

## ІЄРАРХІЧНА МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНОГО МЕХАТРОННОГО МОДУЛЯ РУХУ

## THE HIERARCHICAL MODEL OF ELECTROHYDRAULIC MECHATRONIC MODULE OF MOVEMENT

*Систематизовано підходи до побудови ієрархічних моделей електрогідрравлічних систем. Шляхом декомпозиції за морфологічним принципом отримано ієрархічну модель електрогідрравлічного мехатронного модуля руху, яка дозволяє встановити внутрішні міжрівневі зв'язки елементів на основі визначальних базових параметрів. Для визначення максимальних і початкових значень робочих параметрів електрогідрравлічного мехатронного модуля руху, в залежності від алгоритму його функціонування, розроблено математичну модель модуля в сталому режимі, яка є базою для його подальшого синтезу та оптимізації.*

*Ключові слова: мехатронний модуль, ієрархічна модель, статична модель, підсистеми, міжрівневі зв'язки, робочі параметри.*

### Вступ

Одним із сучасних напрямків розвитку промислового устаткування та машин є використання блочно-модульного принципу їх побудови. Для сучасних систем гідроприводів такими модулями є мехатронні модулі руху — синергетична сукупність механічних (гідромеханічних), електротехнічних, електронних компонентів і інформаційних та програмних засобів, які реалізують заданий алгоритм функціонування.

Блочномодульний підхід до проектування систем гідроприводів дозволяє проводити їх декомпозицію, зменшити кількість ступенів свободи, отримати ієрархічну структуру, провести структурний синтез та спростити схему реалізації за рахунок мінімізації внутрішніх зворотних зв'язків, які можна отримати з інформаційної моделі, підпорядкувати структуру об'єкта процесу функціонування, використовувати типові модулі при їх побудові [1]. Застосування модульного принципу побудови складних систем дозволяє досконало вивчити окремі модулі, однак при цьому виникає необхідність дослідження їх взаємозв'язків. Зазначимо, що аналіз і синтез систем гідроприводів, побудованих за принципом мехатронних модулів руху, базується на математичних моделях робочого процесу останніх.

Перспективним є використання мехатронного модуля руху, який містить насос (в тому числі з  $p/q$  регулюванням — одночасним керуванням тиском і видатком), сервоциліндр, датчик переміщень та електронний блок керування. Зазвичай керування такими модулями здійснюється гідророзподільниками з пропорційним електричним керуванням, запобіжними і редукційними клапанами, регуляторами витрати. Фірми *Rexroth*, *Parker Hannifin*, *Moog* та інші розробили апарати з пропорційним електричним керуванням, запірнорегулюючий елемент (ЗРЕ), який має нульове перекриття та можливість встановлення дроселюючого гідророзподільника у

першому каскаді, що дозволило значно поліпшити їх динамічні характеристики [2]. Зазначимо, що сучасні мехатронні модулі руху забезпечують прискорення до 80 g, швидкість до 10 м/с та частоту подвійних ходів 3500 за хвилину для силових вібраційних механізмів.

При описі та дослідженні складних технічних систем ефективно застосовувати ієрархічний підхід, який передбачає розбиття системи на вертикальні супідрядні підсистеми різних рівнів, розробку модульних моделей кожної з підсистем, введення пріоритетів для підсистем старших рівнів по відношенню до підсистем молодших рівнів, певну автономність кожної з підсистем [3]. Оскільки кожна з підсистем можна у свою чергу розбити на нові підсистеми, внаслідок цього отримують багаторівневу ієрархічну систему моделей. Застосування ієрархічного підходу дозволяє використовувати аналітичні, стохастичні та моделі ідентифікації. Це підвищує точність моделей у реальному процесі. Тому розробка ієрархічних моделей мехатронних модулів є актуальним науково-технічним завданням.

### Аналіз літературних джерел

У багатьох роботах наведено теоретичні основи розрахунку та проектування систем гідроприводів, насосів, гідроапаратури й інших гідравлічних пристроїв. Однак в цих роботах не розглянуто ієрархічні моделі як гідравлічних систем і елементів, так і гідравлічних пристроїв.

