

УДК 681.5

Ю. П. Кондратенко, д-р техн. наук,
О. В. Козлов, О. В. Коробко, кандидати техн. наук,
А. М. Топалов

СИНТЕЗ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ НЕЧІТКОГО КОНТРОЛЕРА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ОСАДКОЮ ПЛАВУЧОГО ДОКУ

Анотація. Описується розроблена авторами система автоматичного керування осадкою плавучого доку на базі нечіткої логіки. Розглянуто синтез нечіткого та традиційного ПД-контролерів осадки плавучого доку. Проведено аналіз показників якості розробленої системи керування при виконанні плавучим доком з судном операції занурення.

Ключові слова: плавучий док; нечітка логіка; осадка; синтез; оптимізація; база правил; контролер

Y. Kondratenko, ScD.,
O. Kozlov, PhD., **O. Korobko**, PhD.,
A. Topalov

SYNTHESIS AND OPTIMIZATION OF FUZZY CONTROLLER FOR CONTROL SYSTEM OF FLOATING DOCK DRAFT

Abstract. The paper describes developed by authors system of automatic control of floating dock draft based on fuzzy logic. The authors analyzed the main characteristics and features of the floating dock as a complex control object with nonlinear and nonstationary parameters and developed the functional structure of the floating dock draft automatic control system. The synthesis and optimization procedures of the traditional and Mamdani-type draft fuzzy PD-controllers of the floating dock draft automatic control system are presented. Considerable attention is given to the optimization procedures the following triangular linguistic terms membership functions for the input and output variables of the Mamdani-type draft fuzzy PD-controller based on the gradient descend method and desired transients. The simulation of the floating dock draft automatic control system operation with optimized traditional and Mamdani-type fuzzy draft PD-controllers is performed

Keywords: floating dock; fuzzy logic; draft; synthesis; optimization; base rules; controller

Ю. П. Кондратенко, д-р техн. наук,
А. В. Козлов, А. В. Коробко, кандидати техн. наук,
А. Н. Топалов

СИНТЕЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ НЕЧЕТКОГО КОНТРОЛЛЕРА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОСАДКОЙ ПЛАВУЧЕГО ДОКА

Аннотация. Описывается разработанная авторами система автоматического управления осадкой плавучего дока на базе нечеткой логики. Рассмотрены синтез и оптимизация нечеткого и традиционного ПД-контроллеров осадки плавучего дока. Проведен анализ показателей качества разработанной системы управления при выполнении плавучим доком с судном операции погружения.

Ключевые слова: плавучий док; нечеткая логика; осадка; синтез; оптимизация; база правил; контроллер

Вступ. В період експлуатації судна, незалежно від його типу, виникає необхідність в повному огляді і ремонті підводної частини. В даний час одним з основних засобів підйому і ремонту корпусів суден з подальшим спуском вважається застосування плавучих доків.

З широкого переліку наявних систем, що входять до складу плавучого доку, найбільш важливою для виконання докових операцій є баластна система, оскільки вона призначена

для забезпечення занурення та спливання плавучого доку на певне задане значення його осадки, що є ключовим керованим параметром під час проведення докових операцій.

Аналіз алгоритмів та схемотехнічних рішень для проектування і реалізації систем керування осадкою плавучого доку показує доцільність використання принципів нечіткого керування, що спираються на теорію нечітких множин та нечітку логіку. Системи керування, що базуються на нечіткій логіці, розроблені й успішно впроваджені в таких областях, як: керування

© Кондратенко Ю.П., Козлов О.В.,
Коробко О.В., Топалов А. М., 2016

технологічними процесами, керування транспортом, технічна діагностика та ін. [1 – 2]. Зокрема, в ряді моделей кондиціонерів концерну Mitsubishi Heavy Industries для створення найбільш сприятливого клімату використовується «нейротехнологія та нечітка логіка» [3]. Іншими прикладами є система керування світлофором [4], в якій входні та вихідні сигнали (кількість машин, середня швидкість на вулиці, середня відстань до перехрестя та час горіння зеленого світла) оцінюються нечіткими термами; нечітка система керування фотовітреенергетичною системою [5], нечіткі контролери [6] для керування термоакустичними системами, технологічними процесами екопірогенезису та ін.

Метою даної статті є розробка системи автоматичного керування осадкою плавучого доку (САКОПД) на базі нечіткої логіки та проведення аналізу показників якості систем керування, синтезованих та оптимізованих на основі традиційного та нечіткого ПД-контролерів.

