УДК 62-82 DOI: https://doi.org/10.18664/1994-7852.148.2014.72802

ІЄРАРХІЧНА МОДЕЛЬ ГІДРОАГРЕГАТУ ЖИВЛЕННЯ ДЛЯ ГІДРОСИСТЕМ МОБІЛЬНИХ МАШИН

Д-р техн. наук П.М. Андренко, канд. техн. наук О.Б. Панамарьова

ИЕРАРХАРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГИДРОАГРЕГАТА ПИТАНИЯ ДЛЯ ГИДРОСИСЕМ МОБИЛЬНЫХ МАШИН

Д-р техн. наук П.Н. Андренко, канд. техн. наук О.Б. Панамарёва

THE HIERARCHICAL MODEL OF HYDRAULIC POWER UNITE FOR HYDROLIC SYSTEMS OF MOBILE MACHINS

Doct. of techn. sciences P. Andrenko, cand. of techn. sciences O. Panamariova

Систематизовано підходи щодо побудови ієрархічних моделей гідроагрегатів живлення для гідросистем мобільних машин. Шляхом декомпозиції за морфологічним принципом отримана ієрархічна модель гідроагрегату живлення, яка дозволяє встановити внутрішні і міжрівневі зв'язки елементів на основі базових параметрів, які є визначними для даних зв'язків.

Ключові слова: *гідроагрегат живлення, ієрархічна модель, між рівневі зв'язки, робочі параметри, робоча рідина.*

Систематизированы подходы к построению иерархических моделей гидроагрегатов питания для гидросистем мобильных машин. Путем декомпозиции по морфологическому принципу получена иерархическая модель гидроагрегата питания, которая позволяет установить внутренние и межуровневые связки элементов на основе базовых параметров, которые являются определяющими для данных связей.

Ключевые слова: *гидроагрегат питания, иерархическая модель, между уровневые связи, рабочие параметры, рабочая жидкость.*

Systematized approach to build hierarchical model of hydraulic power unit for hydraulic systems of mobile machines, allowing for a single methodological basis to create new and improve existing ones. For the first time developed a hierarchical model of hydraulic power unit, that obtained by decomposition on morphological principle and allows you to set the internal and interlevel connections of hydraulic components, based on the basic parameters that are outstanding for these connections. For developed a hierarchical model of hydraulic power unit the proposed mathematical model in the steady state, which allows more detail to determine the maximum and initial values of its operating parameters, depending on the algorithm performance, and is the basis for further synthesis and optimization.

Keywords: *hydraulic power unit, hierarchical model, between level copulas, operating parameters, working liquid.*

Вступ. Технічний рівень машин і механізмів, значною мірою залежить від системи живлення, типу виконавчих механізмів та систем їхнього керування. Відомий ряд переваг визначає широке застосування гідроприводу для виконання робочих та допоміжних функцій мобільних та технологічних машинах. Складовою та невід'ємною частиною гідросистем є гідроагрегати живлення (ГАЖ), характеристики і якість яких, у значній мірі, визначають характеристики і якість гідравлічної системи, і машини в цілому.

Одним із сучасних напрямків розвитку промислового устаткування та машин є використання блочно-модульного принципу їх побудови. Такий підхід до проектування систем гідроприводів мобільних машин дозволяє проводити їх декомпозицію, зменшити кількість ступенів вільності, отримати ієрархічну структуру, провести структурний синтез та спростити схемну реалізацію 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 ГАЖ дозволяє досконало вивчити окремі його складові, але виникає необхідність дослідження взаємозв’язків між ними на базі математичних моделей їх робочих процесів.

Застосування ієрархічного підходу дозволяє використовувати аналітичні, стохастичні та моделі ідентифікації, що підвищує точність моделей реальному процесу. Тому розробка ієрархічних моделей ГАЖ гідросистем мобільних машин є актуальним науково-технічним завданням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проектуванню гідравлічних систем пристроїв присвячені фундаментальні праці Є.І. Абрамова, Т.М. Башти, Ю.А. Данілова, Г.Й. Зайончковського, Б.Л. Коробочкіна, З.Я. Лур’є, К.Л. Навроцького, Д.М. Попова, В.Б. Струтинського, Е.М. Хаймовича, W. Mednisa та ін. В роботах цих та інших авторів наведені теоретичні основи розрахунку та проектування систем гідроприводів, насосів, гідроапаратури й інших гідравлічних пристроїв, в тому числі й ГАЖ. Однак відсутній розгляд ієрархічних моделей гідравлічних систем, ГАЖ і їх елементів.

