

УДК 621.21

Юрій Бурсніков, Леонід Козлов, Сергій Репінський (Україна, Вінниця)

**МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ НАСОСОМ ЗМІННОЇ
ПРОДУКТИВНОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО
ПАКЕТА MATLAB Simulink**

В гідравлічних системах механізмів подач як вітчизняних, так і закордонних сучасних технологічних мобільних машин розповсюдження отримали дросельні системи з насосами постійної і змінної продуктивності із автоматичними регуляторами, що забезпечують стабільність встановленої дроселем швидкості робочої подачі незалежно від коливань навантаження (сил тертя, різання і ін.), що діють на робочий орган.

Реакція гідравлічної системи з автоматичним регулятором на зміну тиску в системі чи зміну площі відкриття дроселя повинна бути прогнозована. Тобто час регулювання, коливальність, перерегулювання змінних стану системи керування мають знаходитися в певних межах. Визначити ці параметри можливо при математичному моделюванні. Задачею даної роботи є математичне моделювання системи керування насосом змінної продуктивності з автоматичним регулятором подачі за допомогою програмного пакета MATLAB Simulink [1, 2, 3].

Автоматичні регулятори подачі насосів мають різні конструкції і мають задовольняти такі вимоги [2, 3]:

- автоматичне змінювання подачі насоса у відповідності із сигналом керування;
- стабілізація, в разі необхідності, величини потоку, що надходить до виконавчого органу у робочому режимі;
- забезпечення в режимі перенавантаження величини потоку тільки в систему керування насосом;
- відповідність потужності яку споживає гідросистема потужності, що розвиває насос;
- робота в режимі постійної потужності;
- мінімальність витрат потужності на керування;
- достатня швидкодія в перехідних режимах.

На сучасному етапі розвитку гідросистем мобільних технологічних машин ведуться роботи зі створення регуляторів подачі насосів, які повністю задовольняють поставлені до них вимоги.

Авторами статті запропоновано гідравлічну схему регулятора подачі насоса (рис. 1, а), що об'єднує спосіб комбінованого керування, при якому забезпечується стабілізація потоку від насоса, а також робота насоса з постійною потужністю. Такий регулятор повністю відповідає вимогам, поставленим до регуляторів насосів.

Схема містить гідролінію нагнітання 1, розподільник 2, планшайбу 3 з поршнями керування 11, 4 та пружиною 5, основний золотник 6 з пружиною 7 і додатковий золотник 8 з пружинами 9 та 13.

При робочих положеннях розподільника 2, основний золотник 6, який знаходиться під впливом тисків p_H і p_1 , а також зусилля пружини 7, підтримує постійний перепад тиску на розподільнику 2 шляхом зміни тиску $p_{Ц}$ у порожнині поршня керування 11. Положення планшайби 3 при цьому визначає величину потоку від насоса до споживача. При значному рості величини тиску p_H спрацьовує додатковий золотник 8 з пружинами 9 та 13 і робоча рідина по каналу 12 надходить до поршня 11, переводячи планшайбу 3 таким чином, що насос працює в режимі постійної потужності.

При нейтральному положенні розподільного золотника 2, лінія управління з'єднується із зливом і золотник 6 переводить насос в режим роботи з мінімальною подачею Q_{\min} та мінімальним тиском $p_{H\min}$, що забезпечує мінімальні втрати потужності.

Статична характеристика насоса з таким регулятором представлена залежністю показаною на рис. 1, б, де f_{\max} , f_{\min} – максимальна і мінімальна площі відкриття робочого вікна регульованого дроселя в розподільнику 2. Наявність двох пружин 9 та 13 забезпечує на статичній характеристиці дві ділянки, які наближають сумарну характеристику до гіперболічної кривої, яка характеризує роботу насоса в режимі постійної потужності. Ділянка I забезпечується роботою пружини 13, а ділянка II одночасною роботою пружин 9 та 13.

