

ОПТИМІЗАЦІЯ БАЗИ ПРАВИЛ НЕЧІТКОГО РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ОСАДКОЮ ПЛАВУЧОГО ДОКУ

Ю. П. Кондратенко¹, О. В. Козлов², А. М. Топалов²

¹Чорноморський національний університет імені Петра Могили

²Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

Анотація. В статті наведено розроблену авторами систему автоматичного керування осадкою плавучого доку на базі нечіткого регулятора. В якості регулятора застосовується нечіткий ПД-регулятор Мамдані-типу, для якого з метою спрощення програмно-апаратної реалізації здійснено оптимізацію бази правил. Проведено аналіз показників якості розробленої системи керування з використанням нечіткого та традиційного ПД-регуляторів осадки плавучого доку.

Ключові слова: плавучий док; система автоматичного керування осадкою; нечіткий регулятор; база правил; оптимізація.

Вступ

Судноремонтні підприємства в різних країнах світу постійно поповнюються новими суднопідйомними спорудами з метою задоволення зростаючих потреб в докуванні суден. Найбільш широко розповсюджені серед таких споруд є плавучі доки, які, не дивлячись на свою складність і більш високу експлуатаційну вартість, є основним засобом підйому та ремонту корпусів суден. Особливо це актуально останнім часом, оскільки нові передові технології композитного будівництва дозволяють знизити первісну ціну і строки побудови плавучих доків.

Докові операції плавучого доку представляють собою складні відповідальні процеси [1]. Плавучий док повинен мати достатню остійність в будь-якому положенні при зануренні (спливанні) з судном чи без нього, а загальна і місцева міцність повинні виключати можливість деформації судна і доку. Складність сучасних плавучих доків, як технологічних об'єктів, обумовлює необхідність розробки спеціалізованих систем керування для реалізації докових операцій в автоматичних режимах.

В даний час добре розвинений математичний апарат теорії автоматичного управління складними технічними об'єктами [2 – 5], розроблено велику кількість методів розрахунку і налаштування класичних ПД-регуляторів, а також синтезу різномісних замкнутих систем автоматичного управління (САК). Однак побудувати ефективну систему керування для такого складного динамічного об'єкту як плавучий док, що має певні нелінійні властивості, є досить складною на сьогоднішній день задачею, що потребує

застосування методів і засобів інтелектуального керування. Аналіз сучасних інтелектуальних методів та підходів до автоматизації складних об'єктів керування показує доцільність вирішення даної задачі на основі застосування теорії нечітких множин та нечіткої логіки [6,7].

На даний момент вже розроблені функціональна структура та математичні моделі нечіткої САК осадкою плавучого дока [8,9]. Також, в роботі [8] проведений синтез та параметрична оптимізація нечіткого регулятора даної системи на основі бажаних перехідних процесів. Що стосується структурної оптимізації нечіткого регулятора САК плавучим доком, зокрема редукції його бази правил з метою спрощення програмно-апаратної реалізації, то це питання на даний час залишається не вирішеним і потребує проведення певних наукових досліджень.

Метою даної статті є оптимізація бази правил нечіткого регулятора системи автоматичного керування осадкою плавучого доку для спрощення її програмно-апаратної реалізації.

1. Функціональна структура нечіткої системи автоматичного керування осадкою плавучого доку

Для виконання плавучим доком операцій занурення та спливання авторами розроблено систему автоматичного керування осадкою плавучого доку, що має баластну систему з 4 розподільними коробками і 20 баластними танками (БТ) [1,9]. Функціональна структура даної САК представлена на рис. 1.

На рис. 1 прийнято наступні позначення: ЕКРК(РТ₁), ... ЕКРК(РТ₄) – елементи керування розподільних коробок з розгалуженими трубопроводами; БКК – блок керування клінкетами; КД – корпус плавучого доку; $R_{нпд}$ – сила навантаження плавучого доку від судна; КРТ_{1,1}, ...,

$KPT_{4,5}$ – клінкети складових розгалуженого трубопроводу $PT_{1,1}, \dots, PT_{4,5}$; u_P – сигнал керування осадкою; $u_{KPT_{1,1}}, \dots, u_{KPT_{4,5}}$ – сигнали керування $KPT_{1,1}, \dots, KPT_{4,5}$; $Q_{НБТ1}, \dots, Q_{НБТ20}$ – витрати баластної рідини при наповненні на входах BT_1, \dots, BT_{20} ; $Q_{СБТ1}, \dots, Q_{СБТ20}$ – витрати баластної рідини при спустошенні на виходах BT_1, \dots, BT_{20} ; $S_{ЗРТ1,1}, \dots, S_{ЗРТ4,1}$ – площини задіяних поверхонь затворів в трубопроводах $PT_{1,1}, \dots, PT_{4,5}$; $m_{БТ1}, \dots, m_{БТ20}$ – маса баластної рідини кожного $BT_1, \dots,$

BT_{20} , $БІ$ – блок інверсії; $БО1, БО2$ – блоки обмеження; $ВРК$ – верхній рівень керування; $ЗП$ – задавальний пристрій; $НР$ – нечіткий регулятор; $БФ$ – блок фазифікації; $БНВ$ – блок нечіткого виведення; $БД$ – блок дефазифікації; ϵ_x – помилка керування; k_P, k_D, k_U – коефіцієнти пропорційності. $ДО$ – датчик осадки; x_3, x_0 – задавальне і реальне контрольоване значення осадки; $u_{ЗП}, u_{НР}, u_{БІ}, u_{БО1}, u_{БО2}, u_{ДО}$ – вихідні сигнали $ЗП, НР, БІ, БО1, БО2$ та $ДО$, відповідно.

