

*О.Я. НИКОНОВ*, докт. техн. наук, професор, НТУ «ХПИ»  
*В.Ю. УЛЬКО*, аспірант, ХНАДУ, г. Харків

## **РОЗРОБЛЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНО-СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ СЛІДКУЮЧИХ ПРИВОДІВ БАГАТОЦІЛЬОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ**

У статті розглянута задача розроблення інформаційно-структурної схеми електрогидравлічних слідкуючих приводів як підсистеми інформаційно-керуючої системи багатоцільових транспортних засобів. Наведено математичний опис елементів електрогидравлічних слідкуючих приводів. Розроблена інформаційно-структурна схема електрогидравлічних слідкуючих приводів з урахуванням нелінійних характеристик системи.

В статье рассмотрена задача разработки информационно-структурной схемы электрогидравлических следящих приводов как подсистемы информационно-управляющей системы многоцелевых транспортных средств. Приведено математическое описание элементов электрогидравлических следящих приводов. Разработана информационно-структурная схема электрогидравлических следящих приводов с учетом нелинейных характеристик системы.

In a paper the problem of development of the informational-block diagram of electrohydraulic servo drives as subsystems of an informational-controlling system of multi-purpose vehicles is considered. The mathematical description of elements electrohydraulic servo drives is reduced. The informational-block diagram of electrohydraulic servo drives is developed in view of nonlinear characteristics of system.

### **1. Постановка проблеми**

В теперішній час без використання сучасної електроніки в транспортних засобах неможливо витримати конкуренцію на ринку, особливо це стосується багатоцільових транспортних засобів, наприклад, багатовантажних тягачів, трубоукладачів для нафтогазопроводів, мобільних бурових установок, спеціальних машин для надзвичайних ситуацій, які працюють в умовах інтенсивних навантажень, складних умов експлуатації, підвищеної відповідальності механізмів. На борту багатоцільового транспортного засобу вирішується безліч задач по автоматизації окремих процесів з метою залишити для екіпажу виконання тільки мінімально необхідних дій, які витікають з логіки виконання задачі. Тому задача синтезу адаптивних інформаційно-керуючих систем (ІКС) багатоцільових транспортних засобів з енергоефективними виконавчими приводами є важливою і актуальною.

### **2. Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Проблема синтезу адаптивних систем керування для невизначених, нелінійних і змінних у часі об'єктів як з теоретичної, так і з практичної точки зору не вирішена остаточно. Основні стратегії адаптивного керування, у тому числі системи зі змінною структурою, що працюють у ковзному режимі представлені в [1,2]. Однак галузь застосування методів адаптивного керування

обмежується, головним чином, лінійними системами і деякими спеціальними класами нелінійних систем.

Шляхи вирішення поставленої проблеми ведуть до розроблення методів і алгоритмів синтезу ІКС з використанням розвинутої математичної моделі об'єкту керування з урахуванням його нелінійних характеристик, інтелектуальних систем керування, новітніх інформаційних технологій, а також стохастичних характеристик зовнішніх збурень, що діють на об'єкт. Інтелектуалізації таких систем можна досягнути насамперед на основі багатопараметричних нейронних мереж і методів еволюційного моделювання, зокрема генетичних алгоритмів, а також нечіткої логіки і гібридних нейро-фаззи архітектур [3].

### 3. Формулювання мети

Метою роботи є розроблення електрогідравлічних слідкуючих приводів для багатоцільових транспортних машин високої прохідності, що знаходяться під впливом зовнішніх випадкових збурень, з використанням розвинутої математичної моделі об'єкту керування з урахуванням його нелінійних характеристик, інтелектуальних систем керування, новітніх інформаційних технологій.

### 4. Математичний опис елементів та інформаційно-структурна схема електрогідравлічних слідкуючих приводів

Розглянемо електрогідравлічні слідкуючі приводи багатоцільових транспортних машин високої прохідності на прикладі системи наведення і стабілізації гармати танка у вертикальній площині.

Функціональна схема системи наведення і стабілізації гармати танка наведена на рис. 1.

