

В.С. БЛІНЦОВ, д-р техн. наук, проф., НУК ім. адм. Макарова, Миколаїв;
С.М. ВОЛЯНСЬКИЙ, асистент каф. ЕОСтаБ НУК ім. адм. Макарова, Миколаїв

УДОСКОНАЛЕННЯ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РУШІЙНО-КЕРМОВИМ КОМПЛЕКСОМ ПІДВОДНОГО АПАРАТА

Вступ. Розширення масштабів науково-дослідних робіт в глибинах Світового океану, а також інтенсивне освоєння шельфу Азовського та Чорного морів привело до значного зростання числа підводних апаратів (ПА). Прямолинійний рух є основним видом руху ПА, тому саме до нього, як складової високоточного просторового руху, пред'являються вимоги щодо підвищення точності за рахунок автоматизації. Отже, з підвищенням швидкості руху, маневрених характеристик, вимог до точності керування й продуктивності підводних робіт актуальності набуває задача удосконалення систем автоматичного керування (САК) горизонтальним прямолинійним рухом ПА шляхом розробки нових алгоритмів керування, що у свою чергу передбачає розробку та комплексне налагодження математичних і імітаційних моделей рушійно-кермового комплексу (РКК) ПА, як найбільш вимогливого до якості керування об'єкта ПА.

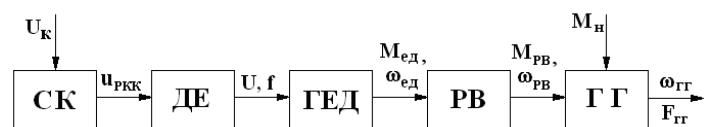
Постановка задачі. Сьогодні найбільш відомими є схеми РКК ПА з герметичними двигунами, що мають низький ККД, з баророзвантаженими асинхронними двигунами (БАД), заповненими рідким діелектриком, але найбільш розповсюдженими, зокрема, у зарубіжних аналогах ПА, є конструкції РКК ПА, де в якості гребних електродвигунів використовуються двигуни постійного струму з магнітними або електромагнітними муфтами. Останні, в порівнянні з БАД мають на порядок складнішу конструкцію та більш високу вартість, що негативно впливає на розвиток технології конструювання й кількість ПА. Тому найбільш перспективними є баророзвантажені асинхронні двигуни, які, проте, мають недолік у вигляді суттєвих нелінійностей механічних характеристик в залежності від температури навколишнього середовища та фізичних властивостей рідкого діелектрика.

Підвищення вимог до точності та ефективності керування РКК ПА на базі БАД стимулює побудову САК РКК ПА на основі різних елементних баз, зокрема адаптивних ПІД-регуляторів [8] і нечіткої логіки. Істотний вклад в розробку нечітких регуляторів і систем на їх основі внесли українські та закордонні вчені В.Б. Клепиков, А.О. Лозинський, В.М. Казак, В.І. Архангельський, В.І. Гостев, О.В. Збруцький, Ю.П. Зайченко, В.А. Терехов, А.У. Levin, Т. Miller, А.А. Yamamura та інші. Проте питання розробки таких регуляторів для САК РКК при горизонтальному прямолинійному русі ПА на сьогодні в науково-технічній літературі розглянуті недостатньо.

Тому **метою роботи** є удосконалення автоматичного керування рушійно-кермовим комплексом підводного апарата на базі баророзвантаженого асинхронного двигуна шляхом синтезу адаптивних та нечітких регуляторів для систем керування, що забезпечує підвищення ефективності керування при його горизонтальному прямолинійному русі.

Матеріали досліджень. Узагальнена структурна схема РКК ПА як об'єкту керування (рис. 1) містить нелінійні моделі автономно працюючих рушійів (гребних гвинтів), які отримують механічну енергію від відповідних гребних електричних двигунів через валопровід і механічні редуктори [1]. До особливостей математичного моделювання таких систем слід віднести необхідність врахування додаткових втрат механічної енергії двигунів через їх роботу в середовищі рідкого діелектрика та коректного моделювання нелінійних характеристик гребних гвинтів на усьому діапазоні їх кутової швидкості як суттєво нелінійних гідродинамічних об'єктів [2, 3].

На основі структурної схеми (рис. 1) складено спрощену структурну схему РКК ПА як об'єкту керування (рис 2). На рис. 2 позначено: $u_{РКК}$ – сигнал завдання ДЕ; ГМ – блок гальмівного моменту баророзвантаженого електродвигуна (ЕД); Q_g – гідродинамічний момент опору обертання ротора в рідкому діелектрику, який заповнює ЕД; τ – температура робочої рідини (діелектрика); $Q_{ГГ}$ – гальмівний момент ГГ.