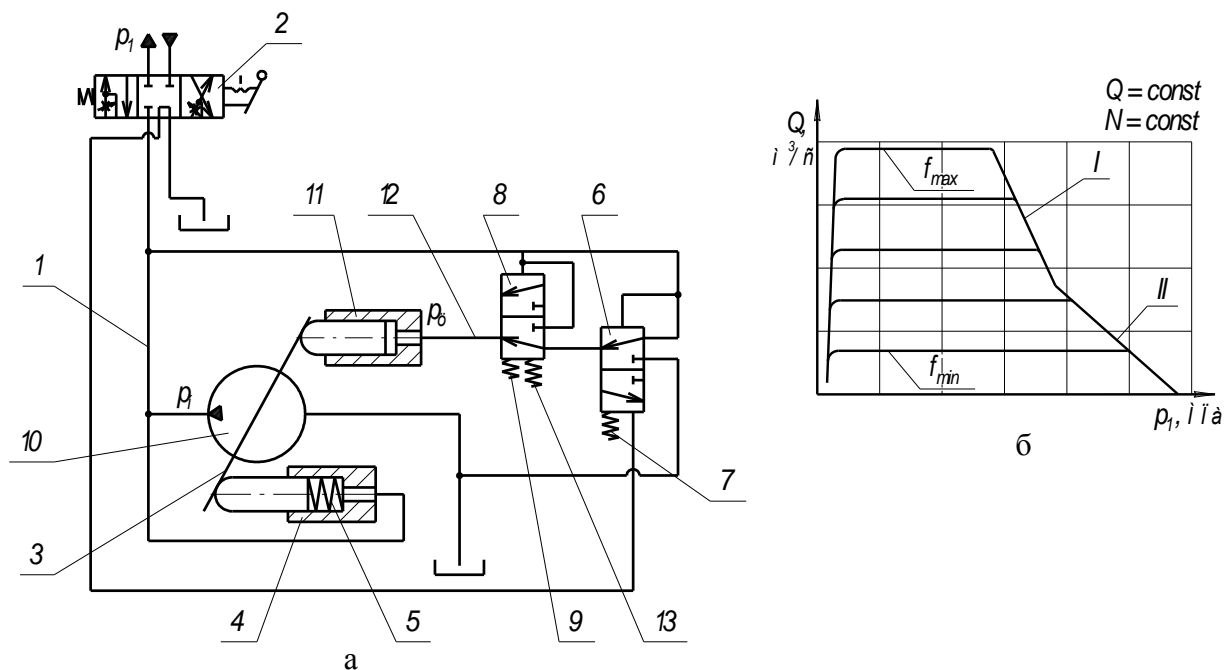


Рис. 1 – Регулятор насоса непрямої дії з комбінованим керуванням

В даній роботі розглядається робота насоса в режимі постійної продуктивності, тобто при роботі основного золотника 6 (рис. 1). Робота насоса в режимі близькому до режиму постійної потужності розглядається в роботі [4].

Розрахункова схема системи керування насосом в режимі постійної продуктивності представлена на рис. 2 і включає насос змінного робочого об'єму 1, регульований дросель 10, регулятор подачі 7 з золотником 9 та пружиною 8, який підключений до гідролінії 3 та 12 і керує потоком, що поступає з гідролінії 12 в циліндр керування 4. Планшайба 2 насоса знаходиться під впливом дії поршнів циліндрів 4, 5 і пружини 6. На зливі з циліндра керування 4 встановлений дросель 11.

В встановленому режимі система керування працює наступним чином. Тиск p_H і p_1 , а також зусилля пружини 8 впливаючи на золотник 7, визначають таке його положення, при якому тиск $p_{Ц}$ в циліндрі 4 урівноважує на планшайбі 2 момент, що створений тиском p_H в циліндрі 5 разом з пружиною 6. Пружина 8 підбирається таким чином, щоб могла підтримувати постійний перепад тиску на дроселі 10.