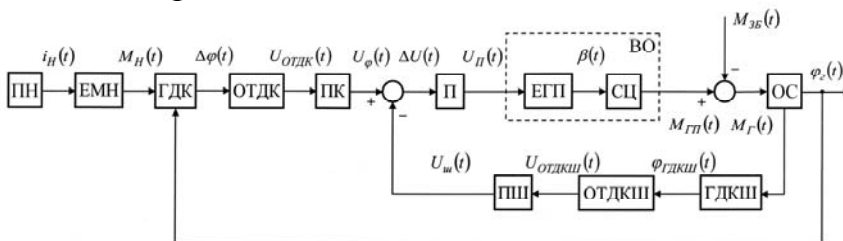


Рис. 1 – Функціональна схема системи наведення і стабілізації гармати танка з електрогідравлічним слідкуючим приводом

Потрібний напрямок пострілу гармати задається за допомогою гіроскопічного датчика кута ГДК. Для підвищення якості процесів стабілізації в

стабілізатор вводиться гнучкий зворотний зв'язок по кутовій швидкості переміщення об'єкту стабілізації.

Цей зворотний зв'язок реалізується за допомогою гіроскопічного датчика кутової швидкості ГДКШ. Обертаючи трансформатори датчика кута ОТДК і датчика кутової швидкості ОТДКШ перетворюють сигнали з ГДК і ГДКШ через підсилювачі кута ПК і швидкості ПШ в напруги  $U_\phi(t)$  і  $U_\omega(t)$  відповідно. Ці напруги перетворюються в напругу непогодження  $\Delta U(t) = U_\phi(t) - U_\omega(t)$ . Напруга  $\Delta U(t)$  через підсилювач П подається до входу виконавчого органу ВО, який складається з електрогідроприводу ЕГП та гідравлічного циліндра ГЦ. Виконавчий орган створює стабілізуючий момент  $M_{ГП}(t)$ , який компенсує

збурюючий момент  $M_{3B}(t)$  з метою утримання вісі каналу ствола гармати Г в заданому напрямку на ціль.

Складемо рівняння динаміки, передавальні функції і структурні схеми елементів, що входять до функціональної схеми системи наведення і стабілізації гармати танка з електрогідравлічним слідкуючим приводом.

Гіроскопічні датчики кута і швидкості. Для вимірювання кутових величин відхилень гармати, башти і кутових швидкостей їх відхилень у стабілізаторі застосовуються гіроскопічні прилади – гіроскопічний датчик кута і гіроскопічний датчик швидкості. Основними елементами гіроскопічних датчиків є гіроскоп і обертаючий трансформатор. Гіроскоп із трьома ступенями свободи застосований у датчику кута, гіроскоп із двома ступенями свободи – у датчику швидкості.

Передавальна функція трьохступеневого гіроскопа має вигляд

$$W_{ГДК}(s) = \frac{k_{ГДК}}{T_{\varphi 1}^2 s^2 + T_{\varphi 2} s + 1},$$

де  $k_{ГДК}$  – коефіцієнт передачі ГДК;  $T_{\varphi 1}$  і  $T_{\varphi 2}$  – постійні часу ГДК.

Малогабаритні гіроскопічні датчики кута мають малі постійні часу  $T_{\varphi 1}$  і  $T_{\varphi 2}$  у порівнянні з іншими постійними часу системи. У цьому випадку час перехідних процесів малий і з достатньою для інженерної практики точністю можна вважати трьохступеневий гіроскоп безінерційним. Тоді передавальна функція трьохступеневого гіроскопа приймає вигляд

$$W_{ГДК}(s) = k_{ГДК}. \quad (1)$$

Передавальна функція двохступеневого гіроскопа має вигляд

$$W_{ГДКШ}(s) = \frac{k_{ГДКШ}}{T_{\omega 1}^2 s^2 + T_{\omega 2} s + 1},$$

де  $k_{ГДКШ}$  – коефіцієнт передачі ГДКШ;  $T_{\omega 1}$  і  $T_{\omega 2}$  – постійні часу ГДКШ.

