

УДК 621.225.001.4

Математична модель робочих процесів, що відбуваються в мехатронній системі з гідравлічним приводом

Панченко А.І., Волошина А.А., Панченко І.А., Шепель А.

Таврійський державний агротехнологічний університет імені Дмитра Моторного, Мелітополь, Україна

Анотація. Зростаючі вимоги до вихідних характеристик мехатронних систем з гідравлічним приводом активних робочих органів самохідної техніки вимагають застосування нових підходів в процесі їх розробки і проектування. Вихідні характеристики мехатронних систем залежать від вибору режимів роботи гідравлічного приводу та конструктивних особливостей його елементів. Якість мехатронної системи з гідравлічним приводом в більшій мірі визначається вихідними характеристиками. Для поліпшення вихідних характеристик гідравлічного приводу мехатронної системи запропонована математична модель, що описує робочі процеси, що відбуваються в його елементах. Насос, гідромотор, запобіжний клапан і робоча рідина розглянуті у взаємозв'язку, як єдине ціле. Математична модель враховує особливості функціонування та взаємний вплив всіх елементів гідравлічного приводу мехатронної системи, а також особливості робочої рідини і може бути використана з будь-якими гидромашинами об'ємного дії.

Ключові слова. Мехатронна система; математична модель; робочі процеси; насос; гідромотор; запобіжний клапан; робоча рідина.

Робочі процеси, що відбуваються в мехатронних системах з гідравлічним приводом активних робочих органів самохідної техніки, завжди пов'язані з рухом робочої рідини по трубопроводах, каналах, а також через щілини з місцевими опорами [1-6]. Крім основних потоків робочої рідини, необхідних для функціонування гідроприводу, існують додаткові потоки в зазорах між елементами механізмів і вузлів гідравлічної апаратури. Складаючи математичну модель робочих процесів, що відбуваються в мехатронній системі гідравлічного типу, необхідно розглядати різні гідромеханічні та динамічні явища.

Математичний опис гідромеханічних процесів заснований на відомих з механіки рідини і газу, загальних рівняннях руху суцільного середовища. При цьому використовуються експериментальні значення коефіцієнтів гідравлічних опорів, витрат та гідродинамічних сил. Використання загальних рівнянь і залежностей гідромеханіки в дослідженнях вихідних характеристик гідропривода мехатронної системи обумовлено принципом дії, конструкцією і режимами роботи його елементів. Характерними для них є робочі процеси, при яких рух робочої рідини буде несталим. У більшості випадків при математичному описі несталого руху потоків робочої рідини приймаються квазістаціонарних значення коефіцієнтів кінетичної енергії, гідравлічного опору та стану потоку.

При побудові математичних моделей, як правило, використовуються такі припущення [1-6]: відсутність витоків робочої рідини; сухе тертя дорівнює нулю; хвильові процеси в трубопроводах відсутні; температура робочої рідини постійна (тобто постійними вважаються коефіцієнти кінематичної в'язкості та сили тертя); втрати на тертя не враховуються; тиск в зливний, всмоктувальний та дренажної магістралях дорівнює нулю; робочі кромки вважаються гострими; з'єднані канали великі по перерізу та короткі по довжині; модуль пружності робочої рідини постійний.

Для дослідження динаміки зміни функціональних параметрів мехатронної системи з гідравлічним приводом активних робочих органів самохідної техніки розглянуті математичні моделі робочих процесів, що відбуваються в насосі, гідромоторі і запобіжному клапані. Ці моделі складені на основі рівнянь нерозривності, переміщення рухомих частин елементів мехатронних систем та рівнянь витрати через гідравлічну апаратуру [1-6].

На рис. 1 представлена розрахункова схема мехатронної системи з гідравлічним приводом [3], яка являє собою сукупність, з'єднаних між собою, гідравлічних пристроїв: насос, гідромотор і запобіжний клапан. Всі елементи мехатронної системи пов'язані між собою формами взаємодії і взаємозалежності за допомогою робочої рідини та утворюють єдине ціле.