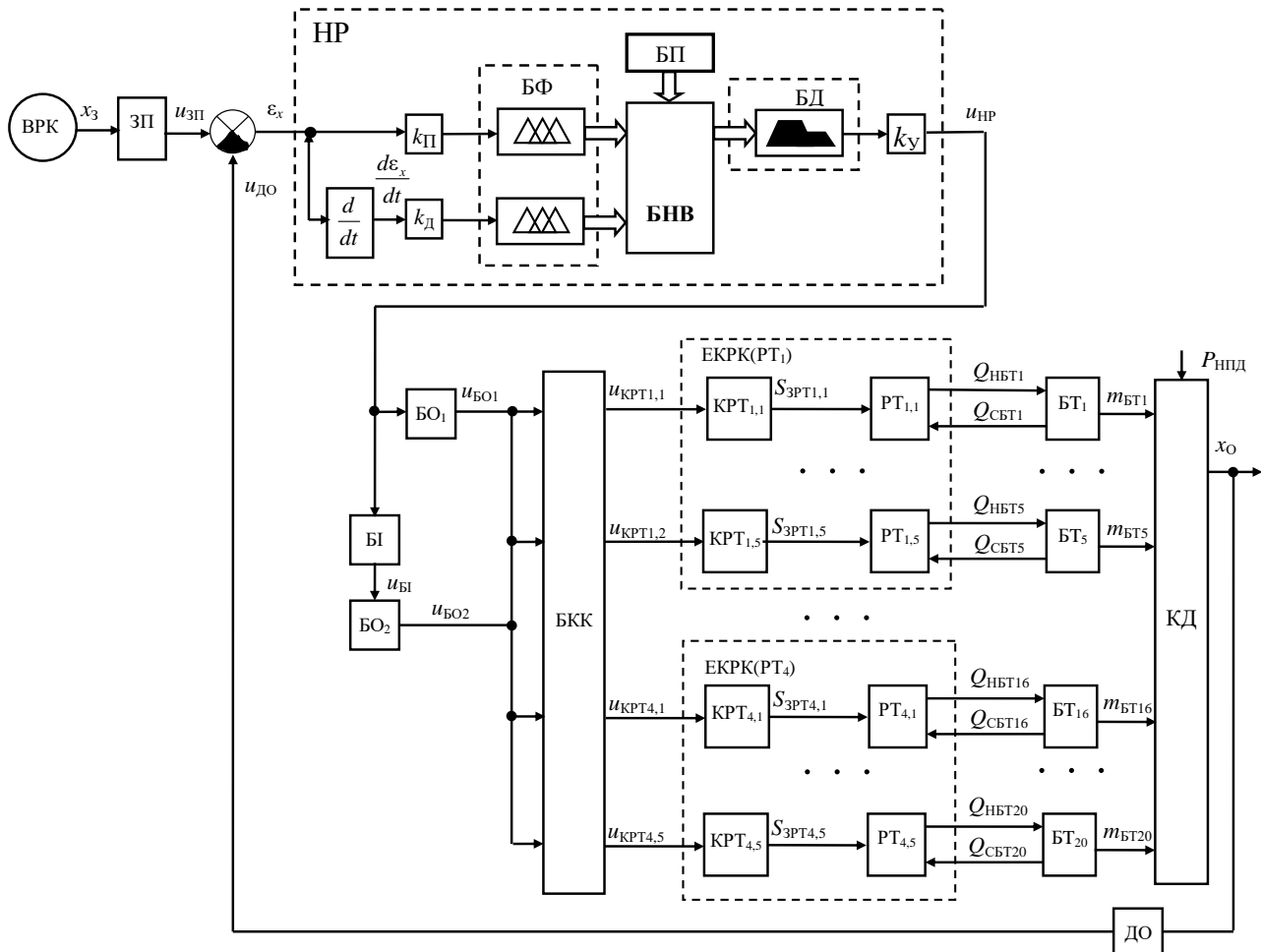


Рис. 1. Функціональна структура узагальненої системи автоматичного керування осадкою плавучого доку з нечітким регулятором

Задане значення осадки плавучого доку x_3 задається за допомогою ЗП, а реальне значення осадки x_0 вимірюється датчиком осадки ДО, який формує відповідний сигнал $u_{ДО}$. Сигнал від ЗП $u_{ЗП}$, що відповідає заданому значенню осадки плавучого доку x_3 , і сигнал $u_{ДО}$, що відповідає реальному значенню осадки плавучого доку x_0 , надходять через суматор до нечіткого регулятора осадки НР. НР облаштований блоком інверсії БІ і блоками обмеження $БО1, БО2$. Суматор порівнює сигнали $u_{ЗП}$ та $u_{ДО}$ і формує значення помилки керування осадкою $\epsilon_x = u_{ЗП} - u_{ДО}$. НР, в свою чергу, формує сигнал керування $u_{НР}$ на основі помилки ϵ_x відповідно до закону керування і передає

його на блок інверсії БІ та блоки обмеження $БО1, БО2$. Блок інверсії перетворює сигнал НР $u_{НР}$ в інвертований сигнал $u_{БІ}$. Блоки обмеження $БО1, БО2$ пропускають тільки позитивні сигнали $u_{БО1}$ і $u_{БО2}$, які потім подаються на блок керування клінкетами БКК.