Таким чином, за своїми властивостями двохступеневий гіроскоп є інерційною ланкою другого порядку.

При структурному аналізі систем стабілізації як вхідний сигнал датчика швидкості приймається не кутова швидкість  $\omega$  об'єкта, а відповідне їй переміщення  $\varphi = \omega/s$ . Тоді передавальна функція ГДКШ приймає вигляд

$$W_{ГДКШ}(s) = \frac{k_{ГДКШ}}{T_{\omega 1}^2 s^2 + T_{\omega 2} s + 1} s. \quad (2)$$

Обертаючі трансформатори. Вхідним сигналом обертаючого трансформатора ОТ є кут обертання рамки гіроскопа  $\alpha(t)$ , а вихідним – сигнал постійного струму  $U_{OT}(t)$ . Таким чином, передавальна функція обертаючого трансформатора має вигляд

$$W_{OT}(s) = \frac{L\{U_{OT}(t)\}}{L\{\alpha(t)\}} = k_{OT}, \quad (3)$$

де  $k_{OT}$  – коефіцієнт передачі ОТ.

Дросельний електрогідралічний привід гармати. У системах наведення і стабілізації гармати широко застосовуються електрогідралічні приводи дросельного регулювання (рис. 2).

Привод складається з виконавчого гідралічного циліндра ГЦ, гідралічного регулятора ГР і електромагніту управління гідроприводу ЕМУГП. Потік робочої рідини створюється шестеренчастим або аксіально-поршневим насосом Н постійної продуктивності. Гідралічний привід, виконаний за диференціальною схемою, управляється електромагнітом поворотного типу.

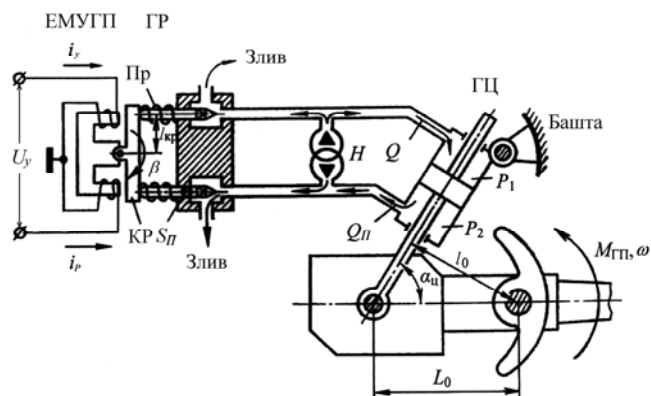


Рис. 2 – Конструктивно-функціональна схема дросельного електрогідроприводу гармати

Момент, що розвиває електромагніт управління, пропорційний різниці струмів у його обмотках. Коромисло КР голчасто-клапанного гідралічного регулятора, що є якорем електромагніту управління, переміщує голки клапанів. При цьому потік робочої рідини перерозподіляється між гідралічним циліндром і порожниною зливу. Гідралічний циліндр своїм корпусом пов'язаний з баштою, а штоком – з коливальною частиною гармати. Точка кріплення гідралічного циліндра до коливальної частини гармати знаходиться на відстані  $L_0$  від вісі цапф. Кут повороту гармати відносно вертикалі –  $\alpha_{Ц}$ .

Для аналізу статичних і динамічних властивостей електрогідралічного привода дросельного регулювання розглянемо рівняння руху його елементів відповідно до рис. 2.

Вхідним сигналом електромагніту управління з коромислом гідралічного підсилювача є напруга  $U_y(t)$ , що подається до обмотки електромагніту. Під дією цієї напруги по обмотках електромагніту протікає струм  $\Delta i(t) = \Delta i_y(t) - \Delta i_p(t)$ , який забезпечує появу моменту електромагніту, що прикладається до коромисла. Останнє, повертаючись на кут  $\beta(t)$ , діє на голки гідралічного підсилювача, забезпечуючи тим самим зміну прохідних перерізів дроселів.