Функціональна структура САКОПД
 Функціональна структура САКОПД

представлена на рис. 1, де прийняті такі позначення: ЛО – людина-оператор; ПК – промисловий комп'ютер; ПЛК – програмований логічний контролер; КО – контролер осадки; БІ – блок інверсії; БО1, БО2 – блоки обмеження; МАВ1, МАВ2 – модулі аналогового виходу; АРВ11, ..., АРВ102 – автоматичні регулятори витрати води баластної системи доку; БТ1, ..., БТ10 – баластні танки плавучого доку; ПД – плавучий док; КД – корпус плавучого доку; ДО – датчик осадки; МЗД – модуль збору даних; $H_{ззо}$, $H_{рзо}$ – задане і реальне значення осадки плавучого доку; $u_{ПК}$, $u_{КО}$, $u_{БІ}$, $u_{БО1}$, $u_{БО2}$, $u_{МАВ1}$, $u_{МАВ2}$, $u_{ДО}$, $u_{МЗД}$ – вихідні сигнали ПК, КО, БІ, БО1, БО2, МАВ1, МАВ2, ДО, МЗД, відповідно; ε_0 – значення помилки керування осадкою; $P_{БН1}$, $P_{БН2}$ – вихідні значення тиску баластних насосів в трубопроводах наповнення і спорожнення, відповідно; $Q_{АРВ11}$, ..., $Q_{АРВ102}$ – значення витрати баластної води відповідних автоматичних регуляторів витрати; $m_{ВБТ1}$, ..., $m_{ВБТ10}$ – маса баластної води в відповідних баластних танках; $F_{НПД}$ – сила навантаження плавучого доку від судна, що докується.