СК – система керування РКК ПА; ГЕД – гребний електродвигун з напівпровідниковим керованим джерелом електроенергії (ДЕ); РВ – редуктор і валопровід; ГГ – гребний гвинт в конусній насадці; U_k – керуюча напруга; $u_{РКК}$ – напруга, сформована за законами СК; U, f – напруга та частота ДЕ; $M_{ед}, \omega_{ед}$ – момент обертання та кутова швидкість вала ГЕД; $M_{рв}, \omega_{рв}$ – момент обертання та кутова швидкість валопроводу; M_n – момент опору зовнішнього середовища; $\omega_{ГГ}$ – кутова швидкість обертання ГГ; $F_{ГГ}$ – упор ГГ.

Рис. 1 – Узагальнена структурна схема РКК ПА як об'єкту керування

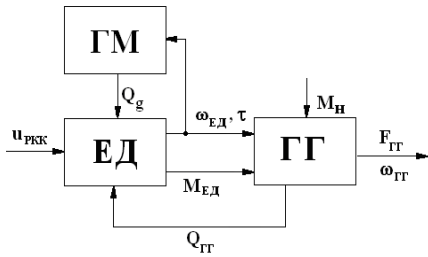


Рис. 2 – Спрощена структурна схема РКК ПА.

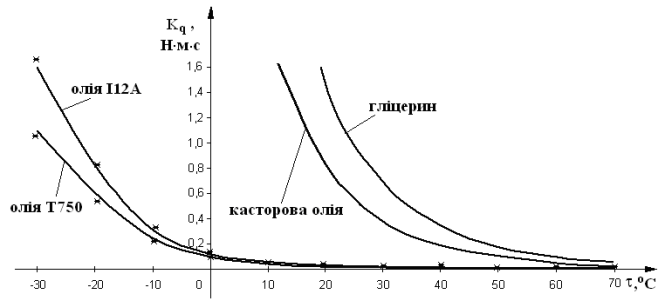


Рис. 3 – Залежності коефіцієнта K_q від температури та виду робочої рідини (діелектрика).

В якості напівпровідникового керованого джерела електроенергії використовується регульоване джерело напруги. Блоки ЕД, ГМ містять рівняння, які описують роботу цих елементів. Блок СК замінено сигналом $u_{РКК}$, РВ замінено коефіцієнтом, рівним одиниці.

Момент тертя ротора ЕД об рідкий діелектрик досить суттєвий при великих швидкостях обертання, тому їм не можна нехтувати [7]. Гальмівний гідродинамічний момент Q_g залежить лінійно від кутової швидкості обертання валу електродвигуна й нелінійно від температури τ та виду D робочої рідини (діелектрика) БАД:

$$Q_g(\tau, D, \omega_{ед}) = K_q(\tau, D)\omega_{ед},$$

де $K_q(\tau, D) = 4\mu\pi r^3 \left(\frac{L_r}{r} + \frac{L_r}{2\delta_1} + \frac{r}{4\delta_2} \right)$ – коефіцієнт гідродинамічних втрат.

Отримано залежності коефіцієнта K_q від температури та виду робочої рідини (діелектрика) (рис. 3).

Залежності для ацетону, води дистильованої, ксилолу, толуолу, гліцерину побудовані розрахунковим шляхом, залежності для етанолу, олій П12А, Т750 побудовані розрахунковим шляхом (гладка лінія) та підтверджені експериментальними даними (маркер «зірочка»).

Як видно з рис. 3 експериментальні дані мають розбіжність з розрахунковими в межах 10-11%.

За допомогою отриманих на рис. 3 залежностей побудовано поверхні механічних характеристик БАД потужністю 250Вт, використовуюваного в підводному апараті «Софокл», при різних температурах і видах робочих рідин, що представлено на рис. 4.

З рис. 3 і 4 видно, що механічна характеристика БАД суттєво залежить від температури та виду робочої рідини, тому вплив цих параметрів необхідно враховувати при синтезі САК РКК ПА.

