

**Х. Самандиджан,
О.В. Левченко, канд. техн. наук**
Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут”, Київ, Україна

АНАЛІЗ ФАКТОРІВ, ЯКІ ВПЛИВАЮТЬ НА ЕНЕРГЕТИЧНУ ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ГІДРОПРИВОДІВ

ANALYSIS OF FACTORS THAT AFFECT THE ENERGY EFFICIENCY OF HYDRAULIC SYSTEMS

Виконано аналіз траєкторії енергетичного потоку, а також факторів, які впливають на рівень енергетичної ефективності багатопровідних систем промислового гідропривода. Розглянуто баланс потужності по рівнях апаратів в структурі функціональних модулів гідравлічної системи. Виконано уточнення схеми траєкторії енергетичного потоку в цикловій системі промислового гідропривода.

Ключові слова: енергетична ефективність, втрати, система гідроприводів, траєкторія енергетичного потоку

Вступ

Складна економічна ситуація і постійне підвищення вартості енергоносіїв роблять актуальним питання ефективного використання промислового обладнання [1, 2]. Більша частина промислових виробничих систем є системами гідроприводів циклічної дії, тому питання підвищення ефективності таких систем є досить вагомим при вирішенні задач економії енергоносіїв у цілому для всього виробництва [3]. З урахуванням значних енергетичних витрат при роботі технологічного обладнання в процесі виробництва, варіантом підвищення економічної ефективності роботи системи є підвищення безпосередньо ефективності роботи пристроїв гідропривода, які входять до складу цієї системи. Більшість промислових виробництв використовує у технологічному циклі, у залежності від напрямку промисловості, від 5 до 85% гідравлічних пристроїв [4–7]. Проаналізувавши існуючі виробничі системи, виявили неповне, з різних причин, використання гідравлічного обладнання. Тому підвищення, наприклад, ефективності роботи гідравлічної частини системи на 5–10% дозволить значно зменшити витрати на експлуатацію автоматичної системи у цілому, що для великих промислових підприємств може стати вагомим і потрібним результатом.

Запропоноване рішення

Підвищення енергетичної ефективності виробництва є однією з основних задач для інженерів та проєктувальників, що пов'язано не лише з економічною складовою цього питання, а у першу чергу з обмеженнями на обсяги використання ресурсів як окремими підприємствами, так і державою в цілому. Очевидно, що на енергетичну ефективність впливає велика кількість факторів у зв'язку зі складністю, різноманітністю та мехатронною спрямованістю промислових систем. Ступінь впливу на енергетичну

ефективність кожного фактора неоднаковий, а також шляхи зменшення впливу кожного з них не завжди можуть бути реалізовані традиційними засобами.

Таким чином, виникає необхідність проведення аналізу роботи багатопровідних систем гідроприводів та визначення факторів та чинників, які впливають на їх рівень енергетичної ефективності. Актуальним також є визначення ступеня впливу цих факторів на рівень енергоспоживання та визначення шляхів для їх мінімізації.

Дослідження робіт промислових систем свідчить, що величина та процес формування енергетичних втрат систем об'ємного гідропривода є досить складним і на нього впливає значна кількість факторів. Величина впливу факторів залежить від типу гідравлічного обладнання та режимів експлуатації системи. Таким чином, для вирішення задачі енергозбереження потрібно визначити фактори та оцінити ступінь їх впливу на формування втрат енергії у системі.

Аналіз енергоспоживання та формування енергетичного потоку виконано за двома напрямками: по рівнях гідроапаратів у структурі системи та за терміном роботи і циклограмою.

При аналізі втрат у гідроапаратах по рівнях структури системи використано підхід німецької фірми Festo [1, 2]. Аналіз виконано на прикладах циклових систем встановленої потужності, що перевищує 50 кВт, а саме:

- ◆ автоматизованого кувального маніпулятора МК30 Новокраматорського машинобудівного заводу НКМЗ (потужність 483 кВт);
- ◆ ливарної машини доменної печі ДП-10 Дніпродзержинського металургійного комбінату ім. Дзержинського ДМКД (потужність 874 кВт);
- ◆ автоматизованого преса для калібрування труб D125/150 фірми Demag Нікопольського південно-трубного заводу НІТЗ (потужність 2560 кВт);