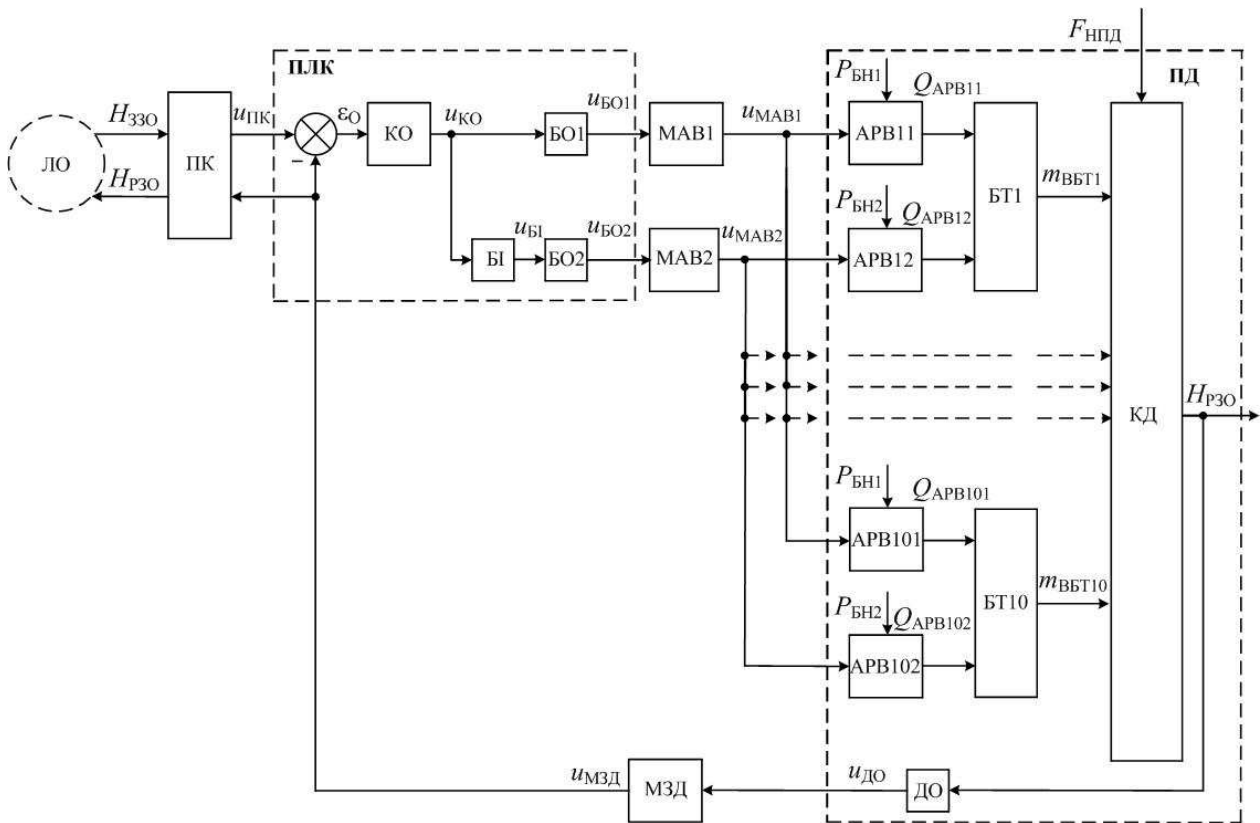


Рис. 1. Функціональна структура САКОПД

Значення осадки плавучого доку H_{330} задається на промисловому комп'ютері ПК оператором. Реальне значення осадки плаваючого доку H_{P30} вимірюється датчиком осадки ДО, який передає відповідний сигнал $u_{ДО}$ на модуль збору даних МЗД. Модуль збору даних, в свою чергу, перетворює аналоговий сигнал $u_{ДО}$ (від датчика ДО) до відповідного цифрового сигналу $u_{МЗД}$. Сигнал від промислового комп'ютера $u_{ПК}$, що відповідає заданому значенню осадки плавучого доку H_{330} , і сигнал від модуля збору даних $u_{МЗД}$, що відповідає реальному значенню осадки плаваючого доку H_{P30} , надходять до ПЛК. ПЛК включає в себе суматор, контролер осадки КО, блок інверсії БІ і блоки обмеження БО1, БО2. Суматор порівнює сигнали $u_{ПК}$ та $u_{МЗД}$ і формує значення помилки керування осадкою $\varepsilon_0 = u_{ПК} - u_{МЗД}$. Контролер осадки КО, в свою чергу, формує сигнал керування $u_{КО}$ на основі помилки ε_0 відповідно до закону керування і передає його на блок інверсії БІ та блок обмеження БО1.

Блок інверсії перетворює сигнал КО $u_{КО}$ в інвертований сигнал $u_{БІ}$. Блоки обмеження БО1, БО2 пропускають тільки додатні сигнали $u_{БО1}$ і $u_{БО2}$, які потім подаються на модулі аналогових виходів МАВ1 і МАВ2. Модулі аналогових виходів МАВ1 і МАВ2, в свою чергу, перетворюють цифрові сигнали від ПЛК $u_{ОБ1}$ і $u_{ОБ2}$ в аналогові сигнали напруги $u_{МАВ1}$ і $u_{МАВ2}$ (від 0 до 10 В), які надходять до відповідних автоматичних регуляторів витрати АРВ. МАВ1 формує сигнали керування до АРВ11, ... , АРВ101, які знаходяться в трубопроводі наповнення баластної системи, для регулювання витрати води під час заповнення відповідних баластних танків. МАВ2 формує сигнали керування до АРВ12, ... , АРВ102, які знаходяться в трубопроводі спорожнення баластної системи, для регулювання витрати води під час спорожнення відповідних баластних танків. АРВ являє собою гідравлічний клапан з сервоприводом, що реалізує плавне автоматичне керування витратою баластної води $Q_{АРВ}$ в залежності від сигналів керування $u_{МАВ1}$ або $u_{МАВ2}$.

Синтез і дослідження нечіткого контролера осадки Мамдані-типу у складі

САКОПД. Для дослідження ефективності САКОПД на етапі її розробки доцільно використовувати методи математичного моделювання. Математична модель плавучого доку як об'єкту керування осадкою має суттєвий вплив на процес синтезу контролера осадки. Аналізуючи математичну модель плавучого доку [7] можна зробити висновок, що корпус плавучого доку є істотно нелінійним об'єктом зі змінними параметрами. Зокрема, коефіцієнт підсилення, постійна часу і коефіцієнт демпфірування передаточної функції корпусу плавучого доку є змінними за своєю природою і мають нелінійні залежності від багатьох параметрів. Ці фактори впливають на динамічні властивості даного об'єкта керування. З наукової літератури відомо, що для досягнення високих показників якості об'єкта керування з нелійними параметрами доцільно застосовувати інтелектуальні контролери на основі нечіткої логіки і нейронних мереж [8].

