

**С. В. Репінський, к.т.н., доцент,
Л. Г. Козлов, д.т.н., професор,
А. А. Бартецький, к.т.н., доцент,
О. В. Паславська, аспірант**

Вінницький національний технічний університет

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ МЕХАТРОННОГО ГІДРОПРИВОДУ МАНІПУЛЯТОРА З ЧАСТОТНИМ КЕРУВАННЯМ АСИНХРОННОГО ЕЛЕКТРОДВИГУНА

Асинхронні електродвигуни (АД) у яких регулювання швидкості здійснюється від перетворювачів частоти (ПЧ) знаходять все більше застосування в різних галузях [1–8]. В роботі розглядається мехатронний гідропривод маніпулятора, в якому об'ємний насос живиться від АД з ПЧ.

Під час проектування таких систем актуальною задачею залишається швидке і всебічне виявлення впливу структури приводу, його параметрів і параметрів навантаження на характеристики перехідних процесів. На сьогодні ефективним засобом розв'язання такої задачі є використання програмного середовища імітаційного моделювання MATLAB Simulink.

Метою роботи є створення і апробація математичної моделі мехатронного гідроприводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна, яка була б придатна для імітаційного дослідження статички та динаміки такого приводу в середовищі MATLAB Simulink.

Розрахункова схема мехатронного приводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна показана на рис. 1. Схема включає стойку 1, стрілу 2, рукоятку 3, захват 4, гідроциліндри 5, 7, 8 та механізм повороту 9. Маніпулятор змонтований на рамі 10. Насос постійного робочого об'єму H подає робочу рідину через гідролінію 18, гідророзподільники $P2$ та $P1$, робочу гідролінію 20 в гідроциліндр 5, приводячи до руху стрілу 2 маніпулятора. Злив робочої рідини з гідроциліндра 5 забезпечується через робочу гідролінію 21, гідророзподільник $P1$, гідролінію керування 22, гальмівний клапан 12 та зливну гідролінію 23. Гідророзподільник $P2$ має пружинне повернення та керується електромагнітом. Насос H приводиться в дію асинхронним електродвигуном АД, що живиться від перетворювача частоти ПЧ з датчиком частоти обертання 17 вала електродвигуна. Рівень подачі насоса H пропорційний частоті обертання АД і визначає швидкість руху штока 6, а значить і швидкість руху стріли 2 маніпулятора. Гідроциліндр 8 повороту стійки 1 живиться від окремого насоса, який на схемі не показаний.

Роботою приводів маніпулятора керує контролер 13. На вхідну плату 14 контролера поступають сигнали $U_{K1} \dots U_{K4}$ від керуючих важелів оператора, які задають необхідний напрямок та швидкість переміщення маніпулятора. На основі вхідних сигналів контролер 13 генерує сигнали, які через вихідну плату 15 подаються до: електромагніта розподільника $P1$, переводячи його у відповідну задану робочу позицію (b або c) та через підсилювач 16 до частотного перетворювача ПЧ, який забезпечує задану частоту обертання АД. Вбудований регулятор перетворювача ПЧ обробляє задане і реальне значення частоти обертання і відповідно їм корегує частоту АД. Привод маніпулятора з частотним керуванням АД дає можливість пропорційно регулювати подачу робочої рідини від об'ємного гідронасоса до гідродвигуна, оптимально виконувати робочі операції маніпулятора та економити значну кількість енергії в робочому циклі машини у порівнянні з традиційним дросельним керуванням. Наявність пропорційного регулювання подачі рідини та стабілізації швидкості руху маніпулятора підвищує також точність наведення його на об'єкт, покращує умови

роботи оператора.