Розгляду ієрархічних моделей присвячено достатньо велику кількість наукових робіт, але в них здебільшого розглядаються моделі керування суспільством, великими компаніями та колективами, складними технологічними процесами тощо. Загальні питання теорії ієрархічних моделей подібних систем [2] можуть служити підґрунтям для розробки ієрархічних моделей будь-яких систем та пристроїв, в тому числі й для ГАЖ.

У роботі [3] наведено основи декомпозиції багаторівневих ієрархічних моделей, згідно з якою технічна система описується факторним простором який містить

множину вхідних змінних $\{X_i\}$, виходів $\{W_i\}$ та обмежень $\{\Omega_i\}$, де $i = 1,2,\ldots,n$ – кількість рівнів. Таке представлення дозволяє розглядати кожний з рівнів як самостійну модель підсистеми, що відповідає відображенню факторного простору w_i у вигляді:

для n-го рівня

$$i = n - \quad w_n : X_n \times \Omega_n \times U_n \Rightarrow W_n,$$

для i-го рівня

$$1 < i < n - w_i : X_i \times \Omega_i \times Z_i \times U_i \Rightarrow W_i, \quad (1)$$

для 1-го рівня

$$i = 1 - \quad w_1 : X_1 \times \Omega_1 \times Z_1 \Rightarrow W_1,$$

де U_i и 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 межи їх незалежності. Таким чином, вимоги які пред'являються до системи на вищих рівнях, є умовами чи обмеженнями на нижчих рівнях. Однак в цій роботі не розглядаються ієрархічні моделі гідравлічних систем та пристроїв.

У роботі [4] представлена методологія проектування аксіально-поршневої гідромашини на основі її ієрархічної моделі. Але в наведених загальних принципах та підходах існує жорстка прив'язка до конструкції таких гідромашини, тому вони не можуть бути цілком використані при побудові ієрархічних моделей ГАЖ.

У роботі [5] представлена ієрархічна модель ГАЖ, в якій розподіл ієрархії гідроелементів оснований на показниках технічної якості. Кожному рівню присвоєний свій коефіцієнт вагомості, встановлений методом експертних оцінок, який може носити відносний характер.

Постановка задачі. Метою статті є розробка ієрархічної моделі ГАЖ для гідросистем мобільних машин.

Ієрархічна модель. При проектуванні ГАЖ високого технічного рівня його можна представити у вигляді багаторівневої ієрархічної моделі, отриманої шляхом декомпозиції за морфологічним принципом. Тобто принципом декомпозиції, при якому структура моделі відповідає фізичній структурі ГАЖ, а окремі рівні відповідають окремим його вузлам і елементам.

На основі системного підходу запропонована ієрархічна модель ГАЖ для гідросистеми підйомного механізму стрілового крана (рис. 1). У якості приклада обраний такий ГАЖ, бо його склад є типовим для багатьох інших машин. Принцип побудови запропонованої ієрархічної моделі дозволяє її коректувати в залежності від наявності гідроелементів у складі ГАЖ.

На рис. 1 непоказані: принципи, покладені в концепцію розробки гідравлічних елементів та пристроїв (типи: насоса, гідравлічних пристроїв та елементів, їх компонування тощо); множина конструктивних параметрів (діаметр умовного проходу, довжина трубопроводу, об'єм гідравлічного баку, габаритні розміри тощо); множина робочих параметрів (тиск, витрата робочої рідини (РР), потужність, ймовірність безвідмовної роботи, рівень звуку, тощо); множина додаткових умов (обмеження за масою і габаритами; відсутність кавітації та гідравлічного удару тощо). Непоказаний також гідророзподільник з електричним керуванням, який забезпечує розвантаження насоса в період пауз у роботі ГАЖ.

До першого рівня ієрархічної моделі ГАЖ відносяться задачі дослідження достатньо складних комплектних його вузлів, 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 моделі відносяться елементи ГАЖ, для яких може бути виділено один домінуючий фізичний процес, який визначає роботу рівня, наприклад зміну витрати на виході тощо. Третій рівень включає робочі параметри і, зазвичай, не допускає подальшої декомпозиції.