Математична модель плавучого доку має інтегруючі ланки і є об'єктом керування без автостабілізації, тому для САКОПД доцільно використовувати нечіткий ПД-контролер осадки. САКОПД, що розглядається в даній статті, побудована з застосуванням нечіткого контролера осадки Мамдані-типу.

Функціональна структура нечіткого ПД-контролера осадки Мамдані-типу представлена на рис. 2.

Сигнали помилки керування осадкою ε_0 і

його похідної $\frac{d\varepsilon_0}{dt}$, помножені на відповідні

коефіцієнти $k_{П}$ і $k_{Д}$, надходять на входи нечіткого ПД-контролера. При цьому вихідний сигнал керування $u_{КО}$ попередньо підсилюється відповідно до значення коефіцієнта $k_{У}$. Коефіцієнти $k_{П}$, $k_{Д}$ і $k_{У}$ використовуються в даному нечіткому контролері для додаткової оптимізації і для початкових умов мають наступні значення $k_{П} = 1$; $k_{Д} = 1$; $k_{У} = 1$.

Розглянемо більш детально процедуру синтезу нечіткого ПД-контролера осадки Мамдані-типу, при реалізації якого основними етапами нечіткого логічного висновку є: фазифікація, агрегація, активізація, акумуляція та дефазифікація.

В даній роботі використовується трикутна форма функції належності для всіх лінгвістичних термів LT_i^k , ($i \in \{1...5\}$, $k \in \{1...3\}$), зокрема, для двох входів ($k \in \{1,2\}$) і одного виходу ($k = 3$) нечіткого контролера:

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

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

де c_i^k , b_i^{k-} , b_i^{k+} – три параметри функції нечіткого трикутного числа, які характеризують всі вершини ki -го трикутного лінгвістичного терма LT_i^k і які можуть бути оптимізовані для всіх ($k \times i$) лінгвістичних термів нечіткого контролера, LT_i^k , ($i \in \{1...5\}$, $k \in \{1...3\}$).

Для входних і вихідної змінних нечіткого ПД-контролера обрано функції належності лінгвістичних термів (ФНЛТ), що представлені на рис. 3, де прийняті наступні позначення: BN – великий від'ємний; SN – невеликий від'ємний; Z – нуль; SP – малий додатній; BP – великий додатній.

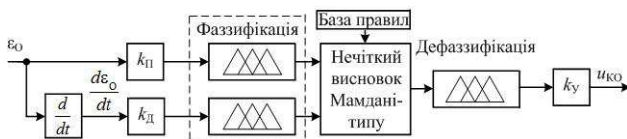


Рис. 2. Функціональна структура нечіткого ПД-контролера осадки Мамдані-типу

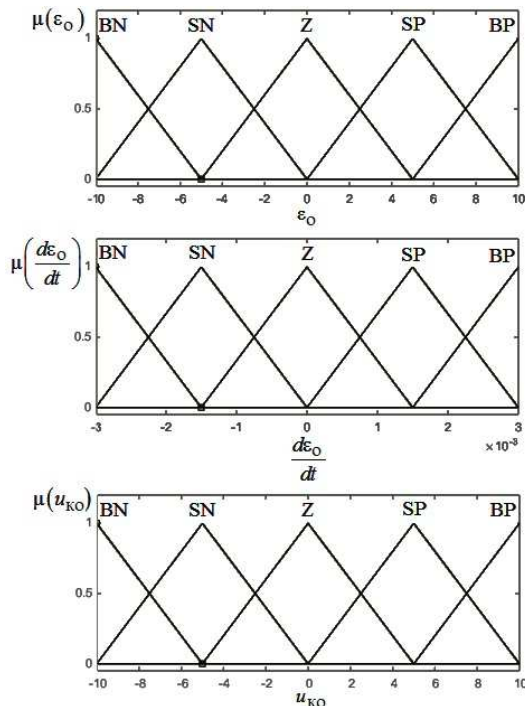


Рис. 3. Параметри ФНЛТ входних і вихідної змінних нечіткого ПД-контролера осадки

Для реалізації нечіткого логічного висновку сформовано базу знань, правила якої за алгоритмом Мамдані являють собою лінгвістичні твердження виду:

ЯКЩО “ $\varepsilon_0 = x$ ” І “ $\frac{d\varepsilon_0}{dt} = y$ ” ТО “ $u_{KO} = z$ ”, (2)

де x , y , z та e – відповідні значення лінгвістичних термів.

