

УДК 62-522.2

Левченко О.В., к.т.н., доц.

НТУУ «Київський політехнічний інститут» м. Київ, Україна

## ДОСЛІДЖЕННЯ РОЗПОДІЛУ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ ПО СТРУКТУРНИМ РІВНЯМ ГІДРАВЛІЧНОЇ СИСТЕМИ

Levchenko O.

National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute», Kyiv, Ukraine (mmi@kpi.ua)

### STUDY OF DISTRIBUTION OF POWER LOSSES ON STRUCTURAL LEVEL OF HYDRAULIC SYSTEM

*Досліджено приклади циклових систем об'ємного гідроприводу встановленої потужності з точки зору зміни траєкторії енергетичного потоку. Запропоновано розподіл циклової системи по рівнях гідроапаратів та траєкторії енергетичного потоку. Визначено відносні значення розподілу загальних енергетичних втрат по рівнях гідроапаратів. Встановлено фактори впливу на рівень енергоспоживання за рівнями структури системи. Визначено напрямки подальших досліджень.*

*Ключові слова:* циклова система, енергетичні втрати, такт, робочий цикл, система гідроприводів, траєкторія енергетичного потоку.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними задачами.** Аналіз літературних джерел [1-4] та практичних систем показав, що величина та процес формування дисипації енергії багатопривідних циклових систем об'ємного гідроприводу є складним. На нього впливає значна кількість факторів, величина яких залежить від типу гідравлічного обладнання та режимів експлуатації системи. Для уточнення розрахунку повинні бути визначені фактори та оцінений їх вплив на формування дисипації енергії в системі.

Аналіз формування потоку дисипації енергії виконано по двом напрямкам:

- по рівнях гідроапаратів в структурі системи,
- за циклограмою та за терміном роботи.

Використання цих напрямків дозволяє не просто врахувати втрати в гідроапаратах, а провести визначення рівня енергоспоживання системи за визначений проміжок часу роботи системи за допомогою розробки на їх основі узагальненої моделі для різних схемних рішень.

**Постановка задачі.** При аналізі втрат в гідроапаратах по рівнях структури системи використано підхід німецької фірми Festo [5], який в порівнянні з іншими, дозволяє проводити розподіл апаратів за їх функціональним призначенням. Розподіл по рівнях гідроапаратів дозволяє проводити порівняння класу систем. За допомогою такого підходу можна проводити прогнозування рівня енергоспоживання типових схемних рішень на етапі до початку проектування, коли невідома схема підключення гідроапаратів в системі.

Аналіз виконано на прикладах циклових систем об'ємного гідроприводу встановленої потужності, що перевищує 50 кВт:

- кувалного маніпулятора МК30 Новокаматорського машинобудівного заводу «НКМЗ» (потужність 483 кВт),
- ливарної машини ДП-10 доменної печі Дніпродзержинського металургійного комбінату ім. Дзержинського «ДМКД» (потужність 874 кВт),
- автоматизованого пресу для калібрування труб D125/150 фірми Demag Нікопольського південнотрубного заводу «НПТЗ» (потужність 2560 кВт),
- автоматизованого пресу для пресування целюлози ВР-10000 фірми Bosch Rexroth (потужність 213 кВт).

Для обраних систем промислових систем є характерним наявність великої кількості виконавчих пристроїв (більше 10), достатньо складний робочий цикл (автоматичні системи з наявністю паралельних та альтернативних операцій – 4-го та 5-го класу складності та наявність одночасних спрацювань декількох виконавчих пристроїв), змінні навантаження (крутні моменти) та лінійні (кутові) швидкості виконавчих пристроїв, а відповідно і змінні навантаження при спрацюванні приводів.

Розгляд структури схем промислових гідроприводів (рис. 1) показав, що втрати вздовж потоку перетворення енергії (траєкторії енергетичного потоку) формуються за циклограмою різним чином і протягом двох етапів.