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

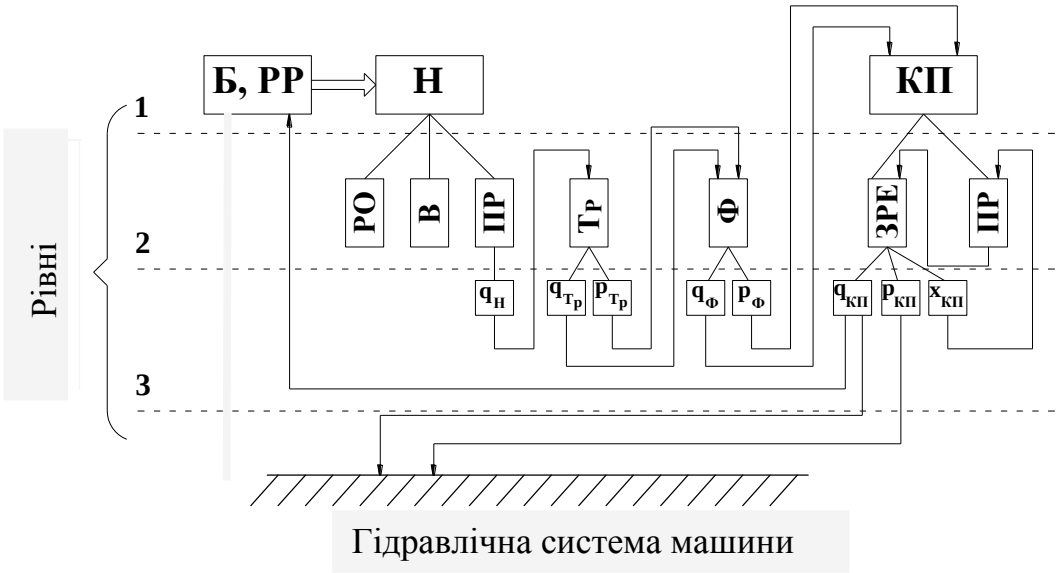

Рис. 1. Ієрархічна модель ГАЖ гідросистеми підйомного механізму стрілового крана: Б – бак; Н – насос; КП – клапан переливний; РО – робочі органи; В – вал; Пр – пружина; Тр – трубопровід; Ф – фільтр; q_i і p_i – відповідно витрата і тиск на виході *i*-го гідропристрою; $x_{КП}$ – переміщення ЗРЕ КП

Математичну модель ГАЖ в усталеному режимі отримали з його ієрархічної моделі, рис. 1. При розробці цієї моделі приймали наступні припущення: пружини гідроапаратів працюють у межах лінійності їх характеристики і де не відбувається відрив їх кінців від поверхонь контакту; корпуса гідроапаратів та гідропристроїв, каналів та трубопроводів – абсолютно жорсткі, а їх пружні властивості враховуються приведеним модулем об'ємної пружності РР; нехтували початковими ділянками трубопроводів та хвильовими процесами в них; відсутні: витоки та перетоки, кавітація, гідравлічний удар і виконується умова нерозривності РР; РР – ньютонівська, а її течія ізотермічна. Приймали, що тиск зливу дорівнює атмосферному.

При прийнятих припущеннях робочий процес ГАЖ описується рівняннями:

- зміни стану РР:

$$T_a = \text{const}; \quad \rho = \text{const}, \tag{3}$$

де T_a – температура РР; ρ – густина РР, які приймали рівними їх середньому значенню;

- витрати на виході з об'ємного насоса

$$q_Н = V_р n, \tag{4}$$

де $V_р$ і n – відповідно робочий об'єм і частота обертання вала насоса;

- тиску на виході з трубопроводу [6]

$$p_{Тр} = k\rho g q_Н^m, \tag{5}$$

де $k = 128\nu_t(l + l_{екв})/(\pi g d^4)$, m = 1 – для ламінарного режиму течії РР, $k = 8(\Sigma\xi + \lambda_{Тр} l/d)/(g\pi^2 d^4)$, m = 2 – для турбулентного режиму течії РР; g – прискорення вільного падіння; ν_t – кінематична в'язкість РР; l і $l_{екв}$ - відповідно довжина і еквівалентна довжина трубопроводу; d – внутрішній діаметр трубопроводу; $\Sigma\xi$ – сума місцевих опорів гідравлічної системи ГАЖ на ділянках від насоса до баку; $\lambda_{Тр}$ – коефіцієнт втрат на тертя;

- перепаду тиску на фільтрі [7]

$$\Delta p_Ф = \mu q_Н / (k_Ф A_Ф), \tag{6}$$

де μ – коефіцієнт динамічної в'язкості РР; $k_Ф$ і $A_Ф$ – відповідно коефіцієнт пропорційності фільтрувального матеріалу, і площа поверхні фільтроелемента;

- руху ЗРЕ переливного клапана [8]

$$m_{\text{КП}}\ddot{x}_{\text{КП}} = \Sigma F_{\text{КП}}, \qquad (7)$$

де $m_{\text{КП}}$ і $\ddot{x}_{\text{КП}}$ – відповідно маса ЗРЕ переливного клапана та приведеної до нього всіх рухомих частин і його прискорення; $\Sigma F_{\text{КП}}$ сума сил які діють на ЗРЕ переливного клапана;

- витрати РР з переливного клапана яка надходить до гідро розподільника гідросистеми

$$q_{\text{КП}} = G(x_{\text{КП}})\sqrt{p_{\text{ТР}} - p_{\text{ПК}}}, \qquad (8)$$

де $p_{\text{ТР}}$ і $p_{\text{ПК}}$ – відповідно тиски на виході з трубопроводу і переливного клапана; $G(x_{\text{КП}})$ – гідравлічна провідність дроселюючої щілини переливного клапана залежно від переміщення його ЗРЕ $x_{\text{КП}}$;

- обмеження переміщень ЗРЕ переливного клапана

$$x_{\text{КП}\min} < x_{\text{КП}} \le x_{\text{КП}\max}, \qquad (9)$$

Відмітимо, що сили тертя і гідродинамічну слід розраховувати за залежностями наведеними у статтях [9] і [10] відповідно.