2. Нечіткий ПД-регулятор системи автоматичного керування осадкою плавучого доку

Відомо, що для досягнення високих показників якості керування об'єктами з нелінійними, нестационарними і невизначеними параметрами доцільно застосовувати

інтелектуальні регулятори на основі нечіткої логіки і нейронних мереж [6]. В багатьох випадках САК з нечіткими регуляторами забезпечують більш високу якість керування, ніж системи, що застосовують традиційні методи керування [7]. У даній роботі представлено застосування нечіткого контролера осадки типу Мамдані.

Так як плавучий док є об'єктом керування без автостабілізації, то в якості НР доцільно використовувати саме нечіткий ПД-регулятор осадки.

Сигнал помилки керування осадкою ϵ_x і його похідна $\frac{d\epsilon_x}{dt}$ перемножуються на коефіцієнти k_P і k_D , а потім передаються на входи нечіткого ПД-регулятора. Причому вихідний сигнал керування $u_{НР}$ попередньо перемножується на коефіцієнт k_U .

В даній роботі використовується НР, що має по 5 лінгвістичних термів (ЛТ) для кожної з 3-х (2 вхідних та вихідної) змінних.

Всі лінгвістичні терми LT_i^k , ($i \in \{1...5\}$, $k \in \{1...3\}$) мають трикутну форму функцій належності, зокрема, для двох входів ($k \in \{1,2\}$) і одного виходу ($k = 3$) даного нечіткого ПД-регулятора:

$$LT_i^k = (c_i^k - b_i^{k-}, c_i^k, c_i^k + b_i^{k+}), \quad (1)$$

$(i \in \{1...5\}, k \in \{1...3\})$

де $c_i^k, b_i^{k-}, b_i^{k+}$ – три параметри функції належності нечіткого трикутного числа, які характеризують всі вершини ki -го трикутного лінгвістичного терма LT_i^k ; i – номер терму; k – номер змінної.

Параметри функцій належності ЛТ вхідних і вихідної змінних нечіткого ПД-регулятора осадки оптимізовано на основі бажаних перехідних процесів керування осадкою із застосуванням градієнтних методів параметричної оптимізації [8,10,11]. Оптимізовані ЛТ представлені на рис. 2, де прийняті наступні позначення: BN – великий від'ємний; SN – малий від'ємний; Z – нульовий; SP – малий додатний; BP – великий додатний.

Загальна кількість правил в даному випадку становить 25. Кожне правило синтезованої бази правил (БП) є лінгвістичним твердженням, яке представлено виразом (2)

$$\text{ЯКЩО } " \epsilon_x = x " \text{ І } " \frac{d\epsilon_x}{dt} = y " \text{ ТО } " u_{НР} = z ", \quad (2)$$

де x, y, z – відповідні лінгвістичні терми.

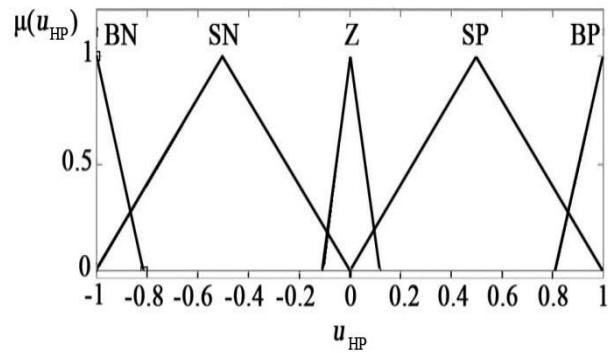
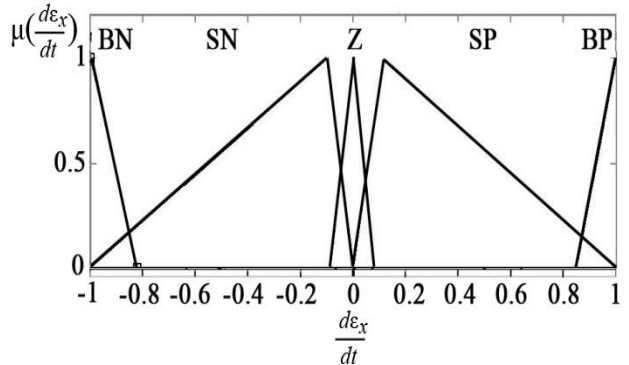
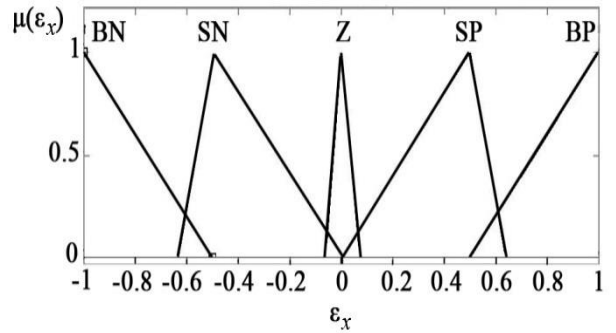


Рис. 2. Зовнішній вигляд ЛТ вхідних і вихідної змінних нечіткого ПД-регулятора осадки

База правил нечіткого ПД-регулятора, представлена у таблиці 1.