Струм, що протікає по обмотці електромагніту, пов'язаний із прикладеною напругою  $U_y(t)$  диференціальним рівнянням

$$L_y \frac{d\Delta i_y(t)}{dt} + r_y \Delta i_y(t) = U_y(t), \quad (4)$$

де  $L_y$  – індуктивність обмотки управління електромагніта;  $r_y$  – активний опір обмотки.

Виходячи з рівняння (4), отримаємо передавальну функцію обмотки управління ОУ

$$W_{OY}(s) = \frac{k_y}{T_y s + 1}, \quad (5)$$

де  $k_y = \frac{1}{r_y}$  – коефіцієнт передачі обмотки управління;  $T_y = \frac{L_y}{r_y}$  – постійна часу обмотки управління.

Збурений рух коромисла описується рівнянням

$$I_K \frac{d^2 \beta(t)}{dt^2} + f \frac{d\beta(t)}{dt} + c\beta(t) = \Delta i(t), \quad (6)$$

де  $I_K$  – момент інерції коромисла з голками;  $f$  – коефіцієнт в'язкого тертя;  $c$  – коефіцієнт жорсткості пружини Пр.

З рівняння (6) отримуємо передавальну функцію електромагніта ЕМ

$$W_{EM}(s) = \frac{k_{em}}{T_{em1}^2 s^2 + T_{em2} s + 1}, \quad (7)$$

де  $k_{em} = \frac{1}{c}$  – коефіцієнт передачі електромагніта;  $T_{em1}^2 = \frac{I_K}{c}$  і  $T_{em2} = \frac{f}{c}$  – постійні часу електромагніта.

При кутовому переміщенні коромисла  $\beta(t)$  виникає лінійне переміщення голок на величину

$$\Delta x(t) = l_{kp} \sin \beta(t) \cong l_{kp} \beta(t), \quad (8)$$

де  $l_{kp}$  – плече коромисла гідравлічного регулятора. Наближене значення справедливо, оскільки кути повороту коромисла звичайно малі.

Рівняння витрат визначається потоком рідини, що нагнітається насосом, і положенням голок клапанів гідравлічного регулятора. Витрата рідини в одну з робочих порожнин гідравлічного циліндра пропорційна лінійному переміщенню  $\Delta x(t)$  голок клапанів гідравлічного регулятора

$$Q(t) = k_Q \Delta x(t), \quad (9)$$

де  $k_Q$  – коефіцієнт передачі витрати рідини гідравлічного циліндра.

Витрата  $Q(t)$  для гідравлічного циліндра є керуючою дією. Якщо витрата рідини в одну із робочих порожнин гідравлічного циліндра дорівнює  $Q(t)$ , то витрата рідини  $Q_{II}(t)$ , що витісняється з-під поршня другої робочої порожнини, пропорційна площі поршня і його лінійній швидкості. Шток поршня переміщується відносно корпусу гідравлічного циліндра і викликає поворот гармати відносно башти. Отже, витрата рідини дорівнює

$$Q_{II}(t) = S_{II} v_{II}(t) = S_{II} l_0 \omega_2(t) = k_E \omega_2(t), \quad (10)$$

де  $v_{II}(t)$  – лінійна швидкість поршня;  $\omega_2(t)$  – кутова швидкість гармати;  $k_E = S_{II} l_0$  – коефіцієнт передачі кутової швидкості  $\omega_2(t)$  в витрати рідини  $Q_{II}(t)$ ;  $S_{II}$  – площа поршня;  $l_0 = L_0 \sin \alpha_{II}(t)$ .