Висновки. Систематизовано підходи щодо побудови ієрархічних моделей ГАЖ гідравлічних систем, що дозволяє на єдиній методологічній основі створювати нові та вдосконалювати існуючі. Уперше розроблена ієрархічна модель ГАЖ, яка отримана шляхом його декомпозиції за морфологічним принципом та дозволяє встановити внутрішні і міжрівневі зв'язки гідравлічних елементів на основі базових параметрів, які є визначними для даних зв'язків. За розробленою ієрархічною моделюю ГАЖ запропоновано його математична модель в усталеному режимі, яка дозволяє більш докладно визначити максимальні та початкові значення його робочих параметрів, залежно від алгоритму функціонування, та є базою для його подальшого синтезу і оптимізації.

Список використаних джерел

1. Андренко, П.Н. Тенденции развития объемных гидроприводов [Текст] / П.Н. Андренко, З.Я. Лурье // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця: ВДАУ, 2013. – № 3 (41). – С. 3-12.
2. Месарович, М. Теория иерархических многоуровневых систем [Текст] / М. Месарович, Д. Мако; перевод с анг. И.Ф. Шахного. – М.: Мир, 1973. – 344 с.
3. Чуян, Р.К. Методы математического моделирования двигателей летательных аппаратов [Текст]: учеб. пособие / Р.К. Чуян. – М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.
4. Ніколенко, І.В. Методологічні основи проектування аксіально-поршневих гідромашин високого технічного рівня [Текст]: автореф. дис… д-ра техн. наук: спец. 05.02.02 "Машинознавство" / І.В. Ніколенко. – Одеса, 2006. – 36 с.
5. Панамарьова, О.Б. Поліпшення характеристик гідроагрегатів живлення малої потужності для гідросистем шляхом визначення їх раціональних параметрів [Текст]: автореферат дис… канд. техн. наук: 05.05.17 «Гідравлічні машини та гідропневмоагрегати»/ О.Б. Панамарьова. – Харків: Національний технічний університет «ХПІ»,. 2014. – 22 с.
6. Гідравліка та гідропневмопристрої авіаційної техніки [Текст]: навч. посібник / В.П. Бочаров, М.М. Глазков, Г.Й. Зайончковский [та ін.]. – К.: НАУ. 2011. – 472 с.
7. Объемные гидравлические приводы [Текст] / Т.М. Башта, И.З. Зайченко, В.В. Ермаков [и др.].; под ред. Т.М. Башты. – М.: Машиностроение, 1968. – 628 с.
8. Андренко, П.М. Математична модель малогабаритного гідроагрегату живлення [Текст]/ П.М. Андренко, В.В. Клітной, О.Б. Панамарьова // Вісник СНУ ім. В. Даля. – Луганськ: СНУ ім. Даля, 2007. – № 3(109). Ч. 2. – С. 13–17.
9. Лур'є, З.Я. Розрахунок сили тертя на запорно-регулюючому елементі гідроапарата з вібраційною лінеаризацією [Текст] / З.Я. Лур'є, П.М. Андренко // Вісник НТУ "ХПІ". – 2008. – № 4. – С. 129-137.

10. Лурье, З.Я. Метод расчета гидродинамической силы на осциллирующем запорно-регулирующем элементе гидроаппарата [Текст] / З.Я. Лурье, П.Н. Андренко // Гидропневмосистемы мобильных и технологических машин: междунар. науч.-технич. конф., 17-19 ноябр. 2010 г.: сборник докладов. – Минск, БНТУ, 2010. – С. 47-53.

Андренко Павло Миколайович, д-р техн. наук, професор кафедри гідропневмо-автоматики та гідроприводу Національного технічного університету «ХПІ».
Панамарьова Ольга Борисівна, канд. техн. наук, викладач Харківського комп'ютерно-технологічного коледжу Національного технічного університету «ХПІ».

Andrenko Pavel Ph.D., Professor, manager of department hidropnevmo-hydraulic drive and automation, National Technical University "KPI".
Panamarova Olga kand. tekhn. sciences of Kharkov Computer and Technology College, National Technical University "KPI".