Таблиця 1.

База правил нечіткого ПД-регулятора осадки

		Швидкість зміни помилки, $d\epsilon/dt$				
		BN	SN	Z	SP	BP
Помилка, ϵ	BN	BN	BN	BN	BN	SN
	SN	BN	BN	BN	SN	SN
	Z	SN	SN	Z	SP	SP
	SP	SP	SP	BP	BP	BP
	BP	SP	BP	BP	BP	BP

На рис. 3 представлена характеристична поверхня нечіткого ПД-регулятора осадки.

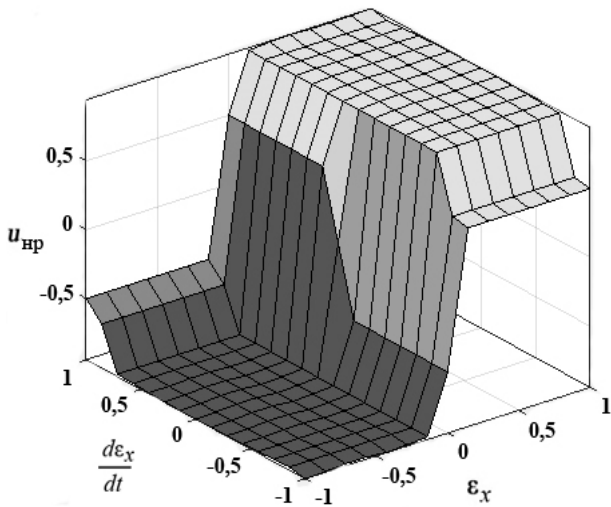


Рис. 3. Характеристична поверхня нечіткого ПД-регулятора осадки

3. Оптимізація бази правил нечіткого ПД-регулятора осадки

Для удосконалення запропонованого нечіткого ПД-регулятора осадки з точки зору зменшення часу обробки даних рекомендується здійснити процедуру редукції бази правил [12]. Дана редукція являє собою свого роду оптимізацію бази правил за рахунок скорочення числа правил при тій же ефективності керування, що дає можливість спростити реалізацію апаратного і програмного забезпечення розробленого нечіткого ПД-регулятора осадки.

Процедура структурної оптимізації бази правил нечіткого ПД-регулятора осадки складається з (а) визначення ступеня впливу правил БП на вихідний сигнал нечіткого ПД-регулятора осадки $u_{нр}$, (б) побудови відповідного ранжированого ряду правил \mathbf{R} за зменшенням ступеня впливу, а також (в) виключення з бази правил тих правил, вплив яких на формування сигналу $u_{нр}$ є несуттєвим [13,14].

Визначення ступеня впливу правил на вихідний сигнал $u_{нр}$ доцільно здійснювати на основі розрахунку зміни ступеня істинності правил в процесі керування $\mu^R(t)$ та оціночного функціоналу $G[\mu^R(t)]$, аргументом якого є параметр $\mu^R(t)$ [13].

Зміна ступеня істинності $\mu^R(t)$ r -ого правила в процесі керування виражається функцією (4) від часу t

$$\mu_r^R(t) = \prod_{k=1}^{n-1} \mu_k^r(X_k(t)) = \inf_{k=1}^{n-1} \mu_k^r(X_k(t)), \quad (3)$$

де μ_k^r – результат фазифікації k -ого вхідного сигналу нечіткого ПД-регулятора X_i ($i = 1, \dots, n-1$) відповідним лінгвістичним термом r -ого правила, n – загальна кількість вхідних і вихідної змінних НР.

Оціночний функціонал $G_r[\mu_r^R(t)]$ [13] впливу r -ого правила на процес керування, в свою чергу, розраховується за виразом (4)

$$G_r[\mu_r^R(t)] = \frac{1}{t_{\max}} \int_0^{t_{\max}} \inf_{k=1}^{n-1} \mu_k^r(X_k(t)) dt. \quad (4)$$

При цьому моделювання автоматичної системи при розрахунку зміни ступенів істинності $\mu^R(t)$ та оціночних функціоналів $G[\mu^R(t)]$ правил на інтервалі часу від 0 до t_{\max} доцільно проводити для всіх можливих режимів функціонування (при різнотипних ступінчатих та плавно наростаючих вхідних і збурювальних впливах). Крім того, моделювання перехідних процесів здійснюється для плаваючого доку середнього класу вагою 9253 тон та вантажопідйомністю 8500 тон. Максимальна вага встановленого в плаваючому доку судна складає 8400 тон. При моделюванні враховано, що занурення плаваючого доку з судном відбувається внаслідок заповнення баластних танків природнім шляхом (внаслідок дії сили тяжіння на плаваючий док при відкритих забортних клінкетах для прийому рідини), а спливання – внаслідок спустошення баластних танків за допомогою відцентрового насоса (видалення рідини з плаваючого доку через отвори для відливу).