Розгляду ієрархічних моделей складних систем присвячено достатньо велику кількість наукових робіт, однак у них здебільшого розглядаються моделі керування суспільством і великими компаніями та колективами, обчислювальними комплексами, складними технологічними процесами. Загальні питання теорії ієрархічних багаторівневих систем розглядаються

у роботі [3]. У ній наведено теорію та ієрархічні моделі сепаратабельних систем керування складними технологічними процесами та виробничими компаніями, а ієрархічні моделі електрогідравлічних та гідравлічних систем та пристроїв не розглядаються. Зауважимо, що ця робота може служити основою для розробки ієрархічних моделей будь-яких систем та пристроїв.

У роботі [4] наведено основи декомпозиції багаторівневих ієрархічних моделей, згідно яких технічна система описується факторним простором, який містить множину вхідних змінних  $\{X_i\}$ , виходів  $\{W_i\}$  та обмежень

$\{\Omega_i\}$ , де  $i=1,2,\dots,n$  — кількість рівнів. Таке представлення дозволяє розглядати кожний з рівнів як самостійну модель підсистеми, що відповідає відображенню факторного простору  $w_i$  у вигляді:

- для  $i$ -го рівня  $i = n$

$$w_n : X_n \times \Omega_n \times U_n \Rightarrow W_n, \quad (1)$$

- для  $i$ -го рівня  $1 < i < n$

$$w_i : X_i \times \Omega_i \times Z_i \times U_i \Rightarrow W_i,$$

- для  $i$ -го рівня  $i = 1$

$$w_1 : X_1 \times \Omega_1 \times Z_1 \Rightarrow W_1,$$

де  $U_i$  і  $Z_i$  — множина зв'язків  $i$ -го рівня з сусідніми рівнями:

$$u_i : W_i \Rightarrow U_{i+1} \quad \text{і} \quad z_i : W_i \Rightarrow Z_{i-1}. \quad (2)$$

Співвідношення (1) і (2) показують зв'язок між моделями різних рівнів та фактично визначають межі їх незалежності. Таким чином, вимоги до системи на вищих рівнях є умовами чи обмеженнями на нижчих рівнях. Однак у цій роботі не розглядаються ієрархічні моделі гідравлічних систем та пристроїв.

Розробці ієрархічної моделі аксіально-поршневої гідромашини, на базі якої розроблено методологію її проектування, присвячено роботу [5]. Наведені у ній загальні принципи та підходи жорстко прив'язано до конструкції аксіально-поршневої гідромашини, а отже також не можуть бути цілком використані при побудові ієрархічних моделей гідравлічних систем та пристроїв.

## Постановка задачі

Розглянуто електрогідравлічний мехатронний модуль руху, який містив: підсистему живлення; підсистему керування — гідророзподільник з пропорційним електричним керуванням з нульовим перекриттям, встановленим у першому каскаді безпосередньо біля виконавчого механізму, та електричний блок керування; виконавчу підсистему — гідравлічний циліндр з датчиком переміщень, гідравлічну схему якого описано у статті [6].

При розробці ієрархічної моделі цього модуля використовували методологію ієрархічного представлення, формалізації і координації етапів роботи, яка базується на

головних принципах системного підходу: ієрархічності, розчленованості, структурності, застосуванні моделей різних типів, цілості та прескриптивності, тобто можливості за моделлю системи приписувати чи рекомендувати окремі її параметри. За морфологічним принципом декомпозиції, при якому структура моделі відповідає фізичній структурі пристрою, а окремі підсистеми відповідають окремим його вузлам і елементам, отримали ієрархічний опис у підсистемах мехатронного модуля руху (рисунок 1).