Удосконалено узагальнену математичну модель РКК горизонтального прямолінійного руху ПА складену на підставі спрощеної структурної схеми РКК ПА як об'єкту керування (рис 2), шляхом обліку втрат гальмівного гідродинамічного моменту гребного баророзвантаженого двигуна постійного або змінного роду струму, працюючого у середовищі рідкого діелектрика [4]:

$$\left\{ \begin{array}{l} m_x \frac{d\vartheta_x}{dt} = F_{ГГ} - qv^{2/3}c_x; \\ M_{дин} = M_{ед} - Q_g - Q_{ГГ}; \\ Q_g = 4\mu\pi r^2 \omega_{ед} \left(\frac{L_r}{r} + \frac{L_r}{2\delta_1} + \frac{r}{4\delta_2} \right); \\ Q_{ГГ} = \begin{cases} \frac{k_Q \rho D_{ГГ}^5}{4\pi^2} \left(\frac{\omega_{ед}}{i} \right)^2 & \text{при } J \in [-1;1]; \\ k_q \rho D_{ГГ}^3 \vartheta_{ПА}^2 & \text{при } J^{-1} \in (-1;1); \end{cases} \\ F_{ГГ} = \begin{cases} \frac{k_F \rho D_{ГГ}^4}{4\pi^2} \left(\frac{\omega_{ед}}{i} \right)^2 & \text{при } J \in [-1;1]; \\ k_f \rho D_{ГГ}^2 \vartheta_{ПА}^2 & \text{при } J^{-1} \in (-1;1); \end{cases} \\ J = \frac{2\pi\vartheta_{ПА}}{\omega_{ед} D_{ГГ}}. \end{array} \right. \quad (1)$$

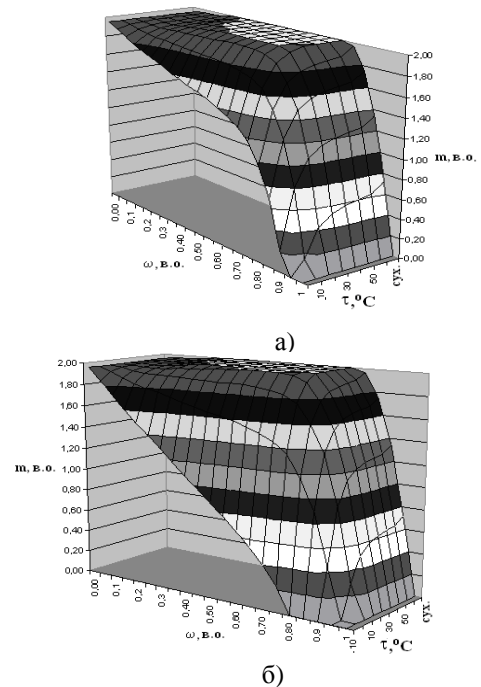


Рис. 4 – Поверхні механічних характеристик асинхронного БАД потужністю 250Вт залежно від температури та виду робочої рідини:

а) олія П12А, б) олія Т750.

де μ – динамічний коефіцієнт в'язкості рідкого діелектрика; L_r, r – довжина і радіус ротора; δ_1 – зазор між ротором і статором; δ_2 – зазор між торцевими поверхнями ротора та кришками ЕД; $v_{ПА}$ – проекція вектору швидкості переміщення РКК відносно води на вісь прямого ходу РКК; $D_{ГГ}$ – діаметр ГГ; $k_Q = f(J)$ і $k_q = f(J^{-1})$ – безрозмірні коефіцієнти, що характеризують момент ГГ; ρ – питома щільність води; $k_F = f(J)$ і $k_f = f(J^{-1})$ – безрозмірні коефіцієнти, що характеризують упор ГГ; J – відносний крок ГГ; J^{-1} – крок ГГ при реверсі; v – об'ємна водотоннажність ПА; m_x – безрозмірна характеристика гідродинамічного моменту крену; q – швидкісний натиск; c_x – коефіцієнт подовжньої гідродинамічної сили.

За удосконаленими математичною моделлю (1) та структурною схемою (рис 2) розроблено Simulink – модель горизонтального прямолінійного руху ПА та проведено перевірку її точності шляхом порівняння розрахованих за допомогою її даних з експериментальними. Експериментальні дані отримано при дослідженні горизонтального прямолінійного руху ПА «Софокл» у випробувальному басейні НУК. Умови моделювання на Simulink – моделі ідентичні умовам проведення експерименту у випробувальному басейні. Результати оцінки точності моделювання прямолінійного руху ПА представлено на рис. 5.