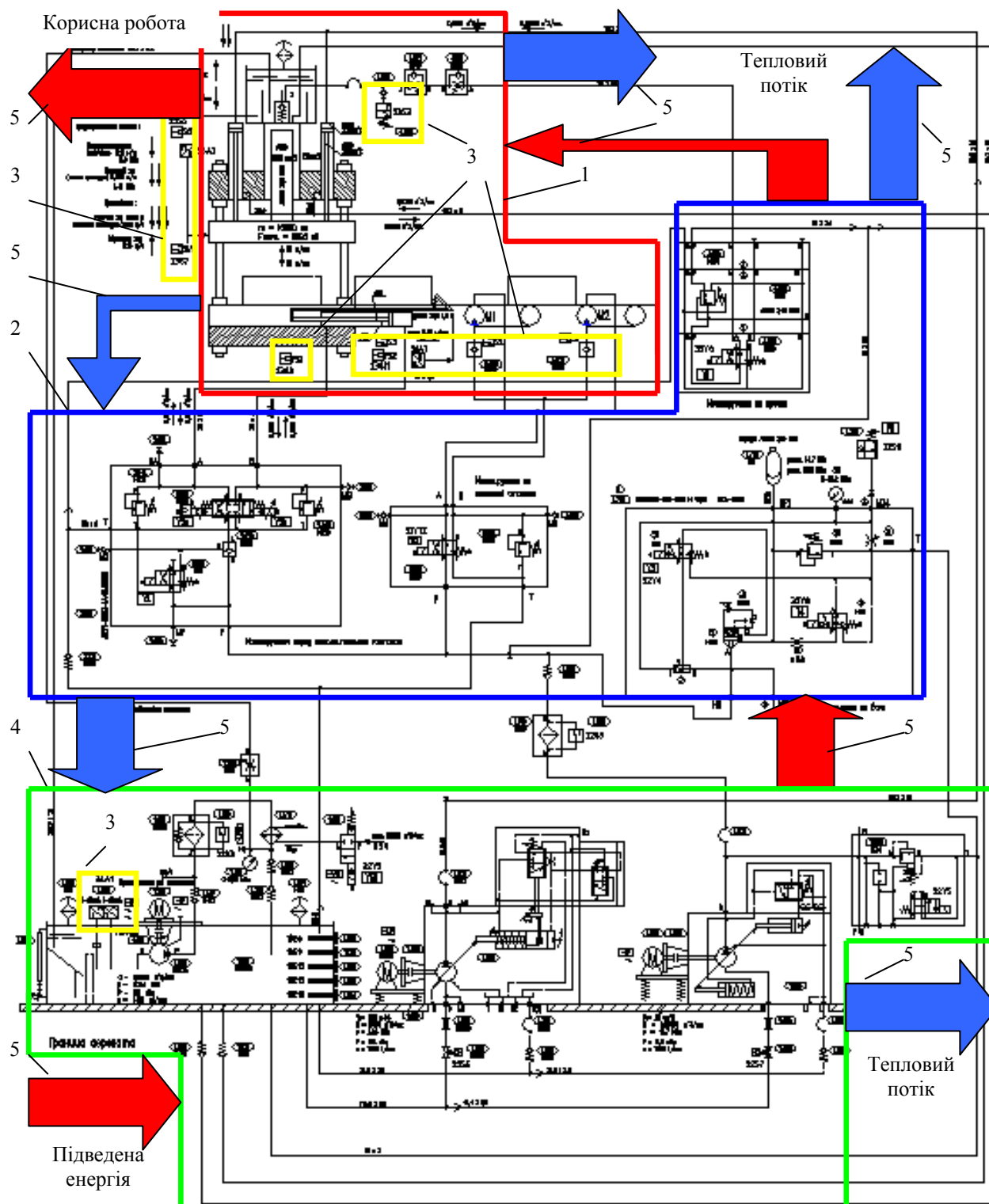


Рис. 1. Приклад розподілу циклової системи по рівням гідроапаратів та траєкторії енергетичного потоку:  
 1 – виконавчий рівень, 2 – керуючий рівень, 3 – логіко-інформаційний рівень, 4 – енергетичний рівень,  
 5 – траєкторія енергетичного потоку