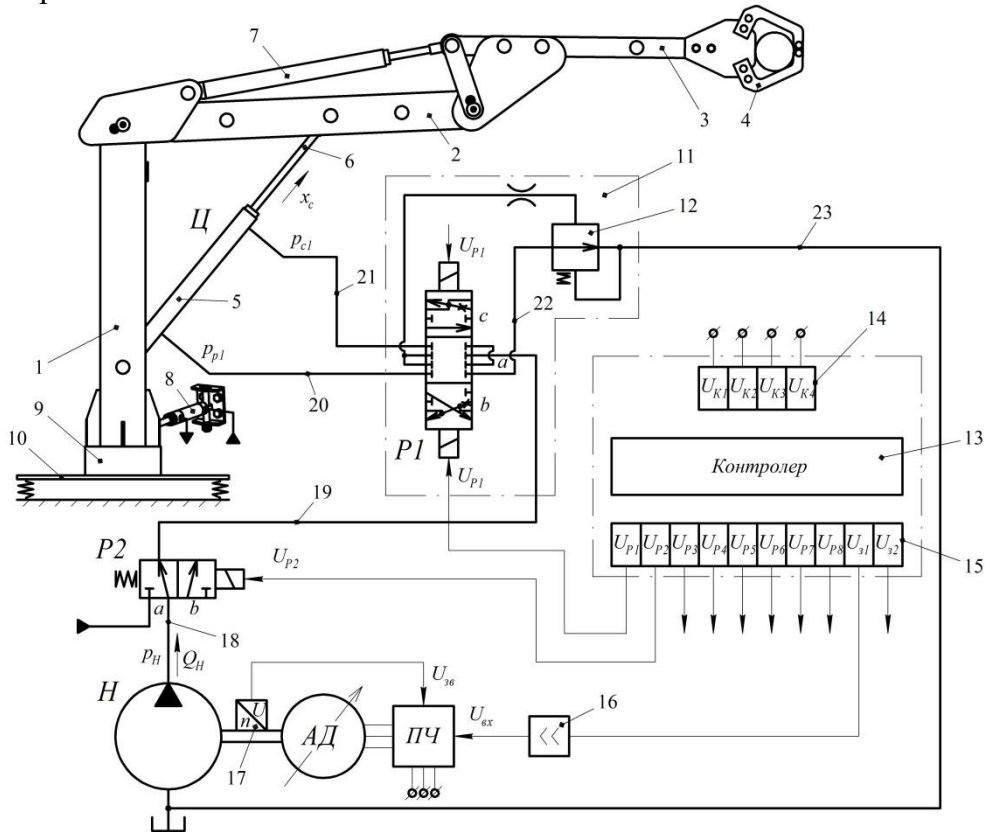


Рисунок 1 – Схема мехатронного гідроприводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна

Математична модель приводу включає рівняння сил, що прикладені до поршня гідроциліндра; рівняння нерозривності потоків; рівняння крутного моменту на приводному валу насоса, а також рівняння датчика головного зворотного зв'язку та рівняння суматора:

$$m_c \frac{d^2 x_c}{dt^2} = p_1 \cdot F_c - R - b_c \frac{dx_c}{dt}; \quad (1)$$

$$q_H \cdot n_H \cdot \eta_{\text{Ноб}} = \mu \cdot f_{\text{оп}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{|p_H - p_1|} \cdot \text{sign}(p_H - p_1) + \beta_p(p) \cdot W_H \cdot \frac{dp_H}{dt}; \quad (2)$$

$$\mu \cdot f_{\text{оп}} \cdot \sqrt{\frac{2}{\rho}} \sqrt{|p_H - p_1|} \cdot \text{sign}(p_H - p_1) = F_c \cdot \frac{dx_c}{dt} + \beta_p(p) \cdot W_c \cdot \frac{dp_1}{dt}; \quad (3)$$

$$M_{\text{крН}} = \frac{q_H}{2\pi\eta_{\text{Нмех}}} \cdot (p_H - p_{\text{вс}}); \quad (4)$$

$$U_{\text{зв}} = k_{\text{зв}} \cdot n_H; \quad (5)$$

$$\Delta U = U_{\text{вх}} - U_{\text{зв}}. \quad (6)$$

В рівняннях (1–6) математичної моделі прийняті такі позначення: m_c – зведена маса рухомих частин гідроциліндра; x_c – переміщення поршня гідроциліндра; p_1 – поточне значення тиску робочої рідини в напірній гідролінії гідроциліндра; F_c – ефективна площа поршня гідроциліндра; R – навантаження на шток гідроциліндра; b_c – коефіцієнт в'язкого тертя під час руху поршня гідроциліндра; q_H – робочий об'єм насоса; n_H – частота обертання