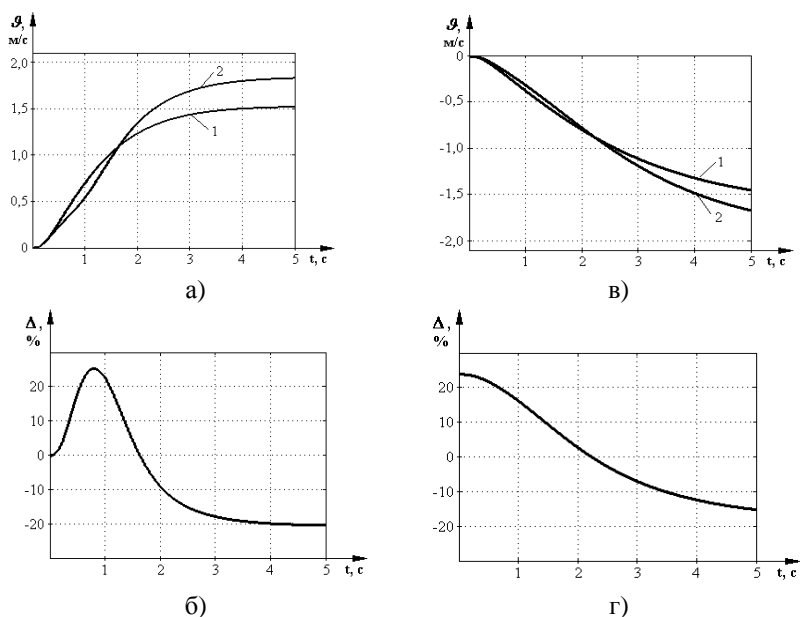


Рис. 5 – Результати оцінки точності моделювання горизонтального прямолінійного руху ПА: а-в – швидкість горизонтального прямолінійного руху ПА при прямому та зворотному ході (крива 1 – моделювання; крива 2 – експеримент); б-г – похибка моделювання.

Узагальнена схема слідкуючої адаптивної САК з урахуванням впливу гальмівного гідродинамічного моменту Q_g (вихід блоку $W_\tau(t)$) і блоку $W_k(t)$ адаптивного підбору коефіцієнтів k_1, k_2, k_3 регулятора залежно від температури τ та виду D робочої рідини (діелектрика) БАД, представлена на рис. 6.

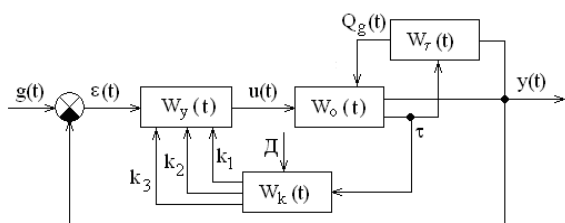


Рис. 6 – Узагальнена схема слідкуючої адаптивної САК.

$v_{ПА}$ – на ГГ і вид робочої рідини, D – на коефіцієнти регулятора.

На рис. 7 позначено: $W_y(t)$, $W_o(t)$, $W_{ГГ}(t)$, $W_{зз}(t)$, $W_{v_{ПА}}(t)$, $W_\tau(t)$, $W_k(t)$ – передатні функції регулятора, об'єкту керування, ГГ, зворотного зв'язку, швидкості прямолінійного горизонтального руху ПА, гідро-

Як видно з графіків на рис. 5 похибка моделювання горизонтального прямолінійного руху ПА не перевищує 25%, що на 5-10% нижче відомих подібних експериментів. Отримана похибка дозволяє говорити про достовірність проведених досліджень. При малих швидкостях руху ПА точність моделювання досягає максимальної похибки й має значимий нелінійний характер.

Таким чином, розроблена Simulink – модель горизонтального прямолінійного руху ПА є працездатною, адекватною, а удосконалена математична модель достовірною, що дає можливість використовувати її для синтезу високоефективних регуляторів та систем автоматичного керування в усьому діапазоні зміни робочої температури та виду діелектрика БАД.

Для синтезу узагальненої САК РКК на базі БАД при горизонтальному прямолінійному русі ПА (рис. 7) використана спрощена структурна схема РКК ПА (рис. 2) з урахуванням узагальненої схеми слідкуючої адаптивної САК (рис. 6). Вихідними параметрами цієї структурної схеми є кутова швидкість обертання ГГ, температура робочої рідини, момент, створюваний ГГ і швидкість переміщення ПА при його горизонтальному прямолінійному русі. У системі діють обурюючі дії: гальмівний момент ГГ $Q_{ГГ}$ є зовнішньою дією на об'єкт керування, швидкість переміщення ПА,

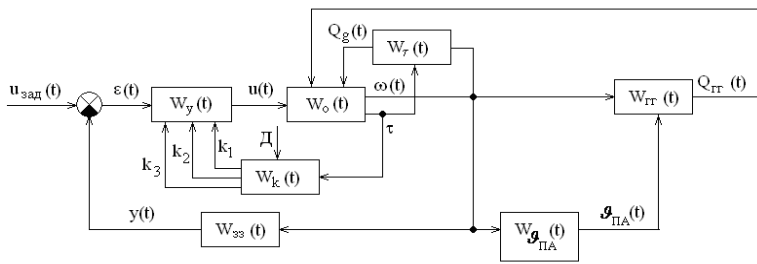


Рис. 7 – Узагальнена структурна схема синтезуємої САК РКК на базі БАД при горизонтальному прямолінійному русі ПА.

