

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ СТЕНД ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ГІДРОПРИВОДУ З НАСОСОМ ЗМІННОЇ ПРОДУКТИВНОСТІ**

*Предложен экспериментальный стенд для исследования статических и динамических характеристик гидропривода с насосом переменной производительности. В системе управления насосом переменной производительности используется автоматический регулятор, что обеспечивает стабилизацию подачи от насоса, а также работу насоса в режиме постоянной мощности. Разработанный стенд позволяет проводить физическое моделирование функционирования гидропривода в широком диапазоне изменения нагрузки на исполнительном гидродвигателе и фиксацию процессов, которые проходят в нем, с помощью осциллографирования.*

*Test bench is proposed for studying static and dynamic characteristics of the hydraulic drive with a variable-displacement pump. In the control system of the variable-displacement pump automatic regulator is used, which provides both pump flow stabilization as well as constant-power operation of the pump. The developed test bench enables physical modeling of the hydraulic drive operation in the wide-range of pressure variations on the actuating hydraulic engine and also registration of the processes, taking place in it, by means of oscillography.*

**Вступ**

Якість функціонування технологічних машин з гідроприводом визначається статичними і динамічними характеристиками гідромеханізмів.

Статичні і динамічні характеристиками гідромеханізмів, як правило, нелінійні, що обумовлюється нелінійною залежністю сил і моментів тертя від швидкості руху, нелінійними витратними характеристиками дроселюючих елементів, нелінійною пружністю робочої рідини, що містить нерозчинене повітря, пружних елементів і гнучких рукавів високого тиску, комбінованим режимом роботи насосної станції, що живить гідросистему [1, 2].

Аналітичні дослідження статички і динаміки гідроприводів, як правило, потребують спрощення вихідних характеристик і їх лінеаризації. Задача визначення умов застосування тих або інших спрощень є актуальною і розв'язується порівнянням результатів аналітичних розрахунків і експериментальних даних, що особливо важливо при дослідженні складних гідравлічних систем, наприклад таких, як гідропривод з автоматичною системою керування насосом змінної продуктивності, що широко використовується в технологічних мобільних машинах.

**Основні результати роботи**

На рис. 1 показана схема експериментального стенду для дослідження статичних і динамічних характеристик гідроприводу з насосом змінної

продуктивності. Його основними вузлами є виконавча частина з системою гідравлічного навантаження, основний насос змінного робочого об'єму з розробленою авторами автоматичною системою керування [3–5], станція підживлення основного насоса, розподільча частина, кондиціонери робочої рідини (бак, фільтри, теплообмінник) і вимірювально-реєструюча апаратура.

Виконавча частина стенду складається з силового гідроциліндра Ц, шток якого з'єднаний з лапою 10, що шарнірно кріпиться до стійки 9. Необхідну величину і режими навантаження можна забезпечити за допомогою вантажів 11 і зміни координати з'єднання штока гідроциліндра Ц з лапою 10 з використанням отворів 12.

Регульований дросель Др.2 служать для імітації навантаження. Зменшення провідності регульованого дроселя Др.2 забезпечує збільшення тиску в зливній порожнині гідроциліндра Ц і відповідно збільшення тиску на виході насоса до необхідної величини. Таким чином, при перемиканні розподільника Р2 можна практично миттєво ступінчасто збільшувати або зменшувати навантаження на поршні силового гідроциліндра Ц.

Насосна частина стенду містить насос підживлення НП, який подає робочу рідину з баку Б через фільтри Ф1 і Ф2 до аксіально-поршневого регульованого насоса 1 з робочим об'ємом  $q = 60$  см<sup>3</sup>. Автоматична система керування насосом включає регулятор подачі і регулятор тиску.

Регулятор подачі з золотником 2 і пружиною 6 підтримує постійний перепад тиску на регульованому дроселі Др.1. Регулятор тиску з золотником 3 і пружинами 7, 8 обмежує значення максимального тиску в напірній гідролінії та

забезпечує роботу насоса в режимі постійної потужності. Запобіжні клапани К31 і К32 обмежують значення максимального тиску в гідросистемі в аварійних режимах.