На першому етапі виникають втрати потужності, спричинені ККД гідроапаратів та гідравлічним опором ліній та апаратів, тобто

$$\Delta N_{S_i} = \sum_{i=0}^n \Delta N_{\eta_i} + \sum_{i=0}^n y_i \cdot \Delta N_{n_i} + \Delta N_n + \Delta N_M,$$

де  $\Delta N_{\eta_i}$  – втрати потужності спричинені ККД гідроапаратів, Вт,

$\Delta N_{ni}$  – втрати потужності спричинені одночасною роботою приводів, Вт,

$\Delta N_{л}$  – втрати потужності в трубопроводах, Вт,

$\Delta N_{м}$  – втрати потужності в місцевих опорах, Вт,

$y_i$  – умова включення  $i$ -го приводу в такті,

$n$  – кількість виконавчих пристроїв системи.

На другому етапі ці втрати відводяться в навколишнє середовище за допомогою теплового потоку від апаратів енергетичного рівня, а також від поверхні апаратів інших рівнів системи та трубопроводів, за рахунок різниці температур робочої рідини та середовища експлуатації:

$$\Delta N = \Delta N_{ап} + \Delta N_{сис} = \left( \frac{1}{T_{циклу}} \int_0^{T_{циклу}} Q \cdot dt \right) \cdot dt,$$

де  $\Delta N_{ап}$  – втрати потужності в гідроапаратах, Вт,

$\Delta N_{сис}$  – втрати потужності в системі, Вт,

$Q$  – кількість тепла утвореного з втрат, Дж,

$T_{циклу}$  – тривалість одиничного циклу роботи системи, с.

Аналіз процесу формування дисипації енергії в цикловій системі вказує на те, що тепла складова енергетичного балансу, яка відводиться назовні, не є постійною, а змінюється в залежності від траєкторії задіяного обладнання та режимів експлуатації системи (рис. 1).

Наприклад, при роботі циліндра завантаження кіп пресу для целюлози при прямому ході виконується корисна робота на переміщення кіпи, а при зворотньому ході енергія витрачається лише на повернення робочого органу циліндра у вихідне положення з мінімальним навантаженням.