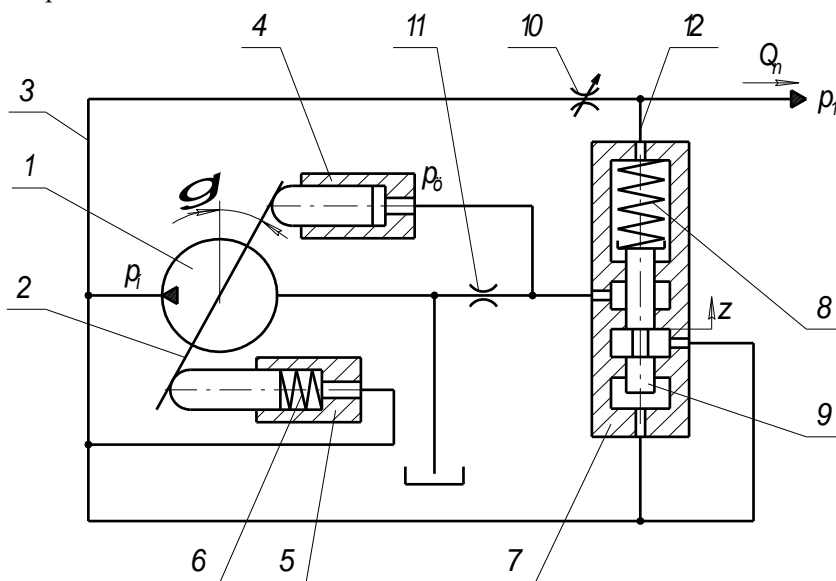


Рис. 2 – Розрахункова схема системи керування насосом змінної продуктивності

Згідно з розрахунковою схемою математична модель системи керування насосом змінної продуктивності включає рівняння сил і моментів, які діють на регулюючі елементи системи і рівняння нерозривності потоків для відповідних ліній:

$$b_p \frac{dz}{dt} = p_1 \cdot f_p - c_p(z_p + z) - p_H \cdot f_p - T_p \cdot \text{sign} \frac{dz}{dt} \quad (1)$$

$$I \frac{d^2\gamma}{dt^2} = p_H \cdot F_5 \cdot \ell - p_{II} \cdot F_4 \cdot \ell + M_C - b_\gamma \frac{d\gamma}{dt} \quad (2)$$

$$\frac{\pi d_7^2}{4} \cdot d_8 \cdot k \cdot n \cdot \text{tg} \gamma = \mu \cdot f_{op} \sqrt{\frac{2(p_H - p_1)}{\rho}} \cdot \text{sign}(p_H - p_1) + \mu \cdot k_Z \cdot z \cdot \sqrt{\frac{2(p_H - p_{II})}{\rho}} \cdot \text{sign}(p_H - p_{II}) + \beta_1 \cdot W_H \frac{dp_H}{dt} \quad (3)$$

$$\mu \cdot k_Z \cdot z \cdot \sqrt{\frac{2(p_H - p_{II})}{\rho}} \cdot \text{sign}(p_H - p_{II}) = \mu \cdot f_0 \sqrt{\frac{2p_{II}}{\rho}} + \beta_2 \cdot W_{II} \frac{dp_{II}}{dt} \quad (4)$$

де b_p – коефіцієнт кінематичної в'язкості золотника регулятора; $f_p = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4}$ – площа торців золотника регулятора; d_p – діаметр торців золотника регулятора; c_p – жорсткість пружини 8 регулятора; z_p – початкова величина стиснення пружини 8 регулятора; z – величина переміщення золотника регулятора; T_p – сила сухого тертя золотника регулятора; p_H – тиск на виході насоса; I – момент інерції планшайби насоса; γ – кут повороту планшайби насоса; F_5 – площа поршня керування 5; ℓ – плече дії керуючих циліндрів на планшайбу насоса; p_{II} – тиск робочої рідини в циліндрі керування 4; F_4 – площа поршня керування 4; M_C – момент опору планшайби насоса;

$$M_C = 26,4 - 3,2 \left(\frac{p_H - 9 \cdot 10^6}{7 \cdot 10^6} \right) - 9,9 \left(\frac{Q_n - 0,67 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}} \right) - 2,2 \left(\frac{p_H - 9 \cdot 10^6}{7 \cdot 10^6} \right) \times \left(\frac{Q_n - 0,67 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}} \right);$$