## Переміщення робочого органа виконавчого механізму

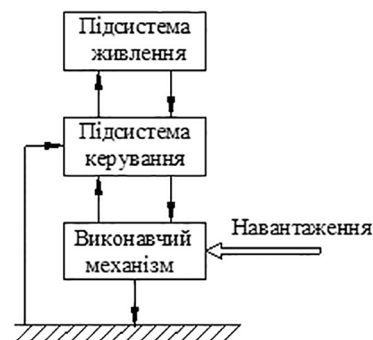


Рисунок 1 — Підсистеми ієрархічного опису електрогідравлічного мехатронного модуля руху

На рисунку 1 не показано: принципи, покладені в концепцію розробки гідравлічних елементів та пристроїв (типи: насоса, гідравлічних пристроїв та елементів, їх конструювання тощо); множина конструктивних параметрів (діаметр умовного проходу, довжина трубопроводу, об'єм гідравлічного бака, габаритні розміри тощо); множина робочих параметрів (тиск, витрата робочої рідини, потужність, ймовірність безвідмовної роботи, рівень звуку, тощо); множина додаткових умов (обмеження за масою і габаритами; відсутність кавітації та гідравлічного удару тощо). Не показаний також гідророзподільник з електричним керуванням, який забезпечує розвантаження насоса підсистеми живлення упродовж пауз у роботі модуля. Зазначимо, що кожна підсистема має свій набір змінних, принципів побудови і представлень, що дозволяє певною мірою обмежитися вивченням тільки цієї підсистеми.

Ієрархічний опис електрогідравлічного мехатронного модуля руху, отриманий шляхом декомпозиції підсистем, зображено на рисунку 2.

До першого рівня підсистеми відносяться задачі дослідження достатньо складних комплектних вузлів модуля, наприклад, насоса, переливного клапана тощо. Функціонування таких вузлів визначається взаємодією реальних фізичних процесів, а дослідження їх моделей дозволяє визначити вплив конструктивних та робочих параметрів на його характеристики.

До другого рівня підсистеми відносяться моделі, для яких може бути виділено один домінуючий фізичний процес, який визначає роботу підсистеми, наприклад, зміну витрати на виході тощо. Третій рівень включає робочі параметри і, зазвичай, не допускає подальшої декомпозиції. Слід зазначити, що наявність зв'язків усередині підсистеми суттєво ускладнює їх дослідження.

Перший етап синтезу електрогідравлічного мехатронного модуля руху, на якому визначаються максимальні та початкові значення його робочих параметрів залежно від алгоритму функціонування, доцільно проводити за його математичною моделлю в усталеному режимі, тому далі розглянемо саме її.

Математичну модель електрогідравлічного мехатронного модуля руху в усталеному режимі отримали з його ієрархічної моделі (рисунок 2). При розробці цієї моделі приймали наступні припущення: гідророзподільник — ідеальний, перетоками робочої рідини і опором внутрішніх каналів у ньому нехтували; пружини гідроапаратів працюють у межах, де їх характеристики лінійні і не відбувається відрив їх кінців від поверхонь контакту; корпусу гідроапаратів та гідропристроїв, каналів та трубопроводів — абсолютно жорсткі, а їх пружні властивості враховуються зведеним модулем об'ємної пружності робочої рідини; нехтували початковими ділянками трубопроводів та хвиловими процесами у них; відсутні: витоки та перетоки, кавітація, гідравлічний удар і виконується умова нерозривності робочої рідини; робоча рідина — ньютонівська, а її течія ізотермічна. Приймали, що тиск зливу дорівнює атмосферному та у пропорційному електромагніті і датчиках переміщень відсутній гістерезис.

При прийнятих припущеннях робочий процес електрогідравлічного мехатронного модуля руху описується рівняннями:

- зміни стану робочої рідини:

$$T_a = \text{const}; \rho = \text{const} \quad (3)$$

де  $T_a$  — температура робочої рідини;  $\rho$  — густина робочої рідини, які приймали такими, що дорівнюють їх середньому значенню;

- витрати на виході з об'ємного насоса

$$q_i = V_p n, \quad (4)$$

де  $V_p$  і  $n$  — відповідно робочий об'єм і частота обертання вала насоса;

- тиску на виході з трубопровода [7]

$$p_{\text{тр}} = k \rho g q_{\text{н}}^m, \quad (5)$$

де  $k = 128v_1(l + l_{\text{екв}})/(\pi g d^4)$ ,  $m = 1$  — для ламінарного режиму