вала насоса; $\eta_{Hоб}$ – об’ємний ккд насоса; μ – коефіцієнт витрати робочого вікна розподільного золотника; f_{op} – площа робочого вікна розподільного золотника; ρ – густина робочої рідини; p_H – поточне значення тиску робочої рідини на виході насоса; $\beta_p(p)$ – коефіцієнт об’ємного стиснення робочої рідини; W_H – об’єм рідини в трубопроводі, що сполучає насос з розподільником; W_C – об’єм рідини в трубопроводі, що сполучає розподільник з циліндром; $\eta_{Hмех}$ – механічний ккд насоса; $p_{вс}$ – тиск робочої рідини у всмоктувальній гідролінії насоса; $k_{зб}$ – коефіцієнт підсилення датчика головного зворотного зв’язку; $U_{вх}$ – вхідний сигнал, що пропорційно визначає частоту обертання вала насоса.

Структурна схема математичної моделі мехатронного гідроприводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна, побудована на основі рівнянь (1–6), показана на рис. 2.

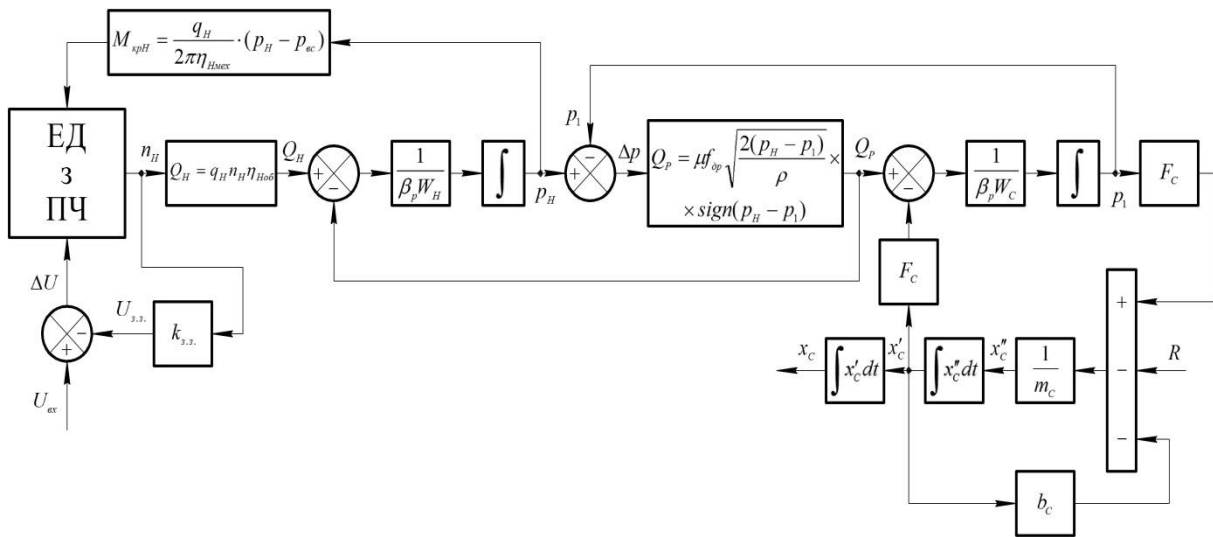


Рисунок 2 – Структурна схема математичної моделі приводу

Модель частотно-керуваного асинхронного двигуна реалізовано на основі лінеаризованої моделі асинхронного двигуна з перетворювачем частоти [2]. Структурна схема двоконтурної системи електричного приводу типу ПЧ-АД з внутрішнім зворотним зв’язком за моментом (оскільки явно сигнал струму не представлений в моделі) та швидкістю представлена на рис. 3.