Різниця витрат  $\Delta Q(t) = Q(t) - Q_{II}(t)$  дорівнює витокам робочої рідини і визначається провідністю  $G$  гідравлічної системи та різницею тисків  $\Delta P(t)$

$$\Delta Q(t) = Q(t) - Q_{II}(t) = G \Delta P(t). \quad (11)$$

Зворотній зв'язок тиску рідини на голки гідравлічного регулятора

$$\Delta i_P(t) = k_P \Delta P(t). \quad (12)$$

Гідравлічний циліндр є виконавчим двигуном системи. Обертаючий момент гідравлічного приводу  $M_{ГП}$ , що розвиває гідравлічний циліндр на вісі цапф гармати, пропорційний різниці тисків  $\Delta P(t) = P_1(t) - P_2(t)$  у його робочих порожнинах, площі  $S_{II}$  поршня і плеча  $l_0$

$$M_{ГП}(t) = \Delta P(t) S_{II} L_0 \sin \alpha_{II}(t) \cong S_{II} l_0 \Delta P(t) = k_M \Delta P(t), \quad (13)$$

де  $k_M = S_{II} l_0$  – коефіцієнт передачі різниці тисків  $\Delta P$  у момент гідравлічного приводу  $M_{ГП}$ .

Тому що кути повороту гармати відносно вертикалі невеликі, то приблизно вважають  $\alpha_{II}(t) = \text{const}$  и  $l_0 = L_0 \sin \alpha_{II}(t) = \text{const}$ .

На рис. 3 представлена структурна схема дросельного електрогідроприводу гармати

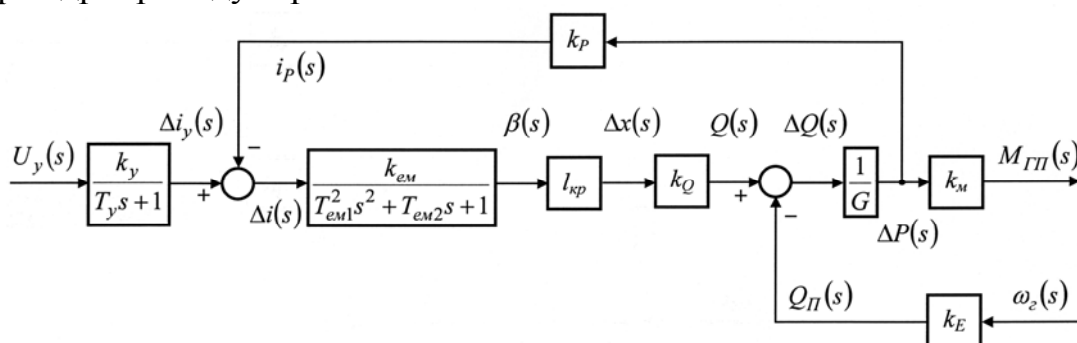


Рис. 3 – Структурна схема дросельного електрогідроприводу гармати

Гармата як об'єкт керування системи наведення і стабілізації. Рівняння руху стабілізованої гармати записується у вигляді

$$J_{\Sigma} \frac{d\omega_z(t)}{dt} + f_{\Sigma} \omega_z(t) = M_{Г}(t), \quad (14)$$

де  $J_{\Sigma}$  – сумарний момент інерції гармати і зв'язаних з ним пристроїв відносно вісі цапф;  $\omega_z(t)$  – кутова швидкість гармати;  $f_{\Sigma}$  – сумарний коефіцієнт в'язкого тертя;  $M_{Г}(t) = M_{ГП}(t) - M_{ЗБ}(t)$  – результуючий момент, що діє на гармату;  $M_{ГП}(t)$  – стабілізуючий момент гідравлічного приводу;  $M_{ЗБ}(t)$  – сумарний збурюючий момент.

Кут повороту гармати визначається як інтеграл від швидкості

$$\varphi_z(t) = \int \omega_z(t) dt. \quad (15)$$

Рівняння (14) і (15) в операторній формі дають систему рівнянь руху стабілізованої гармати у вигляді

$$(J_{\Sigma} s + f_{\Sigma}) \omega_z(s) = M_{Г}(s); \quad \varphi_z(s) = \frac{\omega_z(s)}{s}. \quad (16)$$

Кожне з рівнянь (16) може бути представлене відповідною передавальною функцією. На підставі першого рівняння одержимо

$$W_1(s) = \frac{\omega_2(s)}{M_{\Gamma}(s)} = \frac{k_2}{T_2 s + 1}, \quad (17)$$

де  $k_2 = \frac{1}{f_{\Sigma}}$  – коефіцієнт передачі гармати;  $T_2 = \frac{J_{\Sigma}}{f_{\Sigma}}$  – постійна часу гармати.