На рис. 4 показана діаграма оціночних функціоналів $G_r[\mu_r^R(t)]$ впливу на процес керування всіх правил нечіткого ПД-регулятора осадки.

Ранжований ряд \mathbf{R} правил складається з всіх правил нечіткого ПД-регулятора осадки, розташованих в порядку зменшення відповідних значень розрахованого оціночного функціоналу $G_r[\mu_r^R(t)]$: $\mathbf{R} = \{23, 3, 8, 18, 13, 12, 14, 9, 7, 19, 17, 4, 2, 24, 22, 1, 5, 6, 10, 11, 15, 16, 20, 21, 25\}$.

Виключення правил, вплив яких на формування вихідного сигналу $u_{нр}$ є несуттєвим, доцільно здійснювати послідовно по одному правилу (починаючи з кінця побудованого ранжированого ряду \mathbf{R}) до певного оптимального значення їх кількості, при якому показники якості автоматичної системи керування осадки будуть залишатися в допустимих межах.

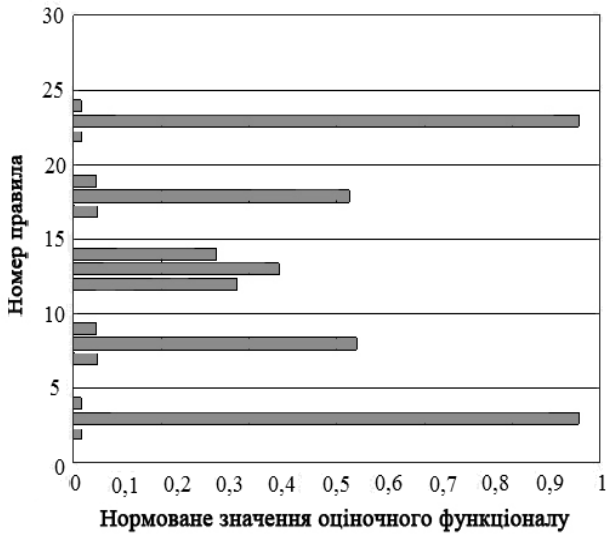


Рис. 4. Вплив правил нечіткого ПД-регулятора осадки

З рис. 4 видно, що оціночний функціонал $G_r[\mu_r^R(t)]$ для деяких правил дорівнює нулю, або дуже малим значенням, а отже ці правила практично не беруть участі в процесі нечіткого логічного виведення і, таким чином, можуть бути легко видалені. На підставі рис. 4 і наведеного ранжованого ряду \mathbf{R} , було видалено 10 правил без погіршення показників якості керування доковими операціями плавучого доку. Таким чином, оптимізована база правил нечіткого регулятора осадки складається з 15 правил (23, 3, 8, 18, 13, 12, 14, 9, 7, 19, 17, 4, 2, 24, 22). На рис. 5 представлена характеристична поверхня нечіткого ПД-регулятора осадки з оптимізованою базою правил.

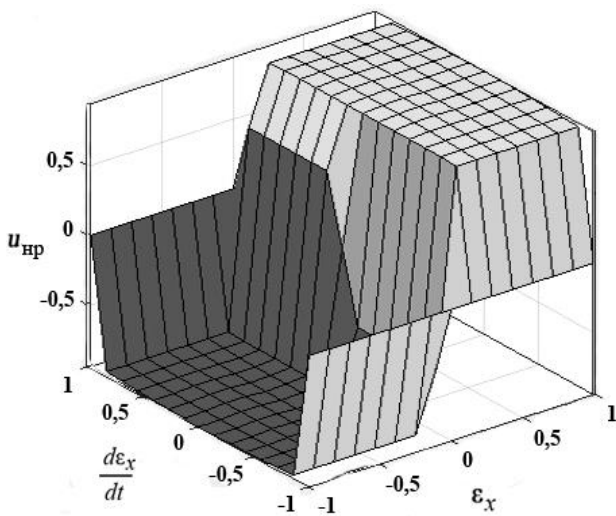


Рис. 5. Характеристична поверхня нечіткого ПД-регулятора осадки з оптимізованою базою правил

Перехідні процеси та порівняльний аналіз показників якості системи керування осадки плавучого доку при виконанні операції занурення з нечітким регулятором і традиційним ПД-регулятором представлені на рис. 6 і в табл. 2, відповідно.

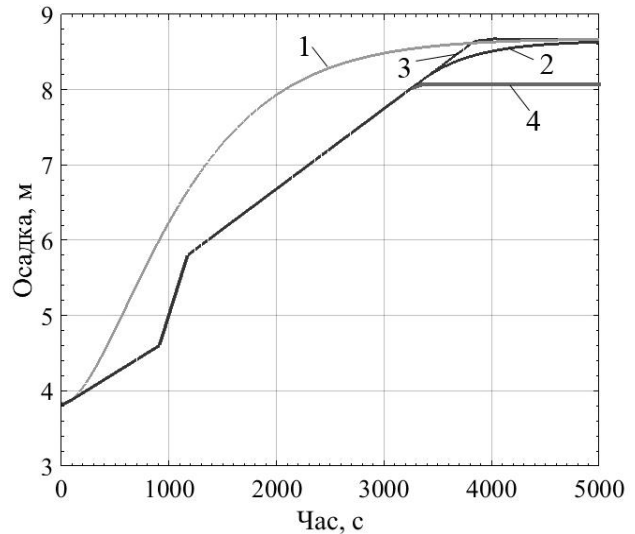


Рис. 6. Перехідні процеси системи керування при зануренні плавучого доку з судном: 1 – бажаний перехідний процес; 2 – традиційний ПД-регулятор; 3 – нечіткий регулятор з 15 правилами; 4 – нечіткий регулятор з 14 правилами.