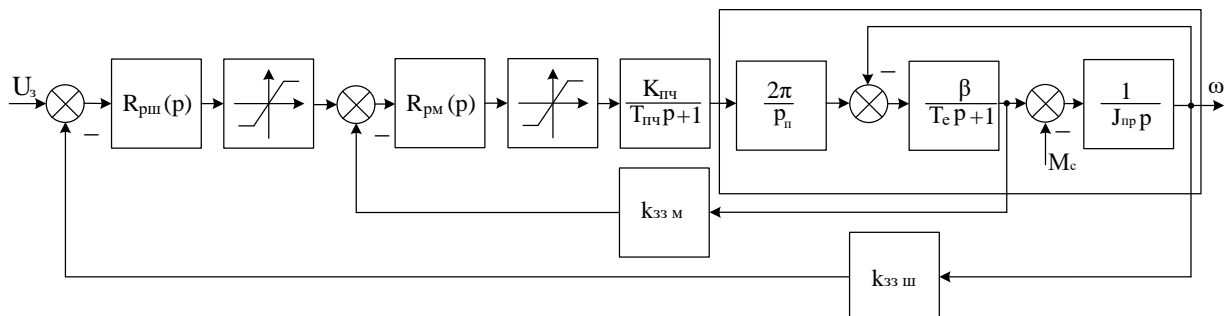


Рисунок 3 – Структурна схема електродвигуна за системою ПЧ-АД

Схеми на рис. 2 та рис. 3 наочно відображають всі зв’язки між рівняннями (розрахунковими блоками) математичної моделі та суттєво спрощують розробку обчислювальної структури, яка реалізована в середовищі MATLAB Simulink. Для оцінювання працездатності розробленої обчислювальної структури виконане її тестування.

Для цього в середовищі MATLAB Simulink отримані графіки перехідних процесів в гідроприводі, спричинених ступінчастою зміною вхідного сигналу $U_{вх}$ (рис. 4).

Тестування проводилось за таких параметрів гідроприводу: $q_H = 40 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$; $\eta_{Ноб} = 0,9$; $\eta_{Нмех} = 0,9$; $f_{оп} = 20 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$; $W_H = 2,0 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $W_C = 1,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$; $D_C = 60 \cdot 10^{-3} \text{ м}$; $m_C = 60 \text{ кг}$; $R = 10 \text{ кН}$; $b_C = 1000 \text{ Н} \cdot \text{с/м}$; $\rho = 890 \text{ кг/м}^3$; $\mu = 0,6$.

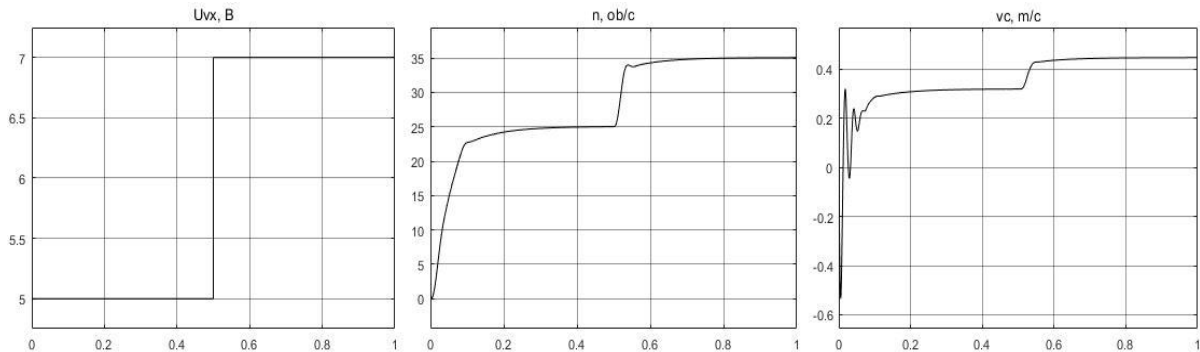


Рисунок 4 – Перехідні процеси змінних стану системи при ступінчастому вхідному сигналі $U_{вх}$ з 5 до 7 В (відповідає пропорційній зміні частоти обертання вала насоса n_H з 25 до 35 об/с)

Висновки

1. Розроблено математичну модель мехатронного гідроприводу маніпулятора з частотним керуванням асинхронного електродвигуна. Математичну модель представлено у вигляді структурної схеми, яка наочно відображає всі зв'язки між рівняннями (розрахунковими блоками).

2. Для імітаційного моделювання приводу в програмному середовищі MATLAB Simulink розроблена відповідна обчислювальна структура (блок-схема). Тестування цієї структури показало, що процес обчислення є стійким, а також підтверджує її працездатність.