Для даного випадку база правил складається з 25 правил, які відповідають всім комбінаціям ФНЛТ двох входних нечітких змінних. База правил нечіткого ПД-контролера осадки представлена в таблиці 1.

1. База правил нечіткого ПД-контролера осадки

		Швидкість зміни помилки, $d\varepsilon/dt$				
		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

Процедура знаходження чіткого числового значення вихідного сигналу u_{KO} являє собою процедуру дефазифікації.

В даному випадку серед методів дефазифікації обрано метод центру тяжіння, згідно якого значення вихідного сигналу розраховується наступним чином

$$u_{KO} = \left(\sum_{i=1}^n u_i \cdot \mu(u_i) \right) / \left(\sum_{i=1}^n \mu(u_i) \right), \quad (3)$$

де n – кількість значень вихідної лінгвістичної змінної; u_i – i -те значення відповідної вихідної лінгвістичної змінної; $\mu(u_i)$ – значення результуючої функції належності для відповідного значення u_i .

Моделювання традиційного і нечіткого (Мамдані-типу) ПД-контролерів осадки САКОПД. Моделювання перехідних процесів проводилося для плавучого доку [9], призначеного для малотоннажних суден (максимальна вага і осадка судна, встановленого в плавучому доку, складають 3000 тон і 5 м, відповідно) з максимальною вантажопідйомністю 5000 тон і вагою доку 3000 тон.

Передаточна функція традиційного ПД-контролера має вигляд

$$W_{\text{ПД}}(p) = k_{\text{ПД}} + k_{\text{ДІ}}p, \quad (4)$$

де $k_{\text{ПД}}$ і $k_{\text{ДІ}}$ – коефіцієнти підсилення традиційного ПД-контролера, які піддаються налаштуванню.

Значення коефіцієнтів підсилення знайдені за допомогою параметричної оптимізації на основі методу градієнтного спуску і бажаних перехідних процесів [10]. Початкові значення коефіцієнтів ПД-контролера дорівнюють одиниці ($k_{\text{ПД}} = 1$; $k_{\text{ДІ}} = 1$). Цільова функція (5) процедури оптимізації полягає в мінімізації інтегрально-квадратичної помилки $f(t, P)$ між моделюючим $y_{\text{мод}}(t, P)$ і бажаним $y_{\text{баж}}(t, P)$ перехідними процесами

$$\begin{aligned} \min_P f(t, P) &= \min_P \left[\int e(t, P)^2 dt \right] = \\ &= \min_P \left[\int (y_{\text{мод}}(t, P) - y_{\text{баж}}(t, P))^2 dt \right], \end{aligned} \quad (5)$$

де P – вектор оптимізованих параметрів; t – час перехідного процесу.

В даному випадку вектор оптимізованих параметрів має вигляд

$$P = \{k_{\text{ПД}}, k_{\text{ДІ}}\}. \quad (6)$$

Для оптимізації традиційного ПД-контролера осадки плавучого доку сформульовано бажаний перехідний процес занурення плавучого доку з судном за допомогою еталонної моделі (7)

$$y_{\text{бажЗД}}(t) = 2.04 + 6.46(1 - e^{-t/150}), \quad (7)$$

де $y_{\text{бажЗД}}$ – бажаний перехідний процес занурення плавучого доку.

Значення коефіцієнтів підсилення традиційного ПД-контролера осадки, отримані за допомогою процедури параметричної оптимізації, є наступними: $k_{\text{ПД}} = 12,4$; $k_{\text{ДІ}} = 482$.

Перехідні процеси САКОПД з оптимізованим традиційним ПД-контролером і нечітким ПД-контролером при виконанні операції занурення плавучого доку з судном представлені на рис. 4.

Результати порівняльного аналізу показників якості САКОПД з оптимізованим традиційним і нечітким ПД-контролерами

осадки при виконанні операції занурення плавучого доку з судном представлені в таблиці 2.

Система керування з оптимізованим традиційним ПД-контролером має вищі показники якості, ніж система з неоптимізованим нечітким ПД-контролером при зануренні плавучого доку з судном. Зокрема, час регулювання t_p на 12140 секунд менше. Статична помилка Δ_0 при нульових значеннях перерегулювання σ і коливання ξ складає 1,6 % .