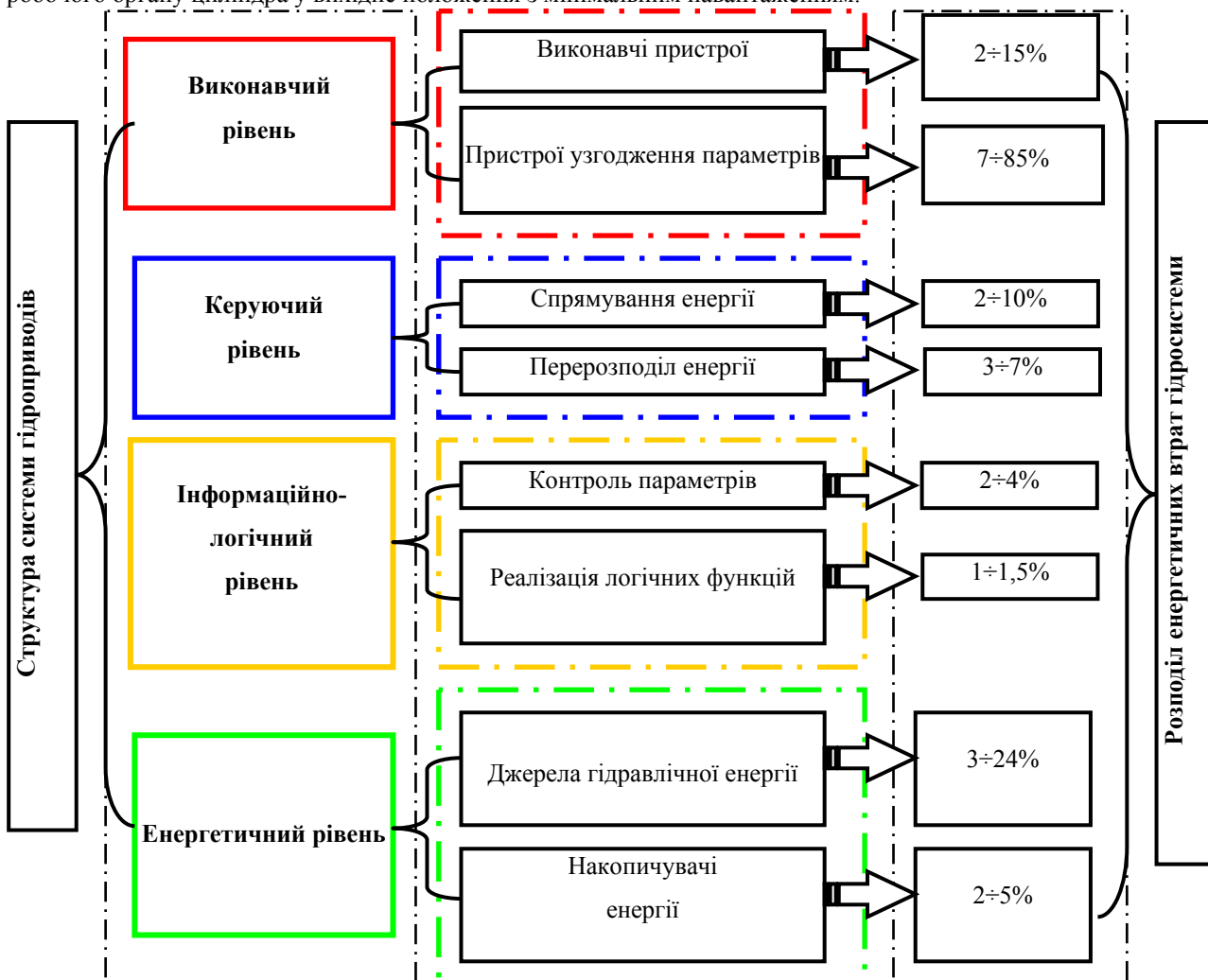


Рис. 2. Розподіл загальних енергетичних втрат по рівням гідроапаратів

Траекторія енергетичного потоку починається з підведеної енергії (як правило, механічної), яка в гідроапаратах енергетичного рівня перетворюється в енергію гідравлічного потоку 5 (рис. 1). Далі енергетичний потік рухається до апаратів керуючого рівня, в якому відбувається його спрямування до апаратів виконавчого рівня.

Під час цього процесу в гідравлічній багатопривідній системі відбувається узгодження енергетичних характеристик вхідного потоку з корисною роботою та її параметрами. Робота, яка виконується приводами, визначає корисну енергію системи.

Для повторного використання робочої рідини відбувається її повернення від апаратів виконавчого рівня до апаратів енергетичного рівня. Частина потужності витрачається на повернення робочої рідини до енергетичного рівня, тобто виникають втрати енергії на подолання гідравлічних опорів в зливній магістралі (втрати по довжині зливної гідролінії, втрати в гідравлічних апаратах, які встановлені на зливній гідро лінії – фільтри, зворотні клапани, теплообмінники, нагрівальні елементи тощо).

Аналіз роботи прикладів промислових гідравлічних систем по рівням гідравлічних апаратів в структурі функціонального модуля показав, що величина втрат в апаратах різного рівня є неоднаковою, а для певних рівнів гідравлічних апаратів змінюється в достатньо широкому діапазоні, що вказує на вплив великої кількості факторів роботи системи на рівень енергоспоживання і відповідно рівень енергетичних втрат (рис.2).