Список літератури

1. Перельмутер В. М. Прямое управление моментом и током двигателей переменного тока / В. М. Перельмутер. – Харьков : Основа, 2004. – 210 с.
2. Моделирование электромеханических систем : підручник / О. П. Чорний, А. В. Луговой, Д. Й. Родькін, Г. Ю. Сисюк, О. В. Садовой. – Кременчук, 2001. – 410 с.
3. Тихенко В. Н. Разработка гидропривода с регулируемым приводным двигателем насосной установки / В. Н. Тихенко // Промислова гідравліка і пневматика. – 2006. – № 1(11). – С. 84–86.
4. Лурье З. Я. Математическое моделирование гидроагрегата системы смазки с регулируемым шестеренным насосом / З. Я. Лурье, И. М. Федоренко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Прикладная механика. – 2009. – Том 1, № 5(37). – С. 10–19.
5. Характеристики мехатронного приводу під час просторового руху маніпулятора [Електронний ресурс] / Л. Г. Козлов, С. В. Репінський, О. В. Паславська, О. В. Піонткевич // Наукові праці Вінницького національного технічного університету. – 2017. – № 2. – Режим доступу : <https://praci.vntu.edu.ua/index.php/praci/article/view/507>.
6. Репінський С. В. Керування регульованих насосів в гідроприводах, чутливих до навантаження : монографія / С. В. Репінський, Л. Г. Козлов, Ю. А. Буренніков. – Вінниця : ВНТУ, 2016. – 199 с.

7. Аналітичне оцінювання ККД об'ємного насоса з частотно-керованим приводним електродвигуном [Електронний ресурс] / С. В. Репінський, Л. Г. Козлов, Ю. А. Буренніков, О. В. Паславська // Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів ВНТУ, Вінниця, 22-24 березня 2017 р. – Електрон. текст. дані. – 2017. – Режим доступу : <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2017/paper/view/2904>.

8. Про можливість підвищення ККД агрегату регульований насос-електродвигун / С. В. Репінський, Л. Г. Козлов, Ю. А. Буренніков, О. В. Паславська // Матеріали VII-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Комплексне забезпечення якості технологічних процесів та систем», м. Чернігів, 24-27 квітня 2017 р. – Чернігів : ЧНТУ, 2017. – Т. 1. – С. 203–205.

УДК 621 (03)

**І.В. Севостьянов, д.т.н., проф.,
Є.О. Мельник**

Вінницький національний технічний університет

РОЗРАХУНОК ОСНОВНИХ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМ ОЧИЩЕННЯ ВИРОБНИЧИХ СТІЧНИХ ВОД

Проблема чистої питної води є досить актуальною для більшості країн світу, в тому числі для України. Одна зі складових даної проблеми це якісне очищення стічних вод для забезпечення можливості їх повернення в природу без негативних наслідків для неї або для повторного використання води на виробництві. Ситуація ускладнюється тим, що наявні на Україні системи очищення побутових та виробничих стічних вод – решітки, сита, пісколовки, відстійники, гідроциклони, барабанні фільтри тощо [1 – 3] є морально та фізично застарілими (громіздкими, енергоємними і такими, що не забезпечують достатньо повного та якісного очищення води).

У зв'язку із цим, нами пропонується удосконалена установка, що може здійснювати тристадійне очищення виробничих стічних вод з концентрацією мінерально-органічних забруднюючих частинок – 30000 мг/л, розмірами від 0,02 до 25 мм, з продуктивністю 500 м³ / добу. Для цього пропонована установка оснащена фільтраційними металевими решітками попереднього очищення, з розмірами осередків 20 × 20 мм (I стадія), металевим ситом нормального очищення, з розмірами осередків 1 × 1 мм (II стадія) та мікрофільтраційним металевим ситом тонкого очищення, з розмірами осередків 0,03 × 0,03 мм (III стадія). Основною відмінністю пропонованої установки від відомого обладнання аналогічного призначення є оснащення її механізованими та автоматизованими пристроями для очищення фільтрувальних елементів без переривання робочого процесу із забезпеченням заданих продуктивності та якості очищення води.

При цьому для ефективної роботи будь-якої системи очищення є розрахунок оптимальних параметрів подачі стоків до установки. Так, у випадку, коли ця подача здійснюється з накопичувального бака мінімальна потрібна висота останнього визначається за формулою

$$H_{б.мин} = \frac{\Delta p}{\rho_c g}, \quad (1)$$

де ρ_c – густина стоків; Δp – перепад тиску у середовищі стічних вод у трубі подачі їх до пропонованої установки, що потрібно створити за допомогою накопичувального баку і який може бути розрахований за формулою