течії робочої рідини,  $k = 8(\Sigma \xi + \lambda_{\text{тр}} l/d)/(\pi g^2 d^4)$ ,  $m = 2$  — для турбулентного режиму течії робочої рідини;  $g$  — прискорення вільного падіння;  $v_1$  — кінематична в'язкість робочої рідини;  $l$  і  $l_{\text{екв}}$  — відповідно, довжина і еквівалентна довжина трубопровода;  $d$  — внутрішній діаметр трубопровода;  $\Sigma \xi$  — сума місцевих опорів гідравлічної системи модуля на ділянці від насоса до бака;  $\lambda_{\text{тр}}$  — коефіцієнт втрат на тертя;

- перепаду тиску на фільтрі [8]

$$\Delta p_{\phi} = \mu q_{\text{н}} / k_{\phi} A_{\phi}, \quad (6)$$

де  $\mu$  — коефіцієнт динамічної в'язкості робочої рідини;  $k_{\phi}$  і  $A_{\phi}$  — відповідно, коефіцієнт пропорційності фільтрувального матеріалу [8] і площа поверхні фільтроелемента;

- руху запірно-регулюючого елемента переливного клапана

$$m_{\text{кп}} x_{\text{кп}} = \Sigma F_{\text{кп}}, \quad (7)$$

де  $m_{\text{кп}}$  і  $x_{\text{кп}}$  — відповідно, маса запірно-регулюючого елемента переливного клапана та зведеної до нього всіх мас рухомих частин і його прискорення;  $\Sigma F_{\text{кп}}$  — сума сил, які діють на запірно-регулюючий елемент переливного клапана;

- витрати робочої рідини з переливного клапана, яка надходить до гідророзподільника

$$q_{\text{кп}} = G(x_{\text{кп}}) \sqrt{p_{\text{тр}} - p_{\text{пк}}}, \quad (8)$$

де  $p_{\text{тр}}$  і  $x_{\text{кп}}$  — відповідно, тиски на виході з трубопровода і переливного клапана;  $G(x_{\text{кп}})$  — гідравлічна провідність дроселюючої щілини переливного клапана залежно від переміщення його запірно-регулюючого елемента;

- руху запірно-регулюючого елемента гідророзподільника з пропорційним електричним керуванням

$$m_{\text{гп}} x_{\text{гп}} = F_{\text{пем}}(i_{\text{кер}}) - \Sigma F_{\text{гп}}, \quad (9)$$

де  $m_{\text{гп}}$  і  $x_{\text{гп}}$  — відповідно маса запірно-регулюючого елемента гідророзподільника з пропорційним електричним керуванням та зведеної до нього маси всіх рухомих частин і його прискорення;  $F_{\text{пем}}(i_{\text{кер}})$  — сила пропорційного електромагніта залежно від струму керування  $i_{\text{кер}}$ ;  $\Sigma F_{\text{гп}}$  — сума сил, які діють на запірно-регулюючий елемент гідророзподільника з пропорційним електричним керуванням;

- витрати робочої рідини через дроселюючі щілини гідророзподільника

$$q_{\text{гп}} = G(x_{\text{гп}}) \sqrt{p_{\text{пк(гп)}} - p_{\text{гп(зл)}}}, \quad (10)$$

де  $p_{\text{пк(гп)}}$  і  $x_{\text{гп(зл)}}$  — відповідно, тиски на виході з переливного клапана (гідроциліндра) і на виході гідророзподільника (зливу);  $G(x_{\text{гп}})$  — гідравлічна провідність дроселюючої щілини гідророзподільника залежно від переміщення його запірнорегулюючого елемента ;

- сили, яку розвиває лінійний пропорційний електромагніт [9]

$$F_{\text{пем}} = 0,5 K_1 K_2 K_3 \mu_n A_{\text{пем}} n_{\text{пем}}^2 i_{\text{кер}}^2 / x_{\text{гп}}^2, \quad (11)$$

де  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $K_3$  — відповідно, коефіцієнти, які враховують розмірність величин, що входять до формули (9), залежність сили від переміщення якоря і його геометричних розмірів і струму в котушці;  $\mu_n$  — магнітна провідність середовища (повітря);  $A_{\text{пем}}$  — площа торцевої поверхні якоря;  $n_{\text{пем}}$  — кількість витків у котушці;  $i_{\text{кер}}$  — струм в обмотці електромагніту;  $x_{\text{гп}}$  — переміщення запірно-регулюючого елемента гідророзподільника;