момент; k_1, k_2, k_3 – коефіцієнти регулятора.

Передатна функція регулятора $W_y(t)$ залежить від τ і D , та перетворюється до виду $W_y(t, k_i(\tau, D))$, де $k_i(\tau, D)$ – функція коефіцієнтів ПІД-регулятора. Опис блоків, крім блоку регулятора $W_y(t, k_i(\tau, D))$, відповідає рівнянням (1). Синтез регулятора $W_y(t, k_i(\tau, D))$ виконано за допомогою пакету Simulink середовища MATLAB.

Загальний вигляд закону керування визначається видом функції $u(t)$ [5]

$$u(t) = \varepsilon(t)W_y(t, k_i(\tau, D)). \quad (2)$$

Тоді закони керування САК РКК по стабілізації кутової швидкості обертання гребного гвинта ПА, по стабілізації упору гребного гвинта ПА, по стабілізації швидкості переміщення ПА при його горизонтальному прямолінійному русі можливо представити у виді (3)-(5):

$$u(t) = W_y(t, k_i(\tau, D))\varepsilon(t) = W_y(t, k_i(\tau, D))[u_{\text{зад}}(t) - \omega(t)]. \quad (3)$$

$$u(t) = W_y(t, k_i(\tau, D))\varepsilon(t) = W_y(t, k_i(\tau, D))[u_{\text{зад}}(t) - F_{\text{ГГ}}(t)]. \quad (4)$$

$$u(t) = W_y(t, k_i(\tau, D))\varepsilon(t) = W_y(t, k_i(\tau, D))[u_{\text{зад}}(t) - v_{\text{ПА}}(t)]. \quad (5)$$

Розроблено Simulink – моделі для синтезу нечітких регуляторів і адаптивних ПІД-регуляторів та проведено моделювання САК РКК по стабілізації кутової швидкості обертання, упору гребного гвинта ПА та швидкості переміщення ПА при його горизонтальному прямолінійному русі з синтезованими регуляторами. Результати моделювання САК РКК по стабілізації швидкості переміщення ПА при його горизонтальному прямолінійному русі з синтезованими адаптивними ПІД-регуляторами та нечіткими регуляторами представлено на рис. 8.

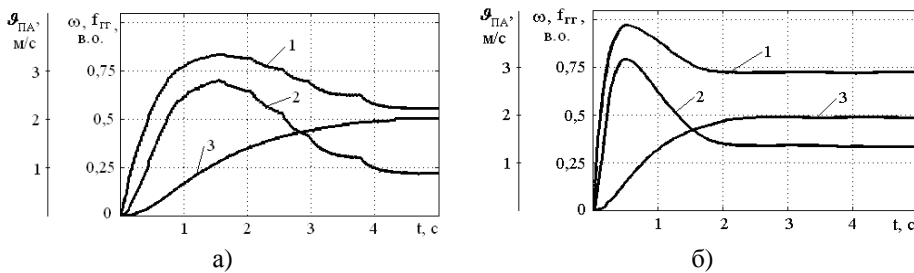


Рис. 8 – Результати моделювання роботи САК РКК на базі БАД при горизонтальному прямолінійному русі ПА з синтезованими адаптивними ПІД-регуляторами (а) та нечіткими регуляторами (б): крива 1 – кутова швидкість обертання ГГ $\omega_{\text{ед}}$; крива 2 – упор ГГ $f_{\text{ГГ}}$; крива 3 – швидкість переміщення при горизонтальному русі ПА $v_{\text{ПА}}$.

Проте, як показали проведені дослідження (рис. 8, б) застосування нечіткого регулятора, наприклад, в САК РКК по стабілізації упору ГГ ПА дозволило знизити в 2,5 рази помилку розузгодження й в 3 рази перерегулювання, в порівнянні з аналогічною системою з адаптивним ПІД-регулятором.

Крім того, застосування нечітких регуляторів в САК РКК ПА по стабілізації кутової швидкості обертання ГГ та по стабілізації швидкості переміщення ПА при його горизонтальному прямолінійному русі дозволило знизити від 1,6 до 2 разів час перехідного процесу в порівнянні з аналогічними САК РКК ПА з адаптивними ПІД-регуляторами.