На підставі другого рівняння маємо

$$W_2(s) = \frac{\varphi_2(s)}{\omega_2(s)} = \frac{1}{s}. \quad (18)$$

З урахуванням того, що передавальні функції  $W_1(s)$  і  $W_2(s)$  відображають послідовність визначення регульованих величин, знайдемо повну передавальну функцію гармати  $W_{\Gamma}(s)$ , як об'єкта регулювання

$$W_{\Gamma}(s) = W_1(s) \cdot W_2(s) = \frac{\varphi_2(s)}{M_{\Gamma}(s)} = \frac{k_2}{(T_2 s + 1)s}. \quad (19)$$

На рис. 4 представлена структурна схема гармати.

На основі вищеведеного математичного опису складемо інформаційно-структурну схему системи наведення і стабілізації

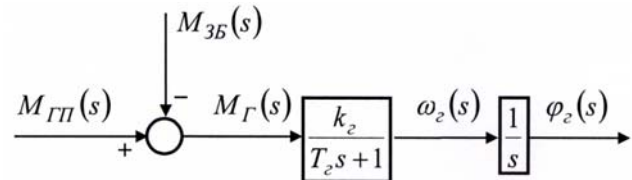


Рис. 4 – Структурна схема гармати

гармати з урахуванням нелінійних характеристик системи (рис. 5).

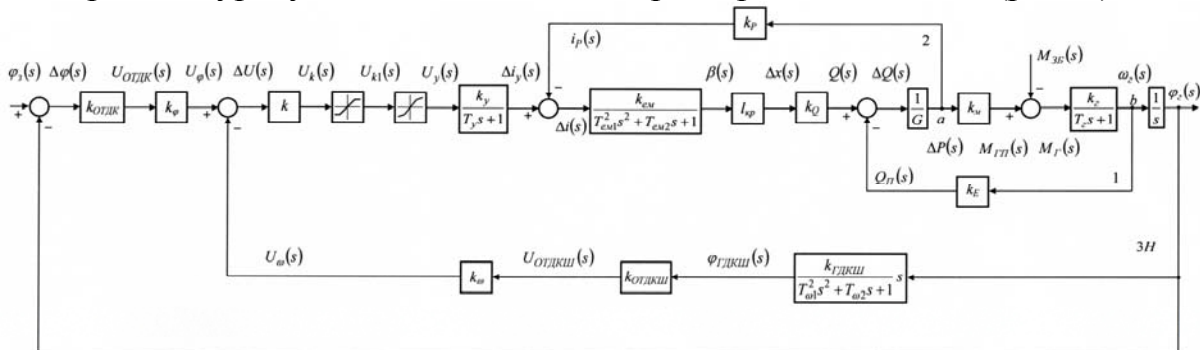


Рис. 5 – Інформаційно-структурна схема системи наведення і стабілізації гармати з урахуванням нелінійних характеристик системи

## 5. Виводи і перспективи подальших досліджень

В статті розроблена інформаційно-структурна схема електрогідравлічних слідкуючих приводів з урахуванням нелінійних характеристик для багатоцільових транспортних машин. Для подальших досліджень доцільно використання нечітких нейронних мереж з самоорганізацією.

**Список літератури:** 1. Емельянов С.В. Системы автоматического управления с переменной структурой. – М.: Наука, 1967. – 298 с. 2. Александров Е.Е., Александрова И.Е., Костяник И.В. Танковая система наведения и стабилизации с переменной структурой // Интегрированные технологии та енергозбереження. – Харків: НТУ «ХПІ», 2006. – №2. – С. 71-74. 3. Терехов В.А., Ефимов Д.В., Тюкин И.Ю. Нейросетевые системы управления. – М.: ИПРЖР, 2002. – 480 с.

Поступила в редколлегию 01.12.2010