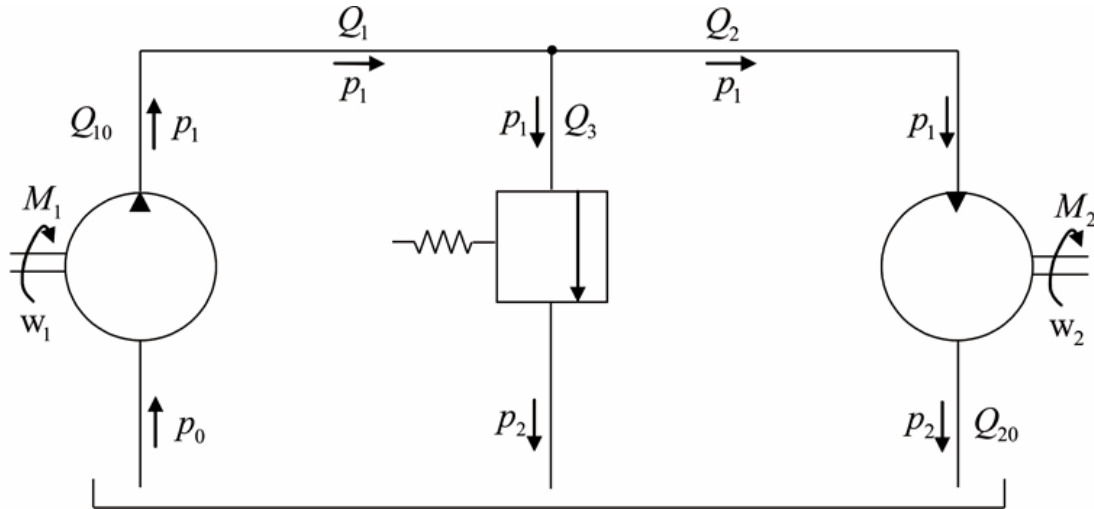


Рис. 1. Розрахункова модель мехатронної системи з гідравлічним приводом

Відмінною особливістю пропонованої універсальної моделі робочих процесів, що відбуваються в мехатронній системі з гідравлічним приводом є розгляд всіх елементів, що входять до мехатронної системи та робочої рідини, як єдиного цілого. Під універсальною моделлю розуміється модель, що дозволяє досліджувати динамічні характеристики мехатронної системи з гідравлічним приводом, з використанням різних гідромашин об'ємного дії. Математичний опис робочих процесів насоса, запобіжного клапана, гідромотора і робочої рідини на основі рівнянь витрат, руху рухомих елементів і нерозривності більш детально представлені в роботах [1, 3, 6].

Універсальну модель робочих процесів, що відбуваються в мехатронній системі з гідравлічним приводом, що включає насос, гідромотор і запобіжний клапан можна описати системою рівнянь [3]:

$$Q_2(t) = Q_1(t) - Q_3(t) \quad (1)$$

$$Q_{20}(t) + Q_{21}(t) + Q_{22}(t) + Q_{23}(t) + Q_{24}(t) = Q_{10}(t) - Q_{11}(t) - Q_{12}(t) - Q_{13}(t) - Q_{14}(t) - Q_3(t), \quad (2)$$

$$\frac{dp_1(t)}{dt} = \frac{E}{(V_{11} + V_{21} + V_3)} \cdot \left\{ \frac{V_1}{2\pi} \cdot \omega_1(t) \cdot e - \frac{V_2}{2\pi} \cdot \omega_2(t) - C_{11} \cdot [p_1(t) - p_0'] - C_{12} \cdot [p_1(t) - p_0] - C_{21} \cdot p_1(t) - C_{22} \cdot [p_1(t) - p_2] - \frac{1}{E} \cdot [C_1 \cdot \omega_1(t) + C_2 \cdot \omega_2(t)] \cdot [p_1(t) - p_2] - \mu \cdot \pi \cdot d \cdot x(t) \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho} [p_1(t) - p_2]} - S \frac{dx}{dt} \right\}, \quad (3)$$

$$M_2 = M_j + M_c, \quad M_2 = \frac{V_2}{2\pi} \cdot \eta_m \cdot [p_1(t) - p_2], \quad M_j = J \cdot \frac{d\omega_2(t)}{dt}, \quad (4)$$

$$\frac{d\omega_2(t)}{dt} = \frac{1}{J} \cdot \left[\frac{V_2}{2\pi} \cdot \eta_m \cdot [p_1(t) - p_2] - M_c \right]. \quad (5)$$

де Q_1 - кількість робочої рідини, що надходить від насоса до гідромотора; Q_2 - кількість робочої рідини, що підводиться до гідромотора; Q_3 - витрата через запобіжний клапан; Q_{10} -

геометрична подача насоса; Q_{11} - витрата витоків (в дренажну магістраль) насоса; Q_{12} - витрата перетоків (у всмоктувальну магістраль) насоса; Q_{13} - витрата насоса, викликана компресією робочої рідини; Q_{14} - деформаційна витрата насоса; Q_{20} - геометрична витрата гідромотора; Q_{21} - витрата витоків робочої рідини (в корпус) гідромотора; Q_{22} - перетікання робочої рідини в гідромоторі; Q_{23} - витрата гідромотора, викликана компресією робочої рідини; Q_{24} - деформаційний витрата гідромотора; Q_{25} - кількість робочої рідини, що надходить на злив з гідромотора.