- струму керування пропорційним електромагнітом (з виходу блока керування)

$$i_{\text{кер}} = f_3(u_3) - f_{\text{дпк}}(u_{\text{дпк}}) - f_{\text{дпу}}(u_{\text{дпу}}), \quad (12)$$

де  $f_i(u_i)$  — функції перетворення  $i$ -го блоку керування залежно від напруги;

- руху штока гідроциліндра разом із зведеними до нього масами рухомих частин

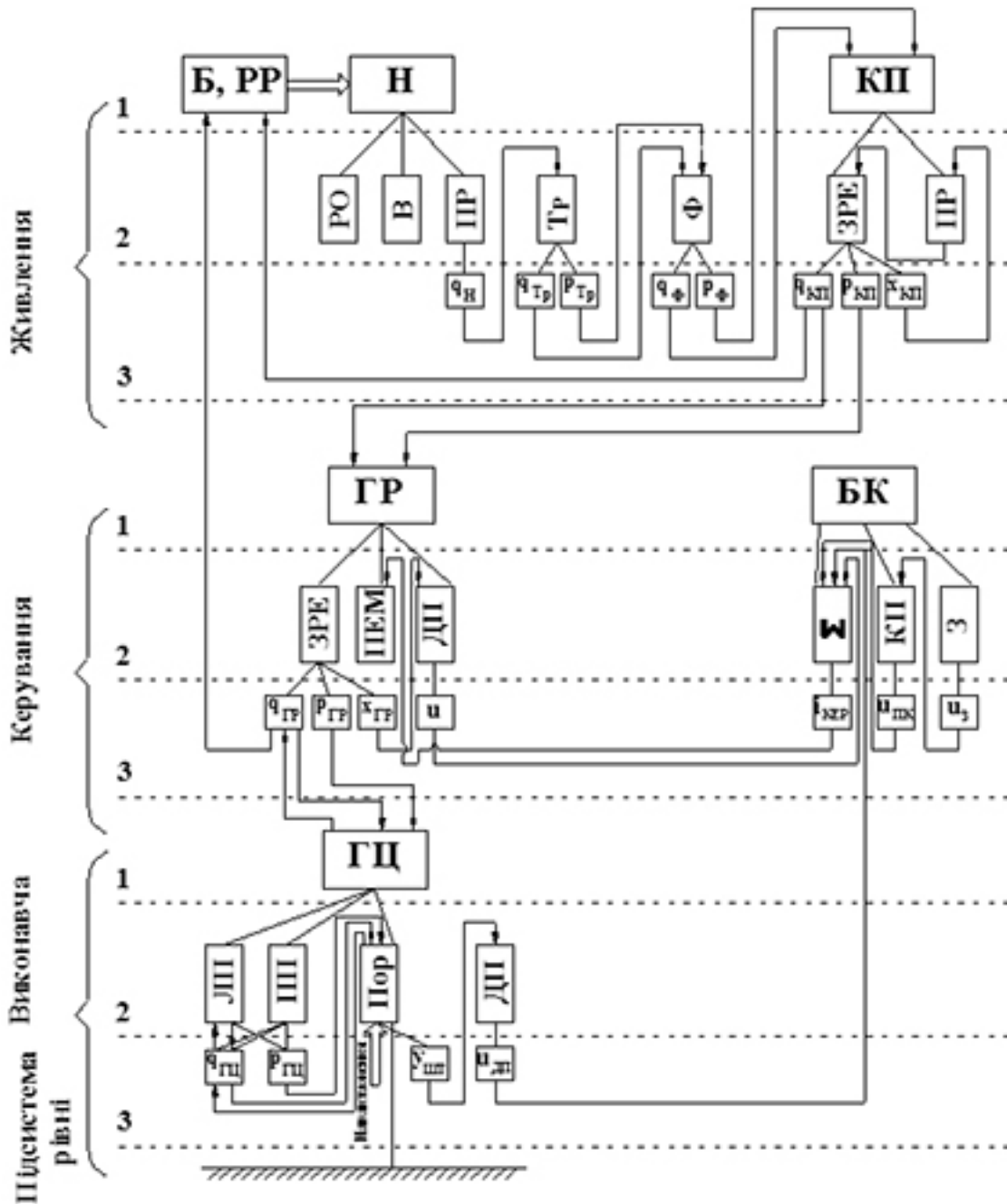


Рисунок 2 — Ієрархічний опис електрогідравлічного мехатронного модуля руху:

Б — бак; Н — насос; КП — клапан переливний; РО — робочі органи; В — вал; Тр — трубопровід; Ф — фільтр;  
 Пр — пружина; ГР — гідророзподільник з пропорційним електричним керуванням; БК — блок керування;

ПЕМ — пропорційний електромагніт; ДП — датчик переміщень;  $\Sigma$  — блок підсумків; КП — керуючий пристрій;  
 З — датчик; ГЦ — гідроциліндр; ЛП і ПП — відповідно ліва і права порожнини ГЦ; Пор — поршень зі штоком ГЦ;  
 $q_i$  і  $p_i$  — відповідно витрата і тиск на виході ізо гідропристрою;  $x_{кп}$  і  $x_{гп}$  — відповідно переміщення ЗРЕ КП і ГР;  
 $y_{ст}$  — переміщення штока ГЦ.



$$m_{\Gamma Ц} y_{шт} = A_1 p_{\Gamma P} - A_2 p_{\Gamma Ц} - F_{тер} - F_{нав}, \quad (13)$$

де  $m_{\Gamma Ц}$  — маса штока гідроциліндра разом із зведеними до нього масами рухомих частин;  $y_{шт}$  — переміщення штока гідроциліндра;  $A_1$  і  $A_2$  — відповідно площі безштокової і штокової порожнин гідроциліндра;  $p_{\Gamma P}$  і  $p_{\Gamma Ц}$  — відповідно, тиск у безштоковій і штоковій порожнинах гідроциліндра;  $F_{тер}$  і  $F_{нав}$  — відповідно, сили тертя і зовнішнього навантаження;

• витрати робочої рідини у лівій і правій порожнинах гідроциліндра

$$q_{\Gamma Ц1} = A_1 y_{шт}; \quad q_{\Gamma Ц2} = A_2 y_{шт}; \quad (14)$$

• обмеження переміщень запірно-регулюючого елемента переливного клапана і гідророзподільника та штока гідроциліндра

$$x_{КП\min} < x_{КП} \leq x_{КП\max}; \quad x_{ГР\min} < x_{ГР} \leq x_{ГР\max} \quad \text{і} \quad x_{КП\min} < x_{КП} \leq x_{КП\max}. \quad (15)$$

Відзначимо, що сили тертя та гідродинамічну силу слід розраховувати за залежностями, наведеними у статтях [10] і [11].

Для визначення максимальних та початкових значень робочих параметрів електрогідралічного мехатронного модуля руху задавали конструктивні та робочі параметри його гідралічної частини, такі як діаметр умовного проходу каналів та трубопроводів, геометричні розміри і навантаження гідроциліндра, витрату на виході з насоса і струм керування пропорційного електромагніта. Визначали положення ЗРЕ гідророзподільника з пропорційним електричним керуванням, витрату і тиск в порожнинах гідроциліндра, переміщення і швидкість поршня які є початковими значеннями відповідних параметрів для подальшого синтезу електрогідралічного мехатронного модуля руху, який проводили за методикою, наведеною у статті [6].

Зазначимо, що конструктивні та робочі параметри гідралічної частини мехатронного модуля руху, такі як діаметр умовного проходу каналів та трубопроводів, геометричні розміри гідроциліндра і маса його рухомих частин, номінальне значення тиску живлення та інші, є стандартизованими, отже повинні відповідати ДСТУ. Крім того, стандартизованими є параметри пропорційного електромагніта, а саме залежність сили, діючої на його якорі від струму керування.

