

УДК 681.52 : 629

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ФУНКЦІЙ ПРИНАЛЕЖНОСТІ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА НА ДИНАМІКУ ПІДВОДНОГО АПАРАТА

© Блінцов С., 2003

Проведено математичне моделювання руху підводного апарата у товщі води за вертикальною віссю. Розглянуто вибір параметрів нечіткого регулятора для керування таким рухом. Наведено результати моделювання і показано ефективність застосування різних видів функцій приналежності нечітких регуляторів.

The mathematical modeling of ROV motion in water column on vertical axis is conducted. The selection of fuzzy regulator parameters for such motion is considered. The modeling results are adduced and the application efficiency of different types of fuzzy regulators membership functions is shown.

Підводний апарат (ПА) – це автономний або неавтономний (керований по кабелю) морський рухомий об'єкт, що працює в автоматичному режимі або під керуванням людини-оператора [1]. Автоматичний режим є найбільш складним для проектування системи керування, оскільки повинен забезпечувати траєкторний рух і позиціонування ПА у складних умовах експлуатації – наявності значних збурень зовнішнього середовища, складного рельєфу морського дна тощо [2].

У більшості сучасних ПА рушії (гребні гвинти) мають електричний привод – електродвигуни постійного чи змінного струму. Причому кожний регульований ступінь свободи ПА як твердого тіла у воді має не менше одного виконавчого механізму типу "гребний електродвигун – редуктор – валопровід – гвинт" [3]. Традиційно системи керування рухом ПА будуються як системи керування гребними електродвигунами (ГЕД) з ПД- або ПІД-регуляторами [4], що не забезпечує ефективного керування під час руху ПА по заданій просторовій траєкторії у товщі води та при позиціонуванні в умовах активної дії зовнішніх сил збурення, а також при зміні гідродинамічних та механічних характеристик ПА протягом його експлуатації.

Більш ефективними є адаптивні системи автоматичного керування рухом ПА [2, 4, 5]. Проте вони вимагають використання складних математичних моделей динаміки просторового руху ПА в умовах зовнішніх збурень, що суттєво ускладнює технічну реалізацію таких систем [4,5]. Окрім того, точність траєкторного руху ПА середнього класу не перевищує 0,5 метра, а точність його позиціонування в точці – 0,1 метра [6]. Така точність сьогодні не забезпечує успішного виконання широкого кола підводно-технічних задач і робить актуальною задачу удосконалення систем керування ПА. Для керування рухомими об'єктами з високою точністю доцільно застосовувати сучасні

методи керування, які не потребують використання складних математичних моделей об'єктів керування. До них належать методи, які використовують нечітку логіку при реалізації окремих регуляторів або систем керування рухомими об'єктами загалом [7]. Розглянемо особливості побудови системи керування ПА з нечітким регулятором (НР) на прикладі виконавчого механізму вертикального гребного гвинта ПА, який забезпечує керований рух вздовж його вертикальної осі z .

Оскільки сьогодні немає чіткої математичної теорії щодо вибору виду і параметрів функцій приналежності, дослідження виконаємо методом математичного моделювання для декількох варіантів цих функцій.

Структурна схема системи керування ПА з НР має такий вигляд, рис. 1.

Розглянемо випадок застосування в ПА гребного електродвигуна постійного струму з незалежним збудженням. Зазначимо, що незалежно від типу електродвигуна і детальності опису його математичної моделі для даного об'єкта методика

розробки і настроювання нечіткого регулятора залишається незмінною [8]. Математична модель об'єкта керування – підводного апарата може бути подана наступною системою диференціальних рівнянь [9]:

$$L \frac{di}{dt} = K_u u_z - R_y i - c \Phi \omega; \quad J \frac{d\omega}{dt} = M_{aa} - I_o = c \Phi i - k_M \omega^2;$$

$$T_z \frac{dV_z}{dt} = F_{av} - F_z = k_F \omega^2 - k_z V_z^2; \quad \frac{dh}{dt} = V_z,$$