Розрахунок формування втрат по структурним рівням практичних систем показав, що пристрої узгодження параметрів системи та апарати енергетичного рівня, незалежно від системи, мають найбільші втрати енергії по відношенню до апаратів інших рівнів (рис. 2). Тим не менш, необхідно враховувати характеристики та режими роботи і для гідроапаратів інших рівнів, оскільки для систем великої потужності втрати в них можуть мати достатньо високі абсолютні значення, особливо з урахуванням тривалості експлуатації системи.

Відповідно до використаної структури розподілу системи по рівням гідроапаратів визначено наступні фактори, які обумовлюють 90÷98% енергоспоживання системи (табл. 1).

Таблиця 1

**Фактори впливу на рівень енергоспоживання  
за рівнями структури системи**

Виконавчий	Керуючий	Логико-інформаційний	Енергетичний	Система
1. Кількість приводів 2. Відносне навантаження на приводі 3. ККД привода 4. Швидкість руху (частота обертання привода) 5. Змінне навантаження в такті 6. Одночасна робота приводів	1. ККД розподільників, клапанів 2. Точність клапанів тиску, витрати 3. Відносний час переключення 4. Частота переключення	1. Час передачі сигналу 2. Час спрацювання датчиків 3. Точність датчиків	1. ККД насосного агрегату 2. Кількість агрегатів 3. Номінальні тиск, витрата 5. Тип регулювання 6. Опір зливної лінії	1. Циклограма 2. Тривалість експлуатації 3. Тривалість циклу, зміни 4. Теплообмін з оточуючим середовищем 5. Нерівномірність тиску і витрати в циклі 6. В'язкість робочої рідини

Аналіз роботи промислових прикладів багатопривідних систем показує, що енергетичний потік може розглядатись як сума потужностей кожного виконавчого пристрою в кожний момент часу. Встановлено, що однією з причин виникнення енергетичних втрат є енергетична неузгодженість між різними рівнями гідравлічних апаратів. Ця неузгодженість призводить до того, апарати енергетичного рівня генерують гідравлічної енергії значно більше від реальної потреби апаратами виконавчого рівня в кожний момент часу роботи гідравлічної системи. В свою чергу ця енергетична неузгодженість являє собою енергетичні втрати гідросистеми. Таким чином дослідження роботи промислових систем показують можливі варіанти реалізації енергетичного рівня, які вагомо відрізняються один від одного по рівням енергетичної неузгодженості:

постійний тиск та витрата ( $P - const, Q - const$ );

постійний тиск та змінна витрата ( $P - const, Q - var$ );

змінний тиск та постійна витрата ( $P - var, Q - const$ );

змінний тиск та змінна витрата ( $P - var, Q - var$ ).

Ці варіанти реалізації системи підготовки робочої рідини в гідравлічній системі можуть бути використані як базові для порівняння між собою по рівням енергетичного споживання. Водночас до них можуть бути додані альтернативні варіанти, як наприклад, системи з використанням пристроїв акумулювання гідравлічної енергії, системи з розвантаженням насосних агрегатів, системи зі ступінчастим та машинним регулюванням.

### Висновки та напрямки подальших досліджень

Шляхом аналізу практичних промислових систем досліджено приклади циклових систем об'ємного гідроприводу. Детально розглянуто процес зміни траєкторії енергетичного потоку для кожного типу системи та в запропонованому розподілі циклової системи по рівнях гідроапаратів визначено діапазон значень енергетичних втрат. При виконанні досліджень визначено абсолютні та відносні значення розподілу загальних енергетичних втрат по рівням гідроапаратів та встановлено фактори впливу на рівень енергоспоживання за рівнями структури системи.

Ці дослідження дозволять визначити шляхи мінімізації енергетичних втрат та реалізувати зменшення рівня енергоспоживання промислових систем шляхом розробки та впровадження методик та програмного забезпечення по розробці енергоефективних схем.