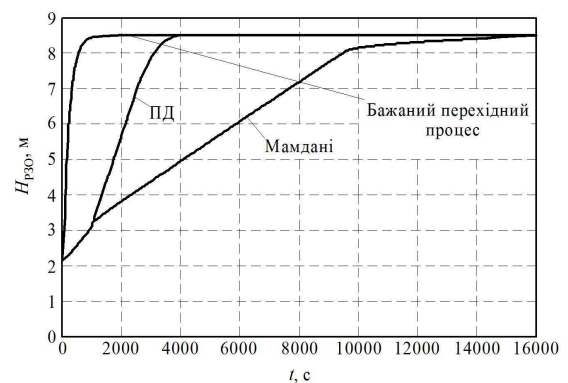


Рис. 4. Перехідні процеси САКОПД з оптимізованим традиційним і нечітким ПД-контролерами при зануренні плавучого доку з судном

Після комп'ютерного моделювання САКОПД при зануренні плавучого доку з судном можна зробити висновок, що нечіткий ПД-контролер не дає кращих результатів ніж оптимізований традиційний ПД-контролер, оскільки на даному етапі процесу проектування дані параметри нечіткого контролера були не оптимізовані.

2. Порівняльний аналіз показників якості САКОПД з традиційним і нечітким ПД-контролерами осадки

Показники якості	Значення показників якості САК	
	Оптимізований традиційний ПД-контролер	Нечіткий ПД-контролер типу Мамдані
$\sigma, \%$	0	0
t_p, s	3720	15860
$\Delta_0, \%$	0,8	2,4
ξ	0	0

Оптимізація нечіткого ПД-контролера осадки Мамдані-типу САКОПД. У даній статті розглядається оптимізація параметрів ФНЛТ на основі методу градієнтного спуску і бажаних перехідних процесів.

Рівняння (5) обране в якості цільової функції для всіх процедур оптимізації даного нечіткого контролера. Бажаний перехідний процес занурення плавучого доку з судном визначається на основі еталонної моделі (7).

Вектор оптимізованих параметрів P є масивом параметрів лінгвістичних термів нечіткого ПД-контролера осадки для кожного входу і виходу (8):

$$P = \{P_{i,j}^k\}, k = \{1, 2, 3\}, \quad (8)$$

$$i = \{1, \dots, 5\}, j = \{1, 2, 3\},$$

де k – номер вхідного або вихідного сигналу; i – номер лінгвістичного терму; j – номер оптимізованого параметра відповідного лінгвістичного терму i .

Оптимізацію параметрів ФНЛТ вхідних і вихідної змінних нечіткого ПД-контролера осадки здійснено на основі методу градієнтного спуску. Ітераційна процедура може бути використана для оптимізації трьох параметрів c_i^k , b_i^{k-} і b_i^{k+} трикутної функції належності для всіх лінгвістичних термів LT_i^k , ($i \in \{1 \dots 5\}$, $k \in \{1 \dots 3\}$):

$$c_i^k [n+1] = c_i^k [n] - \gamma [n] \frac{\partial f(P)}{\partial c_i^k} \Big|_{c_i^k [n]}; \quad (9)$$

$$b_i^{k-} [n+1] = b_i^{k-} [n] - \gamma [n] \frac{\partial f(P)}{\partial b_i^{k-}} \Big|_{b_i^{k-} [n]}; \quad (10)$$

$$b_i^{k+} [n+1] = b_i^{k+} [n] - \gamma [n] \frac{\partial f(P)}{\partial b_i^{k+}} \Big|_{b_i^{k+} [n]}, \quad (11)$$

де n – число ітерацій; γ – крок градієнтного спуску.

Оптимізовані параметри ФНЛТ вхідних і вихідної змінних нечіткого ПД-контролера осадки представлені на рис. 5.

Перехідні процеси САКОПД з оптимізованими традиційним і нечітким ПД-контролерами при виконанні операції занурення плавучого доку з судном представлені на рис. 6.

Порівняльний аналіз показників якості

системи керування осадкою з оптимізованими традиційним і нечітким ПД-контролерами осадки при виконанні операції занурення плавучого доку з судном представлені в таблиці 3.