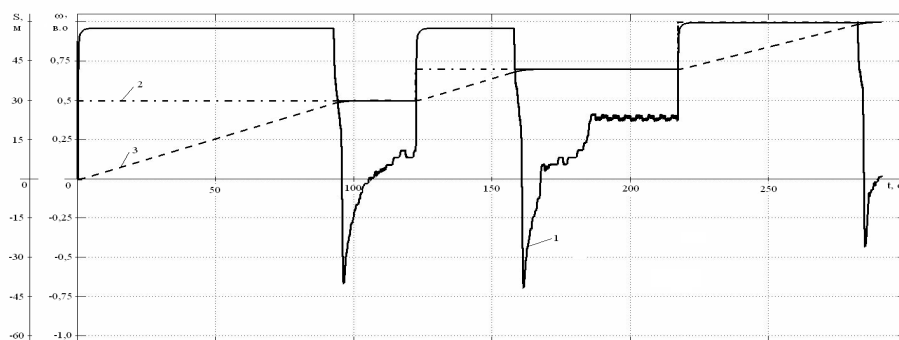
Таким чином, можна стверджувати наступне: особливості налагодження адаптивного ПІД-регулятора дозволяють використовувати його за наявності достовірних функцій зміни внутрішніх обурюючих дій, наприклад, гідродинамічного гальмівного моменту баророзвантаженого асинхронного двигуна. Але в той же час, практич-

динамічного гальмівного моменту, блоку адаптивного підбору коефіцієнтів регулятора відповідно; $u_{\text{зад}}(t)$ – заздалегідь невідома дія; $\varepsilon(t)$ – помилка стеження; $u(t)$ – керуюча дія; $\omega(t)$ – кутова швидкість обертання електродвигуна $Q_{\text{ГГ}}(t)$ – гальмівний момент ГГ; $v_{\text{ПА}}(t)$ – швидкість прямолінійного горизонтального руху ПА; $y(t)$ – сигнал зворотного зв'язку; $Q_g(t)$ – гідродинамічний гальмівний

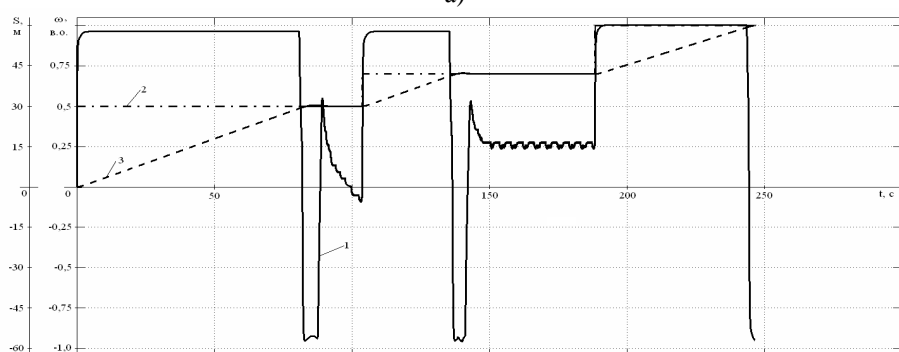
При аналізі перехідних процесів, представлених на рис. 8, а, можна зробити висновок, що адаптивні ПІД-регулятори в САК РКК на базі БАД при горизонтальному прямолінійному русі ПА забезпечують стійке відпрацювання вхідного сигналу по різних каналах керування з досить малими помилками розузгодження.

но, дуже складно враховувати зовнішні обурюючі дії (набігаючий на ПА потік води, що нелінійно змінюється, нелінійний момент ГГ і т. д.). За наявності достовірного спостерігача та відповідних баз правил цих недоліків позбавлена САК РКК на базі БАД при горизонтальному прямолінійному русі ПА з нечіткими регуляторами.

Розроблено САК РКК на базі БАД при горизонтальному прямолінійному русі ПА з синтезованими адаптивними ПІД-регуляторами та нечіткими регуляторами. Проведено моделювання їх роботи [6]. Результати моделювання представлено на рис. 9.



а)



б)

Рис. 9 – Результати моделювання роботи синтезованої САК РКК на базі БАД при горизонтальному прямолінійному русі ПА з адаптивними ПІД-регуляторами (а) та нечіткими регуляторами (б): крива 1 – кутова швидкість обертання ГГ; крива 2 – u_{zad} ; крива 3 – координата горизонтального прямолінійного переміщення ПА.

алгоритму зменшено на 15%. За базовий варіант прийнято САК з адаптивними ПІД-регуляторами.