Запропонована універсальна модель робочих процесів, що відбуваються в мехатронній системі з гідравлічним приводом описує динамічні та статичні процеси, що відбуваються в її елементах. Насос, гідромотор, запобіжний клапан та робоча рідина розглянуті у взаємозв'язку, як єдине ціле. Причому, дана модель враховує особливості експлуатації та взаємний вплив всіх елементів мехатронної системи, а також особливості робочої рідини та може бути використана для будь-яких гідромашин об'ємного дії.

Список літератури

1. Панченко А. І. Перспективи гідрофіксації мобільної сільськогосподарської техніки [Текст] / А. І. Панченко, А. А. Волошина, О. Ю. Золотарьов, Д. С. Тітов // Промислова гідравліка і пневматика, 2003. – №1. – с.71-74.
2. Панченко А. І. Конструктивні особливості планетарних гідромоторів серії PRG [Текст] / А. І. Панченко, А. А. Волошина, І. А. Панченко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Гідравлічні машини та гідроагрегати. – Х.: НТУ «ХП», 2018. – № 17 (1293). – С.88-95.
3. Панченко А. І. Модель гідравлічного приводу мехатронної системи [Текст] / А. І. Панченко, А. А. Волошина, І. А. Панченко, А. А. Волошин // Праці ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2018. – Вип. 18. – Т. 2. – С. 59-83.
4. Панченко А. І. Вплив конструктивних особливостей торцевої розподільної системи на функціональні параметри планетарного гідромотора [Текст] / А. І. Панченко, А. А. Волошина, А. І. Засядько // Праці ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2017. – Вип. 17. – Т. 3. – С. 33-50.
5. Панченко А. І. Методика проектування елементів витеснителів систем гідровращателів планетарного типу [Текст] / А. І. Панченко, А. А. Волошина, І. А. Панченко // Вісник НТУ «ХП». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси та устаткування. – Х.: НТУ «ХП», 2014. – № 1 (1044) – С. 136-145.
6. Панченко А. І. Особливості моделювання робочих процесів, що відбуваються в гідравлічній системі насос-клапан-гідровращатель [Електронний ресурс] / А. І. Панченко, А. А. Волошина, І. А. Панченко // Науковий вісник ТДАТУ. – Мелітополь: ТДАТУ, 2016. – Вип. 6. – Т. 1. – С. 63-79. Режим доступу: <http://nauka.tsatu.edu.ua/e-journals-tdatu/pdf6t1/8.pdf>.

Mathematical model of work processes occurring in a mechatronic system with a hydraulic drive

Panchenko A., Voloshina A., Panchenko I., Shepel A.

Abstract. The growing requirements for the output characteristics of hydraulically driven mechatronic systems of active working bodies of self-propelled vehicles require the use of new approaches in the process of their development and design. The output characteristics of mechatronic systems depend on the choice of operating modes of the hydraulic drive and the design features of its elements. The quality of a hydraulically driven mechatronic system is largely determined by the output characteristics. To improve the output characteristics of the hydraulic drive of the mechatronic system, a mathematical model is proposed that describes the working processes occurring in its elements. The pump, hydraulic motor, relief valve and working fluid are considered interconnected as a whole. The mathematical model takes into account the features of the functioning and the mutual influence of all elements of the hydraulic drive of the mechatronic system, as well as the features of the working fluid and can be used with any positive displacement hydraulic machines.

Keywords. Mechatronic system; mathematical model; work processes; pump; hydraulic motor; safety valve; working fluid.

Математическая модель рабочих процессов, происходящих в мехатронной системе с гидравлическим приводом

Панченко А.И., Волошина А.А., Панченко И.А., Шепель А.

Аннотация. Растущие требования к выходным характеристикам мехатронных систем с гидравлическим приводом активных рабочих органов самоходной техники требуют применения новых подходов в процессе их разработки и проектирования. Выходные характеристики мехатронных систем зависят от выбора режимов работы гидравлического привода и конструктивных особенностей его элементов. Качество мехатронной системы с гидравлическим приводом в большей степени определяется выходными характеристиками. Для улучшения выходных характеристик гидравлического привода мехатронной системы предложена математическая модель, описывающая рабочие процессы, происходящие в его элементах. Насос, гидромотор, предохранительный клапан и рабочая жидкость рассмотрены во взаимосвязи, как единое целое. Математическая модель учитывает особенности функционирования и взаимное влияние всех элементов гидравлического привода мехатронной системы, а также особенности рабочей жидкости и может быть использована с любыми гидромашинами объемного действия.

Ключевые слова. Мехатронная система; математическая модель; рабочие процессы; насос; гидромотор; предохранительный клапан; рабочая жидкость.