де i – миттєве значення струму якоря ГЕД; u_z – керівний сигнал регулятора напруги вертикального ГЕД, величина якого виробляється нечітким регулятором; K_u – коефіцієнт підсилення регулятора напруги ГЕД; ω – частота обертання ротора ГЕД; L, R, c, Φ – відомі параметри ГЕД; J – приведений момент інерції системи "гребний електродвигун – редуктор – валопровід – гвинт"; M_{aa}, M_T – рушійний та гальмівний моменти ГЕД;

$k_M = \frac{\rho K_M D^5 k_\rho^3}{4\pi^2}$ – коефіцієнт гальмівного моменту ГЕД, який можна вважати постійним для конкретного апарата [3]; ρ – питома щільність води; K_M, D – коефіцієнт форми і діаметр гребного гвинта; k_ρ – коефіцієнт передачі редуктора; T_z – постійна часу ПА по осі z ; F_{av} – рушійна сила гребного гвинта; F_z – сила опору середовища за

вертикальною віссю; $k_F = \frac{\rho K_F D^4 k_\rho^2}{4\pi^2}$ – коефіцієнт рушійної сили, який можна вважати

постійним [10]; K_F – коефіцієнт форми зовнішнього корпусу ПА; $k_z = \frac{\rho C_z \Omega}{2}$ – коефіцієнт сили опору води, який можна вважати постійним; C_z – гідродинамічний коефіцієнт



Рис. 1. Структура системи керування з нечітким регулятором: h_s – задана висота руху ПА над ґрунтом; h – фактична висота руху ПА над ґрунтом; e, e', e'' – похибка керування та її похідні; u – керівний вплив

корпусу ПА за вертикальною віссю; Ω – площа змоченої поверхні зовнішнього корпусу ПА; V_z – поточна швидкість руху ПА за віссю z .

Як видно, навіть спрощена система має високий порядок і низку нелінійностей, тому для керування рухом ПА з підвищеною точністю доцільно застосовувати сучасні методи керування на базі нечіткої логіки.

Виконаємо синтез нечіткого контролера системи керування з використанням методик і рекомендацій, викладених в [8,11]. Над вхідними змінними за допомогою відповідних функцій приналежності (ФП) проводиться операція фазифікації (приведення до нечіткості). На основі отриманих нечітких значень та бази правил робиться логічний висновок та отримується нечітке значення вихідної змінної за кожним правилом. Далі над цими значеннями проводиться дефазифікація (приведення до чіткості) і отримується чітке значення вихідної змінної – керівного впливу u_z .

Вхідною змінною НР є похибка керування $e = (h_z - h)$, а також, у більшості випадків, одна або дві її похідні. Вихідною змінною НР є сигнал u_z , який задає величину напруги живлення ГЕД.

У теорії нечіткої логіки не існує обмежень на форму та кількість ФП. Традиційними формами є трикутна та сигмоїдальна, а кількість ФП обирається відповідно до конкретної задачі та досвіду розробника (рис.2).

Розглянемо випадок застосування функції приналежності у формі 7 трикутників, рис. 2,а. У випадках $x > x_{\max}$ та $x < x_{\min}$ будемо вважати $x = x_{\max}$ та $x = x_{\min}$ відповідно.

База правил буде містити 7 правил:

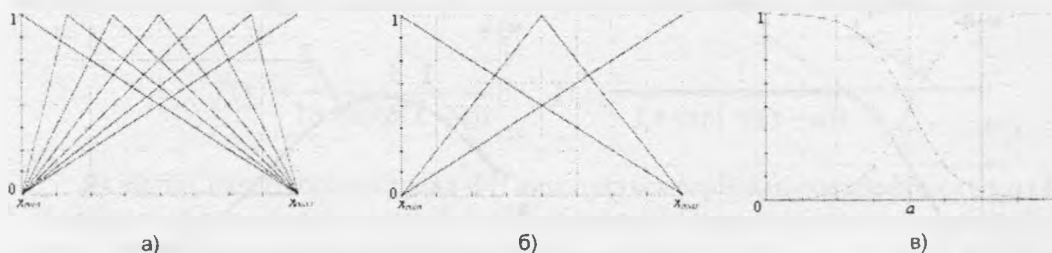


Рис.2. Функції приналежності нечіткого регулятора

- якщо похибка негативна велика і похідна похибки негативна велика, то напруга живлення негативна велика.
- якщо похибка негативна середня і похідна похибки негативна середня, то напруга живлення негативна середня.
- ...
- якщо похибка позитивна велика і похідна похибки позитивна велика, то напруга живлення позитивна велика.