b_γ – коефіцієнт кінематичної в'язкості планшайби насоса; d_7 – діаметр поршнів насоса; d_8 – діаметр розміщення поршнів в роторі насоса; k – кількість поршнів насоса; n – частота обертання вала насоса; Q_n – величина подачі робочої рідини до пристрою-споживача; μ – коефіцієнт витрати через дросель; f_{op} – площа відкриття робочого вікна дроселя 10; k_Z – коефіцієнт площі відкриття робочого вікна регулятора 7 $f(z) = k_Z \cdot z$; ρ – густина робочої рідини; β_1, β_2 – сумарні коефіцієнти стиснення робочої рідини та відповідних ділянок гідроліній; W_{II}, W_H – об'єми робочої рідини в відповідних ділянках гідроліній; f_0 – початкова площа відкриття робочого вікна дроселя 11.

Система рівнянь, що описує поведінку системи керування насосом змінної продуктивності, вирішувалася з допомогою програми Simulink. Simulink – інтерактивний інструмент для моделювання, імітації і аналізу динамічних систем. Він дає можливість будувати графічні блок-діаграми, імітувати динамічні системи, досліджувати працездатність систем і удосконалювати проекти. Програма Simulink є додатком до пакету MATLAB і повністю інтегрована з ним, забезпечуючи швидкий доступ до широкого спектру інструментів аналізу і проектування [5].

При моделюванні з використанням Simulink реалізується принцип візуального програмування, у відповідності з яким, користувач на екрані з бібліотеки стандартних блоків створює модель пристрою і здійснює розрахунки. При моделюванні користувач може вибирати метод рішення диференціальних рівнянь, а також спосіб зміни модельного часу (із фіксованим або перемінним кроком). В ході моделювання є можливість слідкувати за процесами, що проходять в системі. Для цього використовуються спеціальні пристрої спостереження, що входять до складу бібліотеки Simulink. Ці переваги роблять Simulink найбільш популярним інструментом для проектування систем керування і комунікації, цифрової обробки та інших додатків моделювання.

Основна блок-схема рішення представлена на рис. 3. Схема містить чотири підсистеми, які розв'язують відповідні рівняння математичної моделі. Підсистема це фрагмент Simulink-моделі, який оформлений у вигляді окремого блоку. Зв'язок підсистеми з моделлю виконується з

допомогою вхідних і вихідних портів. Використання підсистем при складанні моделі зменшує кількість одночасно відображених блоків на екрані, що полегшує сприйняття моделі і дозволяє створювати та редагувати фрагменти моделі окремо, що підвищує технологічність створення моделі.

На рис. 4 показана блок-схема підсистеми розв'язання рівняння (3). На схемі блок перемикача Switch виконує перемикання вхідних сигналів по сигналу керування. Блок працює наступним чином. Якщо сигнал керування, що подається на середній вхід менше, чим величина граничного значення (задається в параметрах блока), то на вихід блока проходить сигнал з першого (верхнього) входу. Якщо сигнал керування перевищить граничне значення, то на вихід блока буде поступати сигнал з другого (нижнього) входу. Безпосередньо на схемі граничне значення керуючого сигналу для блоку Switch задане рівним 0, а для блоку Switch1 – 0,6. Це забезпечує знаходження кута повороту планшайби насоса в допустимих межах $0 \leq \gamma \leq 0,6$ рад.

Блок визначення знака сигналу Sign працює у відповідності з наступним алгоритмом. Якщо вхідний сигнал блока додатний, то вихідний сигнал рівний 1. Якщо вхідний сигнал блока від'ємний, то вихідний сигнал рівний -1. Якщо вхідний сигнал блока рівний 0, то вихідний сигнал також рівний 0. Застосування блоків Sign і Sign1 в блок-схемі підсистеми розв'язання рівняння (3) (рис. 4), дає можливість врахувати напрямок потоку через дросельні елементи в залежності від співвідношення тисків на вході та виході дросельних елементів.