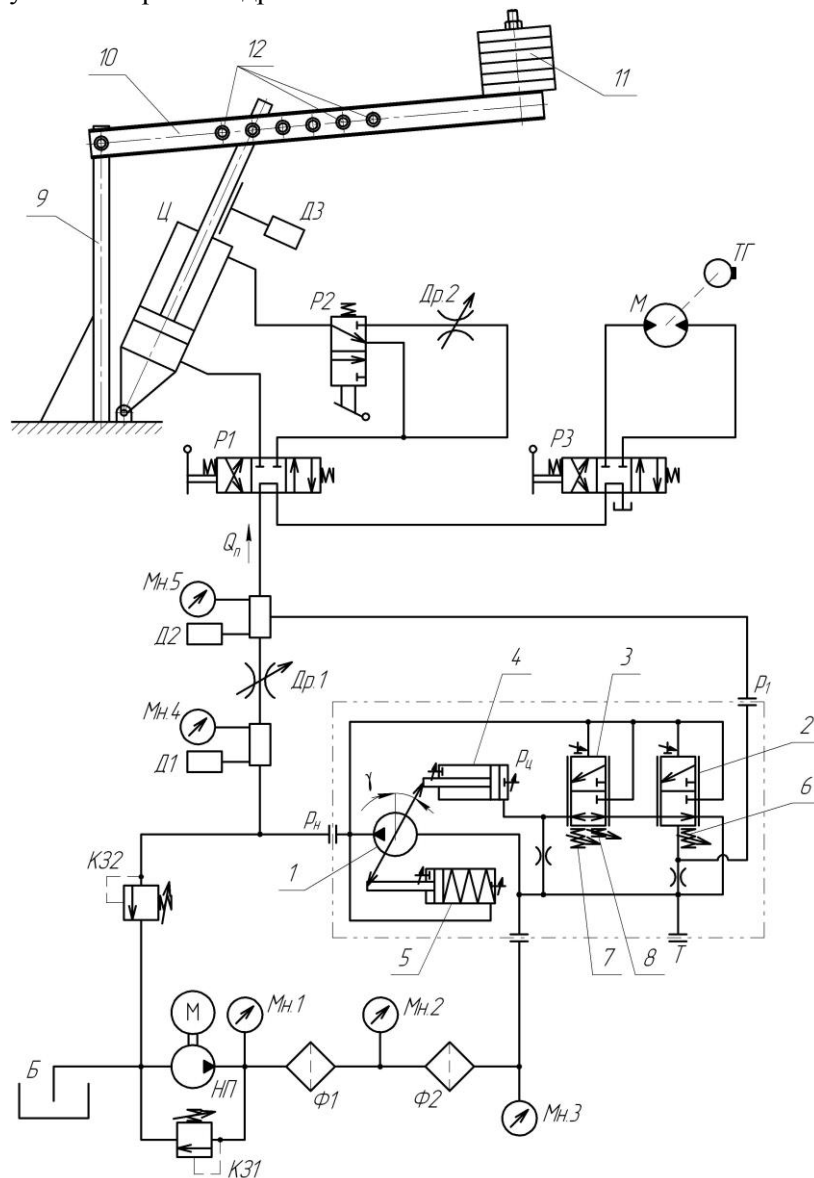


Рис. 1. Схема експериментального стенду.

При робочих положеннях розподільника P1 система керування насосом змінної продуктивності у встановленому режимі працює таким чином. Тиск  $p_H$  і  $p_1$ , а також зусилля пружини 6 впливаючи на золотник 2, визначають таке його положення, при якому тиск  $p_{Ц}$  в циліндрі керування 4 урівноважує на планшайбі насоса момент, що створений тиском  $p_H$  в циліндрі керування 5 з підпружиненим поршнем. Таким чином, золотник 2 перебуває в рівновазі, коли перепад тисків  $\Delta p = p_H - p_1$  на

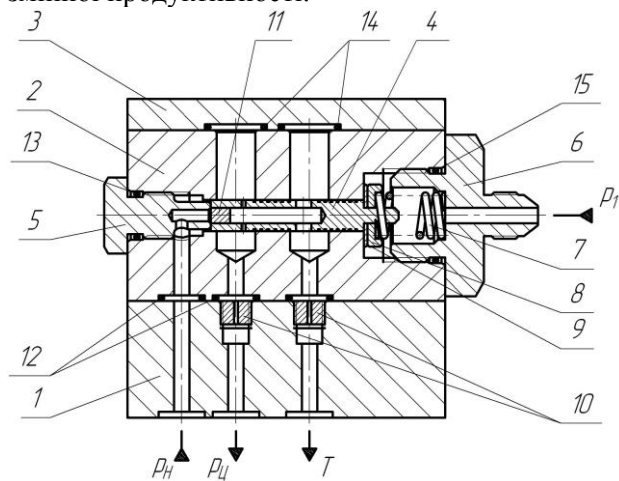
дроселі Др.1 створює зусилля, рівне регульованому зусиллю його пружини 6. Будь-яка зміна  $\Delta p$  викликає відповідну зміну кута нахилу  $\gamma$ , спрямовану у бік зменшення помилки. Так наприклад, при збільшенні  $\Delta p$  золотник 2 зміщується вниз, і кут  $\gamma$  зменшується доти, поки  $\Delta p$  не досягне заданого значення. Змінюючи настроювання дроселя Др.1, можна змінювати подачу насоса.