Як видно з рис. 6 та табл. 2 при подальшому скороченні правил нечіткого ПД-регулятора осадки до 14 правил (23, 3, 8, 13, 12, 14, 9, 7, 19, 17, 4, 2, 24, 22) САК перестала відпрацьовувати контрольоване значення осадки.

Таблиця 2.

Порівняльний аналіз показників якості автоматичної системи керування осадки з традиційним і нечітким ПД-регуляторами

Показники якості	Значення показників якості САК		
	Традиційний ПД-контролер	ПД-контролер типу Мамдані з 14 правилами (23, ..., 24)	ПД-контролер типу Мамдані з 15 правилами (23, ..., 22)
t_p, s	4720	3200	3800
$\Delta_0, \%$	0	8,05	0

Таким чином, можна зробити висновок, що оптимальна кількість правил розробленого нечіткого ПД-регулятора осадки становить 15 (23, 3, 8, 18, 13, 12, 14, 9, 7, 19, 17, 4, 2, 24, 22).

Висновки

У даній статті наведено розроблену авторами систему автоматичного керування осадкою плавучого доку на базі нечіткого регулятора. Також проведена структурна оптимізація бази правил нечіткого регулятора даної системи з метою спрощення її програмно-апаратної реалізації.

В свою чергу, редукція БП нечіткого регулятора на основі оцінки впливу кожного правила на процес керування дала змогу зменшити загальну кількість правил з 25 до 15 без погіршення показників якості керування доковими операціями плавучого доку. Це дозволяє значно спростити програмну та апаратну реалізацію синтезованого НР в САК осадкою плавучого доку.

Розглянутий підхід до оптимізації БП також може бути застосований при синтезі нечітких керуючих пристроїв для систем стабілізації крену та диференту різнотипних плавучих доків.

Список використаної літератури

1. Рашковський, О. С. Проектування, технологія і організація побудови композитних плавучих доків [текст] / О. С. Рашковський, О. В. Щедролюсєв, Д. В. Єрмаков, О. М. Узлов – Херсон: Національний університет кораблебудування ім. адм. Макарова, Херсонська філія – 2015. – 320 с.

2. Кондратенко, Ю. П. Нечеткие системы управления нестационарными объектами с переменными параметрами [текст] / Ю. П. Кондратенко, С. А. Сидоренко, И. Я. М. Аль Зобби // Труды ОНПУ. – Одесса – 2004. – Вып. 2(22). – С. 108–115.

3. Пегат, А. Нечеткое моделирование и управление [текст] / А. Пегат. – М.: БИНОМ – 2009. – 798 с.

4. Гостев, В. И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления [текст] / В. И. Гостев. – К.: Радиоаматор – 2008. – 972 с.

5. Kondratenko, Y. Green-IT Approach to Design and Optimization of Thermoacoustic Waste Heat Utilization Plant Based on Soft Computing [text] / Y. Kondratenko, V. Korobko, O. Korobko, G. Kondratenko, O. Kozlov // Chapter in a book: "Green IT Engineering: Components, Networks and Systems Implementation". – V. Kharchenko, Y. Kondratenko, J. Kasprzyk (Eds.). Book Series: Studies in Systems, Decision and Control. –

Vol. 105. – Berlin. Heidelberg: Springer International Publishing, 2017. – pp. 287–311.

6. Зак, Ю. А. Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных: "Fuzzy" технологии. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ» – 2013. – 352 с.

7. Hampel, R. Fuzzy Control: Theory and Practice [Text] / R. Hampel, M. Wagenknecht, N. Chaker. – New York: Physika-Verlag, Heidelberg – 2000. – 410 p.

8. Кондратенко, Ю. П. Синтез та оптимізація нечіткого контролера системи керування осадкою плавучого доку [текст] / Ю. П. Кондратенко, О. В. Козлов, О. В. Коробко, А. М. Топалов // Електротехнічні та комп'ютерні системи. Науково-Технічний журнал. – Київ – 2016. – № 23 (99) – С. 113–120.

9. Кондратенко, Ю. П. Математичне моделювання докових операцій плавучого доку для малотонажних суден [текст] / Ю. П. Кондратенко, О. В. Козлов, А. М. Топалов // Проблеми інформаційних технологій. – Херсон : – 2016. – № 01(019) – С. 117–130.

10. Barreto, A. M. S. (2008), Restricted Gradient-Descent Algorithm for Value-Function Approximation in Reinforcement Learning [Text] / A. M. S. Barreto, C.W. Anderson // Artificial Intelligence, – 2008 – Vol. 172, Issues 4–5. – pp. 454–482.