Налагодження таких ФП здійснюється вибором діапазонів регулювання $[x_{\min}, x_{\max}]$ вхідних змінних НР. Оскільки у нашому випадку регулятор має бути симетричним відносно нуля, тобто $x_{\min} = -x_{\max}$, то для налагодження регулятора будемо мати два змінні параметри – x_{\max} для вхідної змінної "похибка керування" і $x_{2\max}$ для вхідної змінної "похідна похибки керування". Конкретні значення цих параметрів підбираються так, щоб забезпечити необхідний вигляд перехідних процесів, якими було обрано найбільш характерні режими вертикального руху ПА – підйом апарата на

заданий рівень (1 м) і рух апарата за синусоїдальною траєкторією, що лежить у вертикальній площині.

Для моделювання використовувався пакет *MATLAB*, оскільки він має зручний інструмент для моделювання *HP* – прикладний пакет *Fuzzy Logic Toolbox*. У результаті підбору вказаних вище параметрів були отримані характеристики, показані на рис. 3.

Подальше моделювання показало, що при виборі функцій приналежності для вхідних і вихідних змінних *HP* у формі трьох трикутників (рис. 2,б) вихід нечіткого регулятора (керуючий сигнал системи) і вигляд перехідних процесів практично не змінюються. Але такий регулятор має більш високу швидкодію та потребує меншого обсягу оперативної пам'яті, що особливо важливо при його практичній реалізації на базі існуючих мікроконтролерів.

Також було проведено моделювання системи з трьома вхідними змінними – похибкою керування, її першою і другою похідними. При цьому не вдалося суттєво покращити результати роботи системи керування. Тому введення третьої вхідної змінної вважаємо недоцільним, оскільки це ускладнює структуру *HP* і знижує його швидкодію.

Зазначимо, що у всіх розглянутих вище структурах використовувалася традиційна для нечіткої логіки модель нечіткого регулятора – контролер Мамдані [12]. Для подальшого моделювання розглянемо використання іншої моделі – контролера Сугено [12] з традиційними для такої моделі сигмоїдальними функціями приналежності (рис. 2,в), що описуються рівняннями:

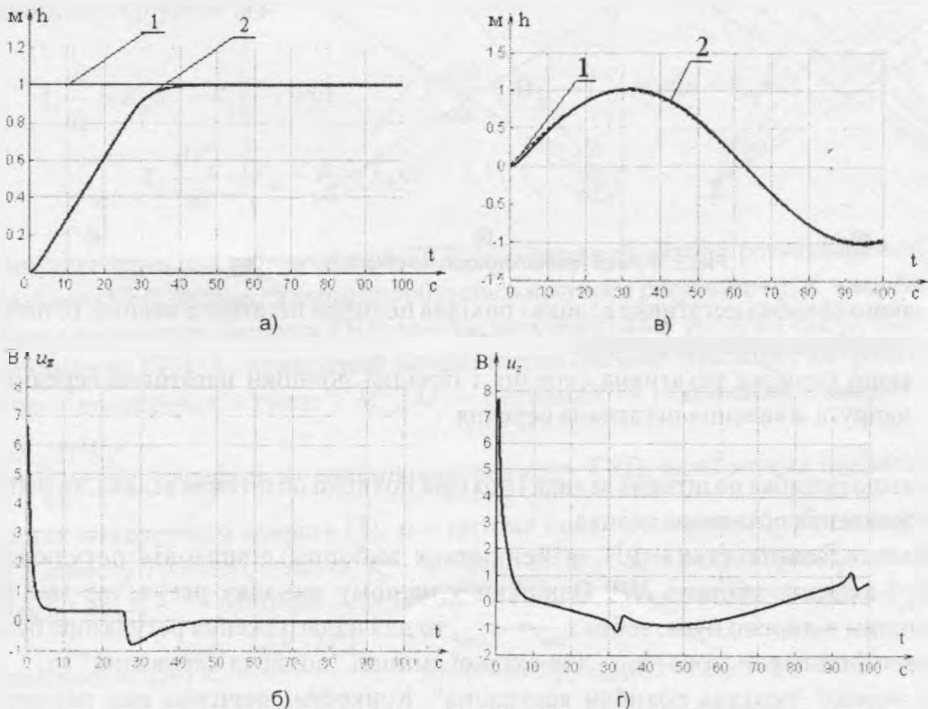


Рис. 3. Керування вертикальним рухом ПА, регулятор з 7 трикутними ФП:

1 – задана траєкторія; 2 – фактична траєкторія; а, б – рух ПА при зміні висоти над ґрунтом та його керівний сигнал; в, г – рух ПА при зміні висоти по синусоїдальному закону та його керівний сигнал

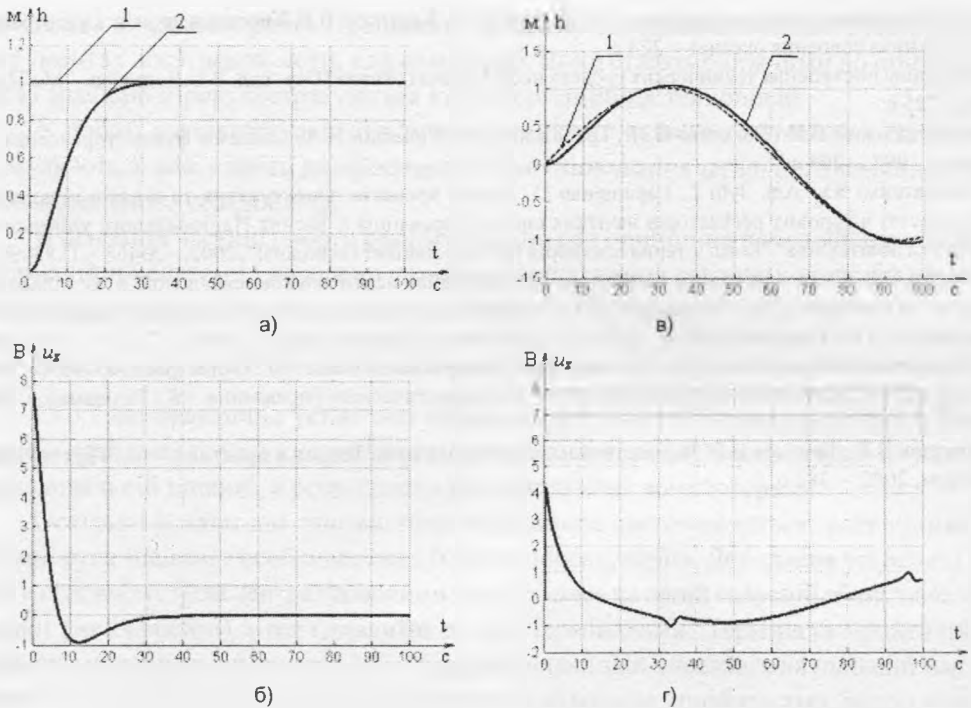


Рис. 4. Керування вертикальним рухом ПА, регулятор з сигмоїдальними ФП:

1 – задана траєкторія; 2 – фактична траєкторія; а, б – рух ПА при зміні висоти над ґрунтом та його керівний сигнал; в, г – рух ПА при зміні висоти по синусоїдальному закону та його керівний сигнал

$$f(x) = \frac{1}{1 + \exp(b(x - a))}; \quad f(x) = \frac{1}{1 + \exp(-b(x - a))}$$

Як видно, налагодження таких ФП виконується варіюванням коефіцієнтів a і b . У нашому випадку керування має бути симетричним у позитивний і негативний бік, тому $a = 0$. Залишається налагодження b для кожної вхідної змінної. У результаті моделювання і підбору цих коефіцієнтів було отримано характеристики, показані на рис.4.