При значному рості величини тиску  $p_H$  спрацьовує регулятор тиску з золотником 3 і

робоча рідина надходить до циліндра керування 4, переводячи планшайбу насоса так, що насос працює в режимі постійної потужності.

У процесі виконання роботи застосовувалася конструкція макетного зразка автоматичного регулятора для насоса змінної продуктивності. Конструкція макетного зразка при виконанні експериментальних досліджень використовується для підтвердження своєї дієздатності, визначення характеристик досліджуваного гідроприводу та його елементів, а також підтвердження адекватності розроблених математичних моделей.

На рис. 2 поданий макетний зразок автоматичного регулятора подачі для насоса змінної продуктивності.



**Рис. 2. Макетний зразок регулятора подачі для насоса змінної продуктивності.**

Макетний зразок регулятора подачі складається з перехідної плити 1, корпусу 2 і пластини 3. Корпус регулятора подачі містить золотник 4, який фіксується в ньому з однієї сторони за допомогою пробки 5, а з іншої – перехідника 6 з пружиною 7. Перехідна плита 1 приєднується безпосередньо до корпусу насоса і містить два дроселі 10. Ущільнення регулятора здійснюється гумовими кільцями 12, 13, 14 і 15.

Регулятор подачі працює таким чином. При відключених споживачах тиск  $p_1$  в лінії керування регулятором практично відсутній. Потік створений насосом перемістить золотник 4 вправо, стискаючи пружину 7, і через один з дроселів 10 потрапить в циліндр керування положенням планшайби насоса. Створений в циліндрі тиск  $p_C$  перемістить планшайбу таким чином, що потік насоса буде мінімальним і компенсуватиме тільки витоки в гідроприводі. Тиск  $p_H$  на виході насоса забезпечується у межах 1–2 МПа.

При підключенні споживача буде зростати тиск  $p_1$  у лінії керування регулятором. Золотник 4 переміститься у таке положення при якому зазор між золотником і кромками корпусу 2 зі сторони пробки 5 буде підтримувати таку величину потоку до циліндра керування положенням планшайби насоса, яка забезпечить постійність перепаду тиску на регульованому дроселі Др.1 (рис.1) незалежно від коливань тиску  $p_1$ . Такий режим роботи насоса називають режимом LS-регулювання, а запропонований регулятор подачі LS-регулятором. Змінюючи товщину диска 9, можна регулювати величину попереднього стиснення пружини 7 і тим самим змінювати перепад тиску  $\Delta p = p_H - p_1$  у межах 0,8–2 МПа.

На місце плити 3 до корпусу 2 регулятора подачі можна приєднати корпус регулятора тиску, що побудований по модульному принципу. І тоді, у випадку коли тиск на виході насоса  $p_H$  буде досягати значних величин регулятор тиску забезпечить роботу насоса у режимі постійної потужності.

Розроблений стенд дозволяє проводити фізичне моделювання функціонування гідроприводу в широкому діапазоні зміни навантаження на виконавчому гідродвигуні і фіксування процесів, що проходять в ньому, за допомогою осцилографування. У процесі виконання експериментальних досліджень при вимірюванні характеристик досліджуваних об'єктів застосовувалися вимірювальні засоби, прилади і датчики як промислового, так і власного виготовлення. Манометри Мн.1, 2, 3, 4, 5 дозволяють реєструвати величину тиску робочої рідини в різних точках гідросистеми стенда при статичних режимах навантаження. Величини тисків у гідролініях гідроприводу при динамічних режимах навантаження вимірювалися і осцилографувалися за допомогою тензометричних давачів Д1 і Д2, частота обертання вала гідромотора М за допомогою тахогенератора ТГ, преміщення штока гідроциліндра Ц за допомогою ємнісного давача ДЗ. В конструкції стенда передбачено також пристрої для електротарировки датчиків перед початком запису робочих процесів.