3. Показники якості САКОПД з оптимізованими традиційним і нечітким ПД-контролерами

Показники якості	Значення показників якості САК	
	Оптимізований Традиційний ПД-контролер	Оптимізований нечіткий ПД-контролер Мамдані-типу
$\sigma, \%$	0	0
t_p, s	3720	3500
$\Delta_O, \%$	0,8	2,1
ξ	0	0

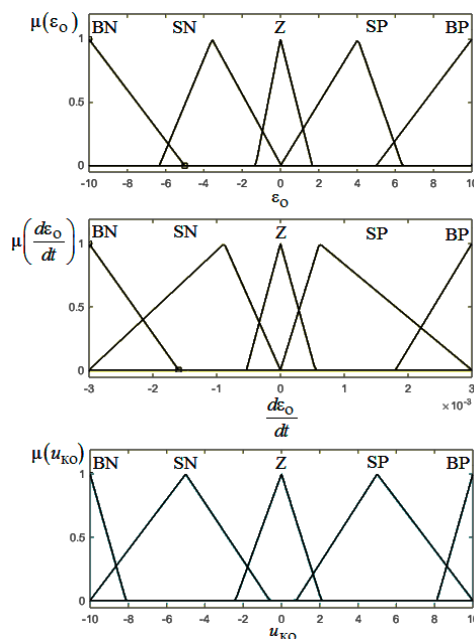


Рис. 5. Оптимізовані параметри ФНЛТ вхідних і вихідної змінних нечіткого ПД-контролера осадки

Показники якості системи керування з нечітким ПД-контролером осадки з оптимізованими параметрами ФНЛТ вищі, ніж показники системи з оптимізованим традиційним ПД-контролером при зануренні плавучого доку з судном. Зокрема, час регулювання t_p становить на 220 секунд менше. Статична помилка Δ_O при нульових значеннях перерегулювання σ і коливання ξ складає 1,3 %.

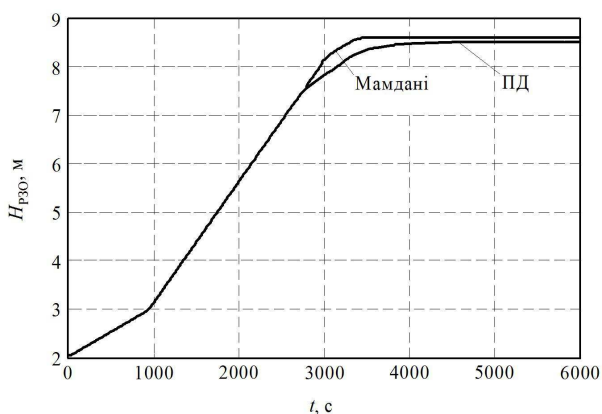


Рис. 6. Перехідні процеси САКОПД з оптимізованими традиційним і нечітким ПД-контролерами при зануренні плавучого доку з судном

Висновки. Авторами проаналізовано основні характеристики та особливості плавучого доку як складного об'єкта керування з нелінійними і нестационарними параметрами і розроблено функціональну структуру САКОПД.

Розглянуті процедури синтезу та оптимізації традиційного та нечіткого (Мамдані-типу) ПД-контролерів осадки САКОПД. Значна увага приділяється процедурі оптимізації параметрів ФНЛТ нечіткого ПД-контролера осадки Мамдані-типу САКОПД на основі методу градієнтного спуску і бажаних перехідних процесів. Застосування розробленого авторами оптимізованого нечіткого ПД-контролера осадки в САКОПД дає можливість досягти більш високих показників якості керування ніж з оптимізованим традиційним ПД-контролером осадки при виконанні операції занурення плавучого доку.

Подальші дослідження необхідно проводити в напрямку застосування різноманітних методів оптимізації нечіткого ПД-контролера осадки Мамдані-типу для підвищення показників якості керування.

Список використаної літератури

1. Герасимов Б. М. Нечеткие множества в задачах проектирования, управления и обработки информации [текст] / Б. М. Герасимов, Г. Г. Грабовский, М. А. Рюмшин – К. : Техніка – 2002. – 140 с.
2. Пегат А. Нечеткое моделирование и управление [текст] / А. Пегат – М. : БИНОМ – 2009. – 798 с.

3. Передовые технологии в управлении кондиционерами Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.innovation-group.com.ua/why.php?page=92&id=661> (Дата доступу 07.06.2016).