## Висновки

Систематизовано підходи щодо побудови ієрархічних моделей електрогідралічних систем, що дозволяє на єдиній методологічній основі створювати нові та вдосконалювати існуючі електрогідроагрегати та модулі. Вперше розроблено ієрархічну модель електрогідралічного мехатронного модуля руху, яка отримана через його декомпозицію за морфологічним принципом та дозволяє встановити внутрішні і міжрівневі зв'язки гідралічних та електричних елементів на основі базових параметрів, які є визначними для даних зв'язків. За розробленою ієрархічною моделлю електрогідралічного мехатронного модуля руху запропоновано його математичну модель в усталеному режимі, яка дозволяє докладніше визначити

максимальні та початкові значення його робочих параметрів, залежно від алгоритму функціонування, та є базою для його подальшого синтезу і оптимізації.

## Література

1. Андренко, П.Н. Тенденции развития объемных гидроприводов / П.Н. Андренко, З.Я. Лурье // Промислова гідраліка і пневматика. — 2013. — № 3 (41). — С. 3—12.
2. Свешников, В.К. Состояние и перспективы развития гидрооборудования стационарных машин / В.К. Свешников // Мир Техники и Технологий. — Харьков: Промінь, 2005. — № 11(48). — С. 18—22.
3. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем. / М. Месарович, Д. Мако, И. Такараха. Перевод с англ. И.Ф. Шахного. — М.: Мир, 1973. — 344 с.
4. Чуян, Р.К. Методы математического моделирования двигателей летательных аппаратов: уч. пособ. / Р.К. Чуян. — М.: Машиностроение, 1988. — 288 с.
5. Ніколенко, І.В. Методологічні основи проектування аксіально-поршневих гідромашин високого технічного рівня: автореферат дис. ... док. техн. наук: 05.02.102; захищена 28.04.2006 / Ніколенко Ілля Вікторович. — Одеса: Одеський національний політехнічний університет, 2006. — 36 с.
6. Андренко, П.М. Динамічний синтез мехатронного модуля руху / П.М. Андренко, О.В. Дмитрієнко // Вісник НТУ "ХПІ". Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. — Х.: НТУ "ХПІ". — 2014. — № 1 (1044). — С. 157—163.
7. Гідравліка та гідропневмопристрої авіаційної техніки: навч. посіб. / В.П. Бочаров, М.М. Глазков, Г.Й. Зайончковский та ін. — К.: НАУ, 2011. — 472 с.
8. Объемные гидравлические приводы / Т.М. Башта, И.З. Зайченко, В.В. Ермаков и др.; под ред. Т.М. Башты. — М.: Машиностроение, 1968. — 628 с.
9. Андренко, П.М. Проектування і розрахунок елементів та пристрів гідропневмоавтоматики: навч. посіб. / П.М. Андренко — К.: УМК ВО, 1990. — 100 с.
10. Лур'є, З.Я. Розрахунок сили тертя на запорнорегулюючому елементі гідроапарата з вібраційною лінеаризацією / З.Я. Лур'є, П.М. Андренко // Вісник НТУ "ХПІ". — 2008. — № 4. — С. 129—137.
11. Лур'є, З.Я. Метод расчета гидродинамической силы на осциллирующем запорнорегулирующем элементе гидроапарата / З.Я. Лур'є, П.Н. Андренко // Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин: междунар. науч.технич. конф., 17–19 ноябр. 2010: сборник докладов. — Минск, БНТУ, 2010. — С. 47—53.

