит ПА на конечную координату задания на 15 % быстрее, чем система управления с адаптивными ПИД-регуляторами. Точность выведения на заданную координату ПА при работе системы управления с нечеткими регуляторами на 29 % выше, чем при работе системы управления с адаптивными ПИД-регуляторами. Ясно, что это значительно повышает эффективность управления подводным аппаратом.

Список использованной литературы

1. Агеев М. Д. Упрощенная методика расчета двигателей для АПА. [Текст] / М. Д. Агеев // Подводные роботы и их системы. – Владивосток : Дальнаука. – 1995. – С. 33 – 49.
2. Блинцов В. С. Определение потерь в погружном электроприводе подводного аппарата. [Текст] / В. С. Блинцов, Д. В. Костенко, П. Шимчак // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірка наукових праць. – Харків : НТУ ХПІ. – 2001. – № 10. – С. 410 – 411.
3. Блинцов С. В. Онлайн-ідентифікація параметрів підводного апарата як нестационарного об'єкта в системі керування на базі інверсної моделі [Електронний ресурс] / С. В. Блинцов // Вісник НУК. – Миколаїв : НУК, 2012. – № 3. – Режим доступу : <http://ev.nuos.edu.ua> (дата доступу 01.10.2012).
4. Бочаров Л. Ю. Современные тенденции в развитии миниатюрных подводных аппаратов и роботов за рубежом [Текст] / Л. Ю. Бочаров // Подводные исследования и робототехника. – 2006. – № 2. – С. 36 – 52.
5. Волянский С. М. Синтез математической модели системы ДРК ПА как объекта управления. [Текст] / С. М. Волянский // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК. – 2014. – № 6. – С. 35 – 39.
6. Волянский С. М. Синтез законов управления САУ двигатель-рулевым комплексом при горизонтальном прямолинейном движении подводного аппарата. [Текст] / С. М. Волянский // Зб. наук. праць НУК. – Миколаїв : НУК. – 2015. – № 8. – С. 44 – 47.
7. Волянский С. М. Проверка адекватности математической модели двигатель-рулевого комплекса подводного аппарата [Текст] / С. М. Волянский // Электротехнические и компьютерные системы. – К. : Техника. – 2011. – Вып. 3(79). – С. 240 – 241.
8. Волянский С. М. Анализ энергоэффективности системы управления двигателями подводного аппарата методом компьютерного моделирования [Текст] / С. М. Волянский // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Кременчуг : – 2012. – № 3(19). – С. 472 – 474.

9. Король Ю. М. Влияние гидродинамических потерь на механические характеристики капсулированных управляемых асинхронных двигателей подводных аппаратов [Текст] / Ю. М. Король // Сб. науч. трудов – Николаев : НУК, 2004. – № 6. – С. 15 – 24.

10. Mann G.K.I., Bao-Gang Hu, and Gosine R.G. Analysis of direct action fuzzy PID controller structures [Text], *ICEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Part B, 1999, Vol. 29, pp. 371 – 378.

Получено 25.05.2015

References

1. Ageev M.D. Uproshchennaya metodika rascheta dvizhiteley dlya APA [Simplified Methodology of Calculation of Motive Steering for ASA], (1995), Vladivostok, Russian Federation, *Dalnauka*, pp. 33 – 49 (In Russian).

2. Blintsov V.S., Kostenko D.V., and Shimchak P. Opredelenie poter v pogruzhnom elektroprivode podvodnogo apparata. [Determination of Losses in the Submerge Electromechanic of Submarine Vehicle], (2001), *Visnik Natsionalnogo Tekhnichnogo Universitetu "Kharkivskiy Politekhnichniy Institut"*, Kharkiv, Ukraine, Vol. 10, pp. 410 – 411 (In Russian).

3. Blintsov S.V. Onlayn-identifikatsiya parametrov podvodnogo aparata yak nestatsionarnogo ob'ekta v sistemi keruvannya na bazi inversnoi modeli [On-line-authentication of Parameters of Submarine Vehicle as a Non-stationary Object in Control System on the Base of Inverse Model], (2012), Mikolaïv, Ukraine, *Visnik NUK*, <http://ev.nuos.edu.ua> (accessed 01.10.2012) (In Ukrainian).

4. Bocharov L.Yu. Sovremennye tendentsii v razvitii miniatyurnykh podvodnykh apparatov i robotov za rubezhom [Modern Tendencies in Development of Miniature Submarine Vehicles and Robots Abroad], (2006), Russian Federation, *Podvodnye Issledovaniya i Robototekhnika*, Vol. 2, pp. 36 – 52 (In Russian).

5. Volyanskiy S.M. Sintez matematicheskoy modeli sistemy DRK PA kak obekta upravleniya. [Synthesis of Mathematical Model of the System MSC SE as a Management Object.], (2014), Mikolaïv, Ukraine, *Zb. Nauk. Prats NUK*, Vol 6, pp. 35 – 39 (In Russian).

6. Volyanskiy S.M. Sintez zakonov upravleniya SAU dvizhitelno-rulevym kompleksom pri gorizontalnomy pryamolineynom dvizhenii podvodnogo apparata. [Synthesis of Laws of Management of SAC by a Motive Steering Complex at the Rectilinear Platforming of Submarine Vehicle.], (2015), Mikolaïv, Ukraine, *Zb. Nauk. Prats NUK*, Vol. 8, pp. 44 – 47 (In Russian)

7. Volyanskiy S.M. Proverka adekvatnosti matematicheskoy modeli dvizhitelno-rulevogo kompleksa podvodnogo apparata [Verification of Adequacy of Mathematical Model of Motive Steering Complex of Submarine Vehicle], (2011), Odessa, Ukraine, *Naychno-Tekhnicheskyy Zhurnal ONPU*, Vol. 3, pp. 240 – 241 (In Russian).

8. Volyansky S.M. Analiz energoeffektivnosti sistemy upravleniya dvizhiteleyami podvodnogo apparata

metodom kompjuternogo modelirovaniya [Analysis of Energy to Efficiency of Control System Motors of Submarine Vehicle by the Method of Computer Simulated], (2012), Kremenchug, Ukraine, *Problemy Avtomatizirovannogo Elektroprivoda*, Vol. 3(19), pp. 472 – 474 (In Russian).

9. Korol Yu.M. Vliyanie gidrodynamiceskikh poter na mekhanicheskie kharakteristiki kapsulirovannykh upravlyaemykh asinkhronnykh dvigateley podvodnykh apparatov [Influence of Hydrodynamic Losses on Mechanical Descriptions Capsule of the Guided Asynchronous Engines of Submarine Vehicles], (2004), Mykolayiv, Ukraine, *Zb. Nauk. Prats NUK*, Vol. 6, pp. 15 – 24 (In Russian).

10. Mann G.K.I., Bao-Gang Hu, and Gosine R.G., (1999), Analysis of Direct Action Fuzzy PID Controller Structures, *ICEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, Part B, Vol. 29. pp. 371 – 378 (In English).



Волянский
Сергей Михайлович,
преподаватель каф. электрооборудования судов и информационной безопасности Нац. ун-та кораблестроения им. адмирала Макарова. 54058, г. Николаев, ул. Лазурная, 4-А, кв. 121,
тел. +38(067) 9816094.
E-mail: ffogres@yandex.ru



Волянская
Яна Богдановна,
к.т.н., доцент,
доц. каф. электрооборудования судов и информационной безопасности Нац. ун-та кораблестроения им. адмирала Макарова. 54058, Николаев, ул. Лазурная, 4-А, кв. 121,
тел: +38(067)7981870.
E-mail: yanavolyaskaya@yandex.ru