Для зведення до мінімуму впливу допущень на якість керування системою, необхідно проводити експерименти на конкретному електроприводі, що не завжди можливо, або на його натурній імітаційній моделі. Для цього був розроблений спеціалізований моделюючий комплекс (СМК), до складу якого входить навчально-дослідницький лабораторний засіб «Стенд випробувальний СВ-1», призначений для дослідження ефективності САК електроприводами будь-якого роду струму РКК ПА і спеціалізоване програмне забезпечення. Фото СМК представлено на рис. 10. Для підтвердження достовірності результатів проведених досліджень було проведено метрологічну атестацію розробленого навчально-дослідницького лабораторного засобу «Стенд випробувальний СВ-1».

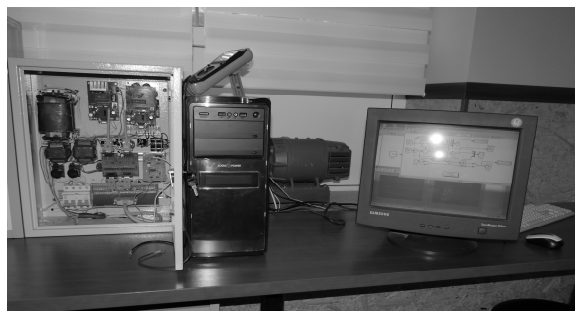


Рис. 10 – Фото спеціалізованого моделюючого комплексу.

Для експериментальних досліджень на СМК САК РКК на базі БАД при горизонтальному прямолінійному русі ПА, розроблено Simulink – моделі САК РКК по стабілізації кутової швидкості обертання, упору ГГ та швидкості переміщення ПА при його горизонтальному прямолінійному русі з синтезованими адаптивними ПІД-регуляторами та нечіткими регуляторами. Дослідження показали, що синтезовані САК РКК на базі БАД при горизонтальному прямолінійному русі ПА є стійкими. Розбіжність результатів комп'ютерного моделювання та результатів експериментальних досліджень незначна й складає 5-8%.

З графіків рис. 9 видно, що САК РКК на базі БАД при горизонтальному прямолінійному русі ПА з ПІД-регуляторами та нечіткими регуляторами виконали програму переміщення ПА по заданому алгоритму. При цьому в перехідних режимах (розгін, гальмування ПА) САК з нечіткими регуляторами показала більш високу швидкість відпрацювання сигналу.

В результаті порівняння показників якості керування синтезованих САК РКК на базі БАД при горизонтальному прямолінійному русі ПА з адаптивними ПІД-регуляторами та нечіткими регуляторами отримано збільшення перерегулювання кутової швидкості обертання ГГ при гальмуванні ПА на 12% і точності виведення на задану координату ПА на 29%, час виконання програми переміщення ПА по заданому

Висновки. 1. На основі системного аналізу удосконалено математичну модель рушійно-кермового комплексу як підводного апарата об'єкту керування при його горизонтальному прямолінійному русі шляхом обліку втрат гальмівного гідродинамічного моменту баророзвантаженого асинхронного двигуна, працюючого у середовищі рідкого діелектрика, що дає змогу створювати високоефективні регулятори та системи автоматичного керування в усьому діапазоні зміни робочої температури та виду діелектрика. 2. Вперше на основі удосконаленої узагальненої структури РКК ПА шляхом введення в неї передатних ланок, які відповідають заданому параметру керування та зворотних зв'язків, що враховують властивості БАД як нелінійного об'єкту керування в залежності від температури та виду діелектрика, синтезовано закони керування САК РКК по стабілізації кутової швидкості обертання, упора гребного гвинта ПА та швидкості переміщення ПА при його горизонтальному прямолінійному русі, що дають змогу підвищити ефективність керування підводним апаратом. 3. Вперше синтезовано адаптивний ПД-регулятор і нечіткий регулятор РКК ПА на базі БАД, які ґрунтуються на отриманих законах керування та в порівнянні з класичними ПД-регуляторами забезпечують трьохкратне зменшення помилки розугодження при стабілізації упору гребного гвинта ПА, двохкратне зменшення часу перехідного процесу при стабілізації кутової швидкості обертання та швидкості горизонтального прямолінійного переміщення підводного апарата. 4. Удосконалено структуру САК РКК ПА шляхом використання синтезованих адаптивних ПД-регуляторів і нечітких регуляторів та бібліотеки даних, яка дозволяє здійснювати автоматичний вибір регулятора за наявності невизначених зовнішніх збурень при горизонтальному прямолінійному русі ПА, що дає змогу підвищити ефективність керування під час переміщення підводного апарата по заданій траєкторії. 5. Розроблено, створено, випробувано, впроваджено у виробництво й в навчальний процес спеціалізований моделюючий комплекс для дослідження ефективності САК електроприводом, призначений для опрацювання в лабораторних умовах алгоритмів і принципів керування, виміру енергетичних і динамічних характеристик електроприводів, до складу якого входить метрологічно атестований навчально-дослідницький лабораторний засіб «Стенд випробувальний СВ-1».