**References**

1. Andrenko, P.N., Tendentsii razvitiya obemnyikh gidroprivodov / Andrenko P.N., Lure Z.Ya. // Promislova gidravlika i pnevmatika. — 2013. — № 3 (41). — S. 3—12.
2. Sveshnikov, V.K. Sostoyanie i perspektivy razvitiya gidrooborudovaniya statsionarnykh mashin / V.K. Sveshnikov // Mir Tehniki i Tehnologiy. — Kharkov: Promin, 2005. — № 11(48). — S. 18—22.
3. Mesarovich, M. Teoria ierarkhicheskikh mnogourovnevnykh sistem. / M. Mesarovich, D. Mako, I. Takarakha. Perevod s ang. I.F. Shahnoho. — M.: Mir, 1973. — 344 s.
4. Chuyan, R.K. Metody matematicheskogo modelirovaniya dvigateley letatelnykh apparatov: ucheb. posob. / R.K. Chuyan. — M.: Mashinostroenie, 1988. — 288 s.
5. Nikolenko, I.V. Metodologichni osnovi proektuvannya aksialno-porshnevnykh gidromashin visokogo tekhnichnogo ravnivnia: avtoreferat dis. ... dok. tehn. nauk: 05.02.102; zakhishchennia 28.04.2006 / NIKolenko Illya Viktorovich. — Odesa: Odeskii natsionalnyi politekhn. universitet, 2006. — 36 s.
6. Andrenko, P.M. Dinamichniy sintez mekhatronnogo modulya rukhu / P.M. Andrenko, O.V. Dmitrienko // Visnik NTU "KHPI". Seriya: Energetichni ta teplotekhnichni protsesi y ustatkuvannya. — Kharkiv: NTU "KHPI". — 2014. — № 1 (1044). — S. 157—163.
7. Gidravlika ta gidropnevmoaparaty aviatsiynoyi tekhniki : navch.posib. / V.P. Bocharov, M.M. Glazkov, G.Y. Zayonchkovskiy ta in. — K.: NAU. 2011. — 472 s.
8. Obemnyye gidravlicheskie privody / T.M. Bashta, Zai-chenko I.Z., Ermakov V.V. i dr.; pod red. T.M. Bashty. — M.: Mashinostroenie, 1968. — 628 s.
9. Andrenko, P.M. Proektuvannya i rozrakhunok elementiv ta pristryiv gidropnevmoavtomatiki: nav. posib. / P.M. Andrenko — K.: UMK VO, 1990. — 100 s.
10. Lure, Z.Ya. Rozrakhunok syly tertia na zaporno-regulyuyuchomu elementu gidroaparata z vibratsiynoyu linearizat-sieyu / Z.Ya. Lure, P.M. Andrenko // Visnik NTU "KHPI". — 2008. — № 4. — S. 129—137.
11. Lure, Z.Ya. Metod rascheta gidrodinamicheskoy sily na ostsilliruyuschem zapornoreguliruyuschem elemente gidroaparata / Z.Ya. Lure, P.N. Andrenko // Gidropnevmosystemy mobilnykh i tekhnologicheskikh mashin: mezhdunar. nauch. tekhnich. konf., 1719 noyabr. 2010 g.: sbornik dokladov. — Minsk, BNTU, 2010. S. 47 — 53.

*Надійшла 20.09.2014 р.*

**УДК 62.82**

**Иерархическая модель электрогидравлического мехатронного модуля движения**

**П.Н. Андренко, О.В. Дмитриенко**

Систематизированы подходы к построению иерархических моделей электрогидравлических систем. Путем декомпозиции по морфологическому принципу получена иерархическая модель электрогидравлического мехатронного модуля движения, которая позволяет установить внутренние межуровневые связи элементов на основе определяющих базовых параметров. Для определения максимальных и начальных значений рабочих параметров электрогидравлического мехатронного модуля движения, в зависимости от алгоритма его функционирования, разработана математическая модель модуля в установленном режиме, являющаяся базой для его дальнейшего синтеза и оптимизации.

*Ключевые слова: мехатронный модуль, иерархическая модель, статическая модель, подсистемы, межуровневые связи, рабочие параметры.*

**UDC 62.82**

**The hierarchical model of electrohydraulic mechatronic module of movement**

**P. Andrenko, O. Dmitrienko**

The approaches to building hierarchical models of electrohydraulic systems have been systematized. The hierarchical model of the electrohydraulic mechatronic module of movement has been received by decomposition over the morphological principle. It allows to establish internal interlevel connections of elements on the basis of defining basic parameters. The mathematical model of the module in the installed mode has been developed for determination of the maximum and initial values of working parameters of the electrohydraulic mechatronic module of movement, depending on algorithm of its functioning. It is been the base for further synthesis and optimization of the module .

*Key words: mechatronic module, hierarchical model, static model, subsystem, interlevel connections, working parameters.*