*Аннотація.* Исследовано примеры цикловых систем объемного гидропривода определенной мощности с точки зрения изменения траектории энергетического потока. Предложено распределение цикловой системы по уровням гидроаппаратов и траектории энергетического потока. Определены относительные значения распределения общих энергетических потерь по уровням гидроаппаратов. Определены факторы влияния на уровень энергопотребления по уровням структуры системы. Определены направления дальнейших исследований.

*Ключевые слова:* цикловая система, энергетические потери, такт, рабочий цикл, система гидроприводов, траектория энергетического потока.

*Abstract.* Study of distribution of power losses on structural level of hydraulic system.

*Purpose.* Study of the trajectory changes of energy flow.

*Design/methodology/approach.* It was proposed distribution of loop system on levels of hydraulic drives and of the trajectory of the energy flow.

*Findings.* It was determined the relative importance of general distribution of energy loss in levels of hydraulic drives.

*Originality/value.* It was identified the factors of influence on the energy consumption level by level structure of the system. The balance of power on levels of devices in the structure of the functional modules of the hydraulic loop system was showed. It was achieved verifying circuit path of the energy flow in the cyclic industrial hydraulic drive system and are identified areas for further research.

*Keywords:* loop system, energy losses, stroke, duty cycle, hydraulic drive system, trajectory of the energy flow.

### Бібліографічний список використаної літератури

1. Тимофеев В.Н. Экономическая эффективность машин: основные факторы, резервы повышения, управление: [монография] / В.Н. Тимофеев. – Харьков, изд-во «Основа» при Харьковском государственном университете, 1990. – 156 с.
2. Яхно О.М. Повышение эффективности использования энергии в гидравлических механизмах сельскохозяйственных машин / О.М. Яхно, С.И. Пастушенко // Всеукраїнський науково-технічний журнал “Промислова гідраліка і пневматика”. – 2004. – Вип. 3. – С. 92-98.
3. Левченко О.В. Підвищення ефективності роботи систем гідроприводів циклічної дії / О.В. Левченко // В кн.: Вісник Національного технічного університету України («КПІ») Серія машинобудування. – 2012. – Вип. 65. – С. 125-130.
4. Левченко О.В. Особливості оцінки ефективності багатопривідної гідравлічної системи / О.В. Левченко // Наукові праці ДНТУ. Серія: "Гірничо-електромеханічна". – 2012. – Вип. 2(24). – С. 142-149.
5. Ebel F., von Terzi M. Festo Didactic. Mechatronics.: Festo Didactic GmbH&Co., D73770 Denkendorf, 2000.- 108 S.

### References

1. Timofeev V.N. Jekonomicheskaja jeffektivnost' mashin: osnovnye faktory, rezervy povyshenija, upravlenie: [monografija] [Economic efficiency of machines: the main factors that increase the reserves, management] Har'kov, izd-vo «Osnova» pri Har'kovskom gosudarstvennom universitete, 1990. 156 p.
2. Jahno O.M., Pastushenko S.I. Povyshenie jeffektivnosti ispol'zovanija jenerгии v gidravlicheskih mehanizmah sel'skhozajstvennyh mashin [Improving energy efficiency in hydraulic mechanisms of agricultural machinery] Vseukraїns'kij naukovno-tehnichnij zhurnal “Promislova gidravlika i pnevmatika”. 2004. Vip. 3.P. 92-98.
3. Levchenko O.V. Pidvishhennja efektyvnosti roboti sistem gidropryvodiv ciklichnoї diї (Improving the efficiency of hydraulic cyclic systems) Journal of mechanical engineering National technical university of Ukraine “KPI”. 2012. 65. P. 125-130.
4. Levchenko O.V. Osoblivosti ocinki efektyvnosti bagatoprividnoї gidravlichnoї sistemi Naukovi praci DNTU. Serija: "Girnichno-elektromehanična". 2012. Vip. 2(24). P 142-149.
5. Ebel F., von Terzi M. Festo Didactic. Mechatronics.: Festo Didactic GmbH&Co., D73770 Denkendorf, 2000. 108 p.

Подана до редакції 11.11.2014