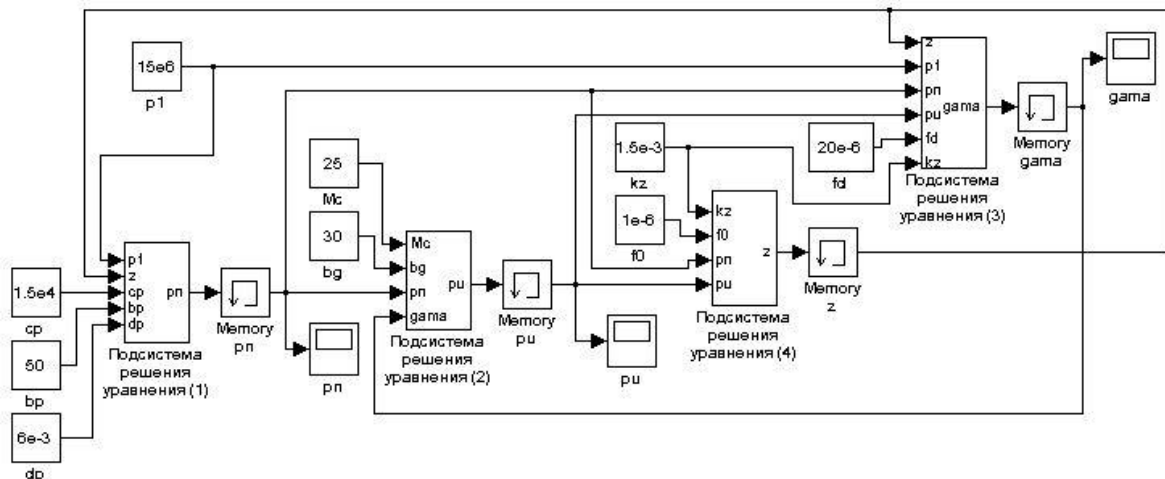


Рис. 3 – Блок-схема рішення системи рівнянь

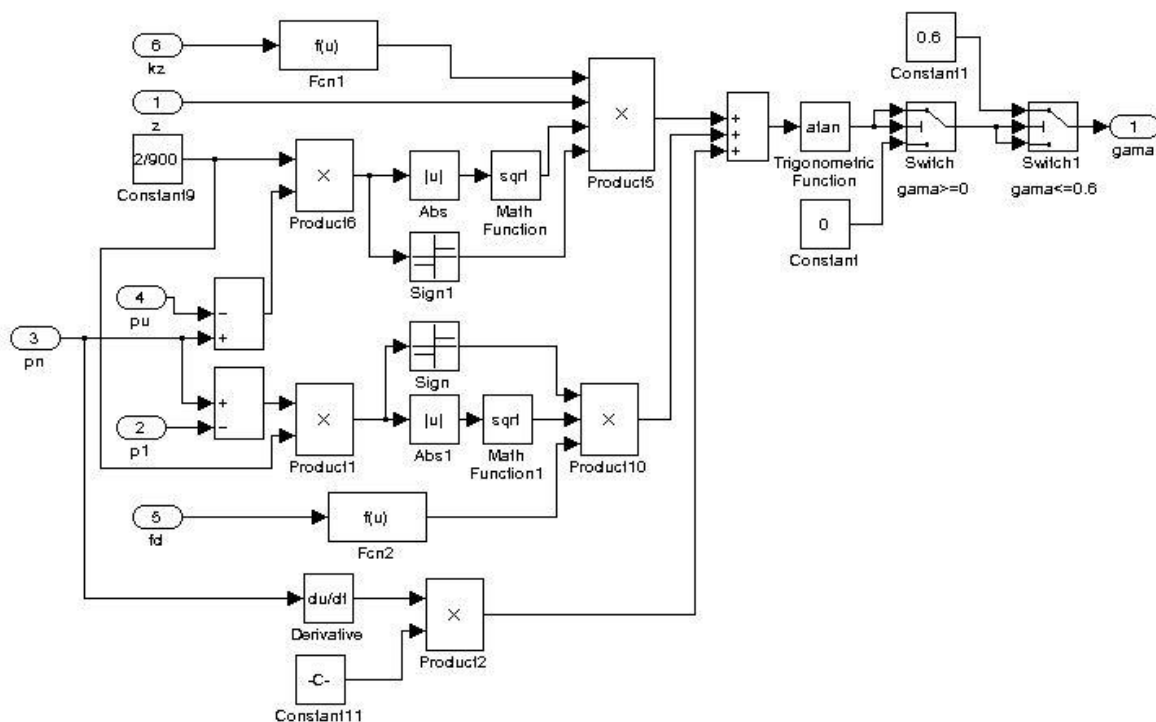


Рис. 4 – Блок-схема підсистеми розв'язання рівняння (3)