11. Gacto, M. J. Adaptation and Application of Multi-Objective Evolutionary Algorithms for Rule Reduction and Parameter Tuning of Fuzzy Rule-Based Systems [text] / M. J. Gacto, R. Alcalá, F. Herrera // Soft Computing. – 13, No. 5. – 2009. – pp. 419–436.

12. Kondratenko, Y. P. Structural optimization of fuzzy systems' rules base and aggregation models [text] / Y. P. Kondratenko, L. P. Klymenko, Al Zu'bi E. Y. M. // Kybernetes: The International Journal of Systems & Cybernetics, Vol. 42, No. 5, 2013. – pp. 831–843.

13. Kondratenko, Y. Structural and Parametric Optimization of Fuzzy Control and Decision Making Systems [text] / Y. Kondratenko, D. Simon // In: Zadeh L., et al (eds), Recent Developments and the New Direction in Soft-Computing Foundations and Applications. Studies in Fuzziness and Soft

Computing. Springer, Cham. – 2018. – Vol. 361, pp. 273–289.

14. Kondratenko, Y. P. Synthesis and Optimization of Fuzzy Control Systems for Floating Dock's Docking Operations [text] / Y. P. Kondratenko, O. V. Kozlov, O. V. Korobko, A. M. Topalov // Chapter in book of Fuzzy Control Systems. Nova Science Publishers. – 2017. – Chapter 4. – pp. 141–213.

References

1. O. S. Rashkovsky, O. V. Shchedrolov, D. V. Ermakov, O. M. Uzlov, (2015). Design, technology and organization of building composite floating docks. [Proektuvannya, tehnolohiya and orhanizatsiya pobudovy kompozytnykh plavuchykh dokiv], Kherson, Ukraine, 320 p. (In Ukrainian).

2. Yu. P. Kondratenko, S. A. Sydorenko, I. Ya. M. Al Zobi, (2004). Fuzzy Control Systems for Insteady Plants with Variable Parameters [Nechetkie sistemy upravleniya nestatsionarnymi obektami s peremennymi parametrami], *Proceedings ONPU*, Odessa, Ukraine, Vol. 2(22), pp. 108–115 (In Ukrainian).

3. A. Pegat, (2009). Fuzzy Modeling and Control, [Nechetkoe modelirovanie i upravlenie, translation from English], Moscow, Russian Federation, 133 p. (In Russian).

4. V. I. Gostev, (2008). Fuzzy Controllers in Automatic Control Systems [Nechetkie regulatory v sistemah avtomaticheskogo upravleniya], Kiev, Ukraine, 972 p. (In Russian).

5. Y. Kondratenko, O. Korobko, G. Kondratenko, O. Kozlov, (2017). Green-IT Approach to Design and Optimization of Thermoacoustic Waste Heat Utilization Plant Based on Soft Computing. *Chapter in a book: "Green IT Engineering: Components, Networks and Systems Implementation"*. – V. Kharchenko, Y. Kondratenko, J. Kacprzyk (Eds.). Book Series: Studies in Systems, Decision and Control. Berlin. Heidelberg: Springer International Publishing, Vol. 105., pp. 287–311.

6. Yu. A. Zak, (2013). Decision making under fuzzy and fuzzy data: "Fuzzy" technology [Prinyatie resheniy v usloviyah nechetkiy and

razmytyh data: "Fuzzy" tehnologii], , Moscow, Russian Federation, 352 p. (In Russian).

7. R. Hampel, M. Wagenknecht, N. Chaker, (2000). Fuzzy Control: Theory and Practice. New York: Physika-Verlag, Heidelberg, 410 p.

8. Y. P. Kondratenko, O. V. Kozlov, O. V. Korobko, A. M. Topalov, (2016). Synthesis and optimization of the non-integrated controller of the Keruvan system by the draft of the floating dock [Sintez ta optimizatsiya nechitkogo kontrolera sistemi keruvannya osadkoyu plavuchogo doku], *Electrical and computer systems*, Kiev, Ukraine, Vol. 23(99), pp. 113–120 (In Ukrainian).

9. Y. P. Kondratenko, O. V. Kozlov, and A. M. Topalov, (2016). Mathematical Modeling of Floating Dock Docking Operations for Low-Tonnage Vessels [Matematychni modelyuvannya dokovykh operatsiy plavuchoho doku dlya malotonnazhnykh suden], *The Problems of Information Technologies*, Herson, Ukraine, No. 01(019), pp. 117–130 (In Ukrainian).

10. A. M. S. Barreto, C. W. Anderson, (2008). Restricted Gradient-Descent Algorithm for Value-Function Approximation in Reinforcement Learning, *Artificial Intelligence*, Vol. 172, Issues 4–5, pp. 454–482.

11. M. J. Gacto, R. Alcalá, F. Herrera, (2009). Adaptation and Application of Multi-Objective Evolutionary Algorithms for Rule Reduction and Parameter Tuning of Fuzzy Rule-Based Systems, *Soft Computing*. No. 5(13), pp. 419–436.

12. Y. P. Kondratenko, L. P. Klymenko, E. Y. M. Al Zu'bi, (2013). Structural optimization of fuzzy systems' rules base and aggregation models, *Kybernetes: The International Journal of Systems & Cybernetics*, Vol. 42, No. 5, pp. 831–843.