Очевидно, що останній варіант є найбільш оптимальним за швидкодією, оскільки має менший час перехідного процесу та похибку усталеного процесу, не більшу від похибки HP з трикутними ФП.

У результаті проведеного дослідження можна зробити висновок, що для системи керування рухом ПА (принаймні його вертикальною складовою) доцільно використовувати нечіткий регулятор на базі моделі Сугено з сигмоїдальними функціями приналежності, оскільки він забезпечує більш високу швидкодію, ніж контролер на базі моделі Мамдані з трикутними функціями приналежності.

1. Мия П. Подводные инженерные исследования – Л.: Судостроение, 1984. – 344 с.

2. Хмельнов И.Н., Турмов Г.П., Илларионов Г.Ю. Необитаемые подводные аппараты. – Владивосток, ДВГТУ. 1996. – 256 с.

3. Блинцов В.С. Привязные подводные системы – К.: Наукова думка. 1998. – 232 с.

4. Ястребов В.С., Горлов А.А., Симинский В.В. Электроэнергетические установки подводных аппаратов. – Л.: Судостроение. 1986. – 208 с.

5. Автоматические подводные аппараты / М.Д. Агеев, Б.А. Касаткин, Л.В. Киселев и др. – Л.: Судостроение, 1981 (Техника освоения океана). – 224 с.
6. Принципы построения технических средств исследования океана / Отв. ред. В.С. Ястребов – М.: Наука, 1992. – 325 с.
7. Архангельский В.И., Богаенко И.Н., Грабовский Г.Г., Рюмшин Н.А. Системы функции-управления. К.: Техника, 1997. – 208 с.
8. Кондратенко Ю., Аль Зубі І., Гарашенко О. Аналіз процесів проектування та шляхів підвищення ефективності цифрових регуляторів нечітких систем управління // Вісник Національного університету "Львівська політехніка" "Комп'ютерна інженерія та інформаційні технології", 2002, – №468. – С.83–90.
9. Блінцов С.В. Синтез нечіткого регулятора для керування вертикальною складовою руху підводного апарата // Автоматика-2003: Матеріали 10-ї міжнародної конференції по автоматичному управлінню, м. Севастополь, 15-19 вересня 2003 р.: в 3-х т. – Севастополь: Вид-во СевНТУ, 2003. – Т. 2. – С. 119–120.
10. Справочник по теории корабля / Под ред. Я.И.Войткунского. Том I. – Л.: Судостроение, 1985. – 768 с.
11. Гостев В.И. Синтез нечетких регуляторов систем автоматического управления. – К.: Радиоаматор, 2003. – 512 с.
12. Круглов В.В., Борисов В.В. Искусственные нейронные сети. Теория и практика. – М.: Горячая линия - Телеком, 2002. – 382 с.

Б. Демида, Д. Пелешко, М. Пасека, Б. Садов'як, О. Маханов, Д. Вачасв
 Національний університет "Львівська політехніка"

УДК 681.142.2

ПРОЕКТУВАННЯ БАГАТОРІВНЕВОЇ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ РОЗПОДІЛЕНИХ БІЗНЕС-СИСТЕМ

© Демида Б., Пелешко Д., Пасека М., Садов'як Б., Маханов О., Вачасв Д., 2003

Пропонується проект багаторівневої платформи для інформаційно-аналітичної розподіленої комп'ютерної системи управління та ведення бізнес-діяльності. Проведено декомпозицію системи. Детально розроблено базовий сервер системи.

There is proposed project of five level platform for information, analytical distributed, computer system for control and management of big business. The decomposition of proposed system is realized. The base system server is designed in detail.

Вступ

Сучасні інформаційні технології стають все більше орієнтованими на забезпечення ефективного середовища для виконання бізнес-процесів корпорацій. Інформаційна система поступово перетворюється зі зручного інструмента в невід'ємне сере-