В результаті роботи визначено змінні, які визначають стан системи керування насосом змінної продуктивності з автоматичним регулятором подачі. Зокрема на рис. 5 представлено змінні тиску на виході насоса p_H і тиску в циліндрі керування p_C від часу. Отримані залежності дають можливість визначити час регулювання, коливальність та перерегулювання в системі керування насосом змінної продуктивності.

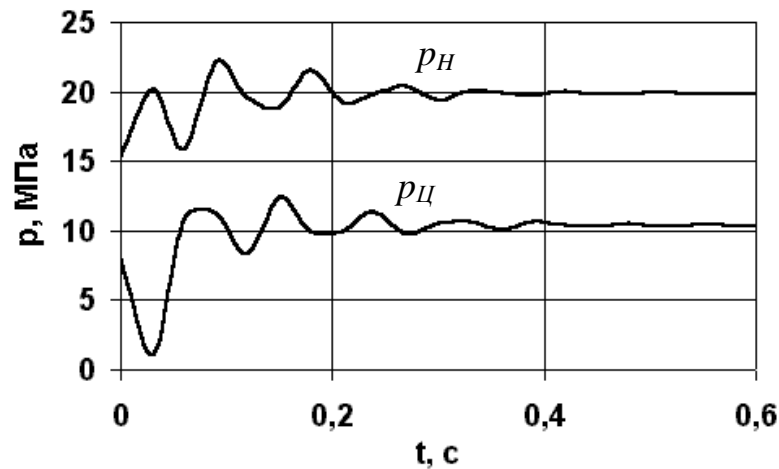


Рис. 5 – Залежність змінних стану системи керування від часу

Висновки

1. Розроблено нову схему автоматичного регулятора подачі насоса змінної продуктивності з комбінованим керуванням, в якій забезпечуються стабілізація подачі насоса і робота насоса з постійною потужністю. Це дає можливість регулювати швидкісні режими й використовувати повну потужність двигуна машини. При цьому в режимі перенавантаження втрати потужності будуть незначними.

2. Запропоновано математичну модель системи керування насосом змінної продуктивності з автоматичним регулятором подачі, яка розв'язується за допомогою програмного пакета MATLAB Simulink.

3. Математична модель дозволяє визначити змінні стану системи керування з розробленим автоматичним регулятором подачі насоса змінної продуктивності та такі динамічні характеристики, як час регулювання, коливальність та перерегулювання.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Burennikov Yu., Kozlov L. Non-linear mathematical model of LS hydraulic drive. // Optimum technologies, technologic systems and materials in the machines building field. – 1988. vol. 4. – p. 96-102.
2. Козлов Л.Г. Вдосконалення систем керування гідроприводів з LS-регулюванням. – Дис. канд. техн. наук: 05.02.03. – Вінниця, 2000.
3. Буренніков Ю.А., Козлов Л.Г., Репінський С.В. Удосконалення схем регуляторів подачі насосів гідросистем, чутливих до навантаження, та їх статичні характеристики. // Вісник ВПІ. – 2004. – №5. – с. 88-92
4. Ju. Burennikov, L. Kozlov, S. Repinskiy, G. Kozlova Modelling of the variable-displacement pump control system using MATLAB Simulink software package. // Tehnologii și produse noi în construcția de mașini. – Suceava: Editura Universității din Suceava, 2005 – P. 516-520
5. Черных И.В. Simulink: среда создания инженерных приложений. – Диалог-МИФИ, 2003.

Буренніков Юрій Анатолійович – к.т.н., професор, директор інституту машинобудування та транспорту (ІнМТ).

Козлов Леонід Геннадійович – к.т.н., доцент, декан факультету технології, автоматизації та комп'ютеризації машинобудування (ФТАКМ).

Репінський Сергій Володимирович – аспірант кафедри технології та автоматизації машинобудування (ТАМ).

Вінницький національний технічний університет.