13. Y. Kondratenko, D. Simon, (2018) Structural and Parametric Optimization of Fuzzy Control and Decision Making Systems, In: Zadeh L., et al (eds), Recent Developments and the New Direction in Soft-Computing Foundations and Applications. Studies in Fuzziness and Soft Computing. Springer, Cham, Vol. 361, pp. 273–289.

14. Y. P. Kondratenko, O. V. Kozlov, O. V. Korobko, A. M. Topalov, (2017). Synthesis and Optimization of Fuzzy Control

RULE BASE OPTIMIZATION OF FUZZY CONTROLLER FOR AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF FLOATING DOCK DRAFT**Y. P. Kondratenko¹, O. V. Kozlov², A. M. Topalov²**¹*Petro Mohyla Black Sea National University*²*Admiral Makarov National University of Shipbuilding*

Abstract. *The article presents the automatic control system of the floating dock draft on the basis of a fuzzy controller, which ensures draft control of the floating dock on the feedback principle. Since the floating dock is the object of control without autostabilization, so as a fuzzy controller of floating dock draft is used fuzzy PD-controller of the Mamdani type. Since the use of the integral component of the error in the control process will only reduce the quality metrics. Moreover, in this paper, a fuzzy controller with five triangular linguistic terms for each of the three input and output variables are used. Parameters of the membership functions of the linguistic terms of the input and output variables of the fuzzy PD-controller are pre-optimized based on the desired transition control processes of the draft using gradient parametric optimization methods. To improve the proposed fuzzy PD-controller control in terms of reducing the processing time, the optimization of the rules base of the fuzzy PD-controller on the basis of rules reduction is performed. The procedure for structural optimization of the rule base of the fuzzy PD-controller consists of identifying the degree of influence of the rules on the output signal of the fuzzy PD-controller, constructing the appropriate ranked number of rules for the reduction of this parameter, as well as the exclusion from the rule base of those rules, the effect of which on the formation of a control signal is irrelevant. In turn, the reduction of the base rules of the fuzzy PD-controller, based on the assessment of the impact of each rule on the control process, has allowed to reduce the total number of rules from 25 to 15 without degrading the quality performance of the docking operations of the floating dock. This allows to significantly simplify the software and hardware implementation of the synthesized fuzzy PD-controller in the automatic control system of the floating dock draft. The simulation of the transients of the fuzzy control system of the floating dock draft and the analysis of the quality indices of the developed fuzzy control system shows the feasibility of using the developed fuzzy PD-controller with the optimized rule base.*

Keywords: *floating dock; automatic control system of draft; fuzzy controller; rule base; optimization.*

ОПТИМИЗАЦИЯ БАЗЫ ПРАВИЛ НЕЧЕТКОГО РЕГУЛЯТОРА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ОСАДКОЙ ПЛАВУЧЕГО ДОКА**Ю. П. Кондратенко¹, О. В. Козлов², А. М. Топалов²**¹*Черноморский национальный университет имени Петра Могилы*²*Национальный университет кораблестроения имени адмирала Макарова*

Аннотация. *В статье приведена разработанная авторами система автоматического управления осадкой плавучего дока на базе нечеткого регулятора. В качестве регулятора применяется нечеткий ПД-регулятор Мамдани-типа, для которого с целью упрощения программно-аппаратной реализации осуществлено оптимизацию базы правил. Проведен анализ показателей качества разработанной системы управления с использованием нечеткого и традиционного ПД-регуляторов осадки плавучего дока.*

Ключевые слова: *плавучий док; система автоматического управления осадкой; нечеткий регулятор; база правил; оптимизация.*

Получено 25.02.2019



Кондратенко Юрій Пантелійович, д.т.н., професор, професор кафедри інтелектуальних інформаційних систем ЧНУ ім. П. Могили. Вул. 68 Десантників, 10, м. Миколаїв, Україна, E-mail: y_kondrat2002@yahoo.com; тел.: (0512) 464074

Yuriy Kondratenko, Dr. of Science, Professor, Professor of the Intelligent Information Systems Department, Petro Mohyla Black Sea National University, 10 68th Desantnykiv st., Mykolaiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0001-7736-883X



Козлов Олексій Валерійович, к.т.н., доцент кафедри комп'ютеризованих систем керування НУК ім. адм. Макарова. Проспект Героїв України, 9, м. Миколаїв, Україна, E-mail: kozlov_ov@ukr.net, тел.: 0638916539

Oleksiy Kozlov, Ph.D., Associate Professor of the Computerized Control Systems Department, Admiral Makarov National University of Shipbuilding. 9 Heroes of Ukraine ave., Mykolaiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-2069-5578



Топалов Андрій Миколайович, викладач кафедри комп'ютеризованих систем керування НУК ім. адм. Макарова. Проспект Героїв України, 9, м. Миколаїв, Україна, E-mail: topalov_ua@ukr.net, тел.: 0631218231

Andriy Topalov, lecturer of the Computerized Control Systems Department, Admiral Makarov National University of Shipbuilding. 9 Heroes of Ukraine ave., Mykolaiv, Ukraine

ORCID ID: 0000-0003-2745-7388