4. Вовк О. Л. Исследование алгоритмов нечеткого вывода в системах управления трудноформализуемыми объектами / О. Л. Вовк, О. И. Федяев [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.uran.donetsk.ua/~masters/publ2002/fv/ti/vovk.pdf> (дата доступу 07.06.2016)
5. Симанков В. С. Синтез системы управления автономной фотоветроэлектростанцией на основе нечеткой логики [текст] / В. С. Симанков, А. В. Шопин, // Вестник Адыгейского государственного университета. – Республика Адыгея : – 2012. – № 4. – С. 217 – 225.

6. Гостев В. И. Нечеткие регуляторы в системах автоматического управления [текст] / В. И. Гостев. – К. : Радиоаматор – 2008. – 972 с.
7. 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. 116 – 129.

8. 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.

9. Floating dock specification [Online]. Available at: <https://www.yumpu.com/en/document/view/27611472/floating-dock-specification/5> (accessed 07.06.2016)

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

Отримано 05.06.2016

References

1. Gerasimov B.M., Grabowski G., and Ryumshin M.A. Nечetkie mnozhestva v zadachah proektirovaniya, upravleniya i obrabotki informatsii, [Fuzzy Sets in Design Tasks, Control

and Information Processing], (2002), Kiev, Ukraine, 140 p. (In Russian).

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

3. Peredovye tehnologii v upravlenii konditsionerami Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. [Advanced Technologies in Control Air Conditioning Mitsubishi Heavy Industries, Ltd.] (In Russian), Available at: <http://www.innovation-group.com.ua/why.php?page=92&id=661> (accessed 07.06.2016).

4. Vovk O.L., and Fedyaev O. I. Issledovanie algoritmov nechetkogo vyvoda v sistemah upravleniya trudnoformalizuemyimi obektami, [The Research of Algorithms of Fuzzy Derivation in Control Systems of Nonformal Objects], (In Russian), Available at: [URL: http://www.uran.donetsk.ua/~masters/publ2002/fvti/vovk.pdf](http://www.uran.donetsk.ua/~masters/publ2002/fvti/vovk.pdf) (accessed 07.06.2016).

5. Simankov V.S., and Shopin A.V. Sintez sistemy upravleniya avtonomnoy fotovetroelektroenergeticheskoy stantsiy on osnove nechetkoy logiki, [Synthesis of a Control System of the Autonomous Photo-Wind-Electric Power Station on the Basis of Indistinct Logic], (2012), *Journal of the Adygeya State University*, Republic of Adygea, Russian Federation, No. 5, pp. 171 – 196 (In Russian).

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

7. Kondratenko Y.P., Kozlov O.V., and Topalov A.M. Matematychnye modelyuvannya dokovyh operatsiy plavuchoho doku dlya malotonnazhnyh suden [Mathematical Modeling of Floating Dock Docking Operations for Low-Tonnage Vessels], (2016), *The Problems of Information Technologies*, Herson, Ukraine, No. 01(019), pp. 116 – 129 (In Ukrainian).

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

9. Floating dock specification (In English), Available at: [Url: https://www.yumpu.com/en/document/view/27611](https://www.yumpu.com/en/document/view/27611)

472/floating-dock-specification/5 (accessed 07.06.2016).

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



Кондратенко

Юрій Пантелійович, д-р техн. наук, проф., проф. кафедри Інтелектуальних інформаційних систем ЧНУ ім. П.Могили, проф. кафедри Комп'ютеризованих систем керування НУК ім. адм. Макарова. м. Миколаїв, тел.: (0512) 464074. E-mail: y_kondrat2002@yahoo.com



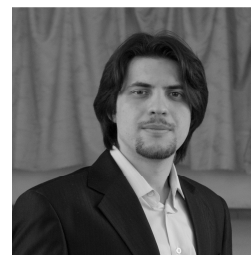
Козлов

Олексій Валерійович, канд. техн. наук, старший викладач кафедри Комп'ютеризованих систем керування НУК ім. адм. Макарова. м. Миколаїв, тел.: 0638916539. E-mail: kozlov_ov@ukr.net



Коробко

Олексій Володимирович, канд. техн. наук, доцент кафедри Комп'ютеризованих систем керування НУК ім. адм. Макарова, м. Миколаїв, тел.: 0504936282. E-mail: korobko@live.ru;



Топалов

Андрій Миколайович, аспірант кафедри Комп'ютеризованих систем керування НУК ім. адм. Макарова. м. Миколаїв, тел.: 0631218231. E-mail: topalov_ua@ukr.net