Експериментальний стенд оснащений так званім віртуальним приладом – вимірювальною апаратурою виконаною на базі плат АЦП-ЦАП, що використовує в якості пристрою керування і відображення звичайний персональний комп'ютер (ПК). Такий прилад надає можливість створення компактної, мобільної,

гнучкої і недорогої вимірювальної системи, яка придатна для широкого кола задач в самих різноманітних областях.

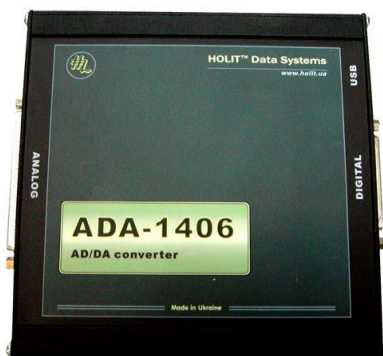


Рис. 3. Модуль АЦП-ЦАП-ЦВВ з інтерфейсом USB.

Цифровий запам'ятовуючий осцилограф ADA-1406 представляє собою модуль, який використовується в якості зовнішнього пристрою ПК, що оснащений паралельним USB-портом і призначений для широкого діапазону осцилографуючих вимірів. Цей прилад дозволяє спостерігати форму сигналу з використанням восьми аналогових входів в полосі частот від 0 до 350 кГц.

Модуль постачається з DLL бібліотеками для роботи в середовищі Win98/200/XP і програмою графічної візуалізації початкового рівня.

Програмне забезпечення дає можливість повного керування приладом, а також пропонує ряд сервісних можливостей (експорт/імпорт даних, математична обробка сигналів, розширені виміри, цифрова фільтрація, аварійна сигналізація в режимі самописця і т. д.).

На рис. 4 показана осцилограма перехідного процесу зміни тиску  $p_H$  на виході основного насоса, при його вмиканні.

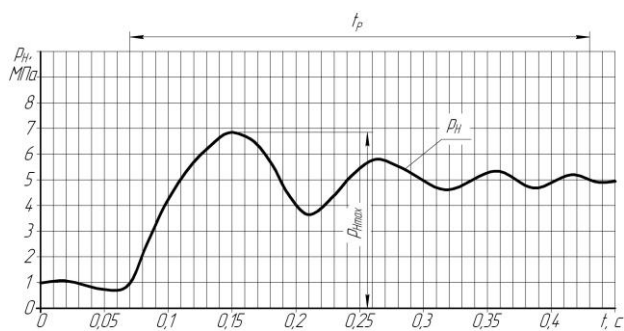


Рис. 4. Осцилограма перехідного процесу в гідроприводі.

Осцилограма записана при наступних значеннях параметрів гідроприводу: об'єм порожнини нагнітання, що прилягає до

основного насоса  $W_H=2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ ; об'єм циліндра керування положенням планшайби насоса і порожнини, що прилягає до нього  $W_{Ц} = 0,06 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ ; ефективні площі силового гідроциліндра  $F_1=1,59 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ,  $F_2=1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$ ; діаметр золотника регулятора подачі  $d_p=6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$ ; маса вантажу на лапі силового гідроциліндра  $m=20 \text{ кг}$ . При вмиканні основного насоса, тиск на виході насоса підживлення становив 1 МПа.

### Висновки

Дослідження, виконані на описаному стенді, дозволяють рекомендувати його для вивчення експериментальних характеристик гідроприводу з автоматичною системою керування насосом змінної продуктивності.

### Література

1. Попов Д.Н. Динамика и регулирование гидро- и пневмосистем. Учеб. Для машиностроительных вузов – М.: Машиностроение – 1976. – 384 с.
2. Коробочкин Б.Л. Динамика гидравлических систем станков – М.: Машиностроение – 1976. – 320 с.
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. Буренніков Ю.А., Козлов Л.Г., Репінський С.В. Вибір параметрів системи керування гідроприводом з насосом змінної продуктивності на основі дослідження його стійкості // Вісник ВПІ. Спеціальний випуск за матеріалами XIII Міжнародної конференції з автоматичного управління (Автоматика-2006). – 2006. – №6. – С. 211–217
5. Буренніков Ю.А., Козлов Л.Г., Репінський С.В., Петров О.В., Лозінський Д.О. Математичне моделювання системи управління гідроприводом з пропорційним керуванням // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2007. – №3(109). Частина 1. – С. 20-26