Список літератури: 1. Агеев М.Д. Упрощенная методика расчета движителей для АПА / 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 / В.С. Блинцов, Д.В. Костенко, П. Шимчак // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». Збірник наукових праць. Тематичний випуск 10. – Харків: НТУ ХПІ. – 2001. – С. 410–411. 3. Блинцов В.С., Красюк А.Н. Особенности создания погружных электромеханических систем для подводной робототехники в целом и для подводных аппаратов в частности / В.С. Блинцов, А.Н. Красюк // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2010. – № 28. – С. 353–355. 4. Волянский С.М. Синтез математической модели системы ДРК ПА как объекта управления / С.М. Волянский // 36. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК. – 2014. – № 6. – С. 35–39. 5. Волянский С.М. Синтез законов управления САУ движительно-рулевым комплексом при горизонтальном прямолинейном движении подводного аппарата / С.М. Волянский // 36. наук. праць НУК. – Миколаїв: НУК, 2015. – №8. – С. 44–47. 6. Волянский С.М. Анализ энергоэффективности системы управления движителями подводного аппарата методом компьютерного моделирования / С.М. Волянский // Проблемы автоматизированного электропривода. Теория и практика. – Кременчуг: 2012. – № 3(19). – С. 472–474. 7. Король Ю.М. Влияние гидродинамических потерь на механические характеристики капсулированных управляемых асинхронных двигателей подводных аппаратов / Ю.М. Король // Сб. науч. трудов – Николаев: НУК, 2004. – № 6. С. 15–24. 8. Mann G.K.I., Bao-Gang Hu, and Gosine R.G. (1999), Analysis of direct action fuzzy PID controller structures [Text], *ICEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B. June 1999*, Vol. 29, Issue 3, pp. 371–378.

Bibliography (transliterated): 1. Ageev M.D. *Uproshchennaya metodika rascheta dvizhiteley dlya APA*. Vladivostok, Dalnauka, 1995, pp. 33–49. Print. 2. Blintsov V.S., Kostenko D.V., Shimchak P. *Opređenje poter v pogruzhnom elektroprivoде podvodnogo apparata*. // *Visnik Natsionalnogo tekhnichnogo universitetu «Kharkivskiy politekhnichniy institut»*. Zbirka naukovikh prats. Tematichniy vipusk 10. – Kharkiv, NTU KhPI, 2001, pp. 410–411. Print. 3. Blintsov V.S., Krasnyuk A.N. *Osobennosti sozdaniya pogruzhnykh elektromekhanicheskikh sistem dlya podvodnoy robototekhniki v tselom i dlya podvodnykh apparatov v chastnosti* // *Visnik Natsionalnogo tekhnichnogo universitetu «Kharkivskiy politekhnichniy institut»*. – Kharkiv: NTU «KhPI», 2010. – № 28. – pp. 353–355. Print. 4. Volyanskiy S.M. *Sintez matematicheskoy modeli sistemy DRK PA kak obekta upravleniya*. // *Zb. nauk. prats NUK*. Mikolaiv, NUK, 2014, issue 6. – pp. 35–39. Print. 5. Volyanskiy S.M. *Sintez zakonov upravleniya SAU dvizhitelno-rulevym kompleksom pri gorizontálnom pryamolineynom dvizhenii podvodnogo apparata*. // *Zb. nauk. prats NUK*. – Mikolaiv: NUK, 2015. – issue 8. – pp. 44–47. Print. 6. Volyansky S.M. *Analiz energoeffektivnosti sistemy upravleniya dvizhitelnyami podvodnogo apparata metodom komp'yuternogo modelirovaniya*. *Problemy avtomatizirovannogo elektroprivoда*. Kremenchug, Ukraine, 2014, issue 3(19), pp. 472–474. Print. 7. Korol Yu.M. *Vliyanie gidrodinamicheskikh poter na mekhanicheskie kharakteristiki kapsulirovannykh upravlyaemykh asinkhronnykh dvigateley podvodnykh apparatov*. // *Zb. nauk. prats NUK*. Mykolayiv, NUOS, 2004, issue 6, pp. 15–24. Print. 8. Mann G.K.I., Bao-Gang Hu, Gosine R.G. *Analysis of direct action fuzzy PID controller structures*. (1999) *ICEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part B. Publ.*, Vol. 29. Issue 3. pp. 371–378. Print.

Поступила (received) 08.08.2015