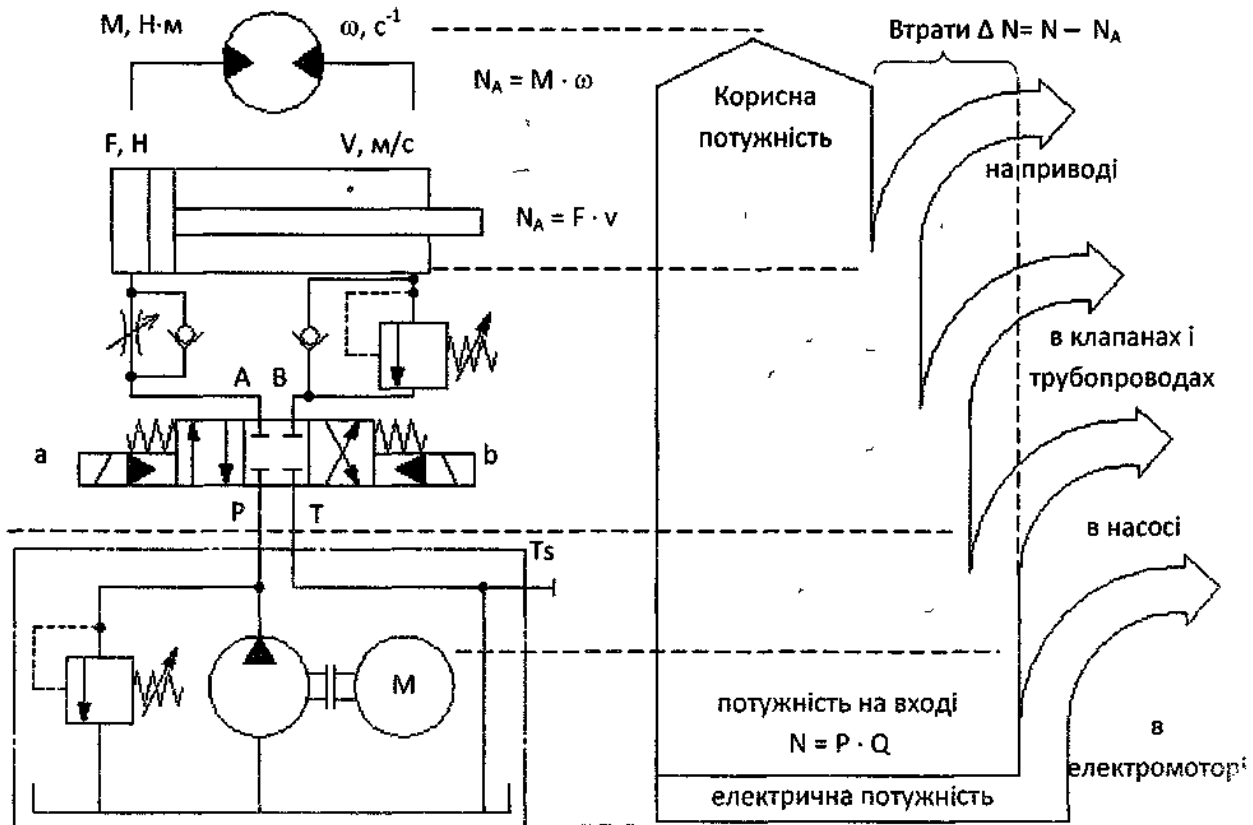


Рисунок 1 – Баланс потужності за рівнями структури гідравлічної системи

♦ автоматизованого преса для пресування целолюзи ВР-10000 фірми *Bosch Rexroth* (потужність 213 кВт).

Більшість методик [3–7] базується на траєкторії енергетичного потоку, направлено від апаратів енергетичного рівня до апаратів виконавчого рівня з врахуванням величини втрат по шляху енергетичного потоку і може бути представлена у вигляді балансу підведеної потужності гідравлічної системи (рисунок 1). В низці методик, окрім вказаного, втрати потужності у потоці відведення рідини враховуються як певний відсоток від підведеної потужності

$$\Delta N = K_{\text{труб}} \cdot N + K_{\text{оп}} \cdot N + \dots + P_{\text{зл}} \cdot Q_{\text{зл}}$$

Вихідна потужність на валу електродвигуна є вхідною потужністю гідравлічної системи. Далі по шляху енергетичного потоку відбувається його зменшення за рахунок втрат на апаратах усіх рівнів структури: насосному агрегаті, клапанах тиску та витрати, розподільниках, місцевих опорах та втрат по довжині трубопроводів і на виконавчих пристроях, які враховуються відповідними коефіцієнтами корисної дії, механічним $\eta_{\text{мех}}$, об'ємним $\eta_{\text{об}}$ та гідравлічним $\eta_{\text{г}}$.

Залишок дорівнює корисній потужності, яку спрямовано на виконання експлуатаційних операцій. Отже, величина енергетичних втрат по довжині траєкторії енергетичного потоку може бути визначена як

різниця підведеної та корисної потужності за певний проміжок часу для кожного задіяного у такті циклограми апарата

$$\begin{aligned} \Delta E &= \sum_{i=1}^{n_i} \int_0^{T_{\text{цик}}} (N_3(t) - N_k(t)) \cdot dt = \\ &= \sum_{i=1}^{n_i} \int_0^{T_{\text{цик}}} (N_3(t) \cdot (1 - \eta_{\text{мех}} \cdot \eta_{\text{об}} \cdot \eta_{\text{г}})) \cdot dt, \end{aligned}$$

де n_i — перелік задіяного у траєкторії енергетичного потоку обладнання протягом одного такту.

Витрачена гідравлічна потужність

Аналіз методів розрахунку і роботи практичних систем промислових гідроприводів показав, що втрати виникають не лише в напрямі траєкторії енергетичного потоку. Він має значне розгалуження та простежується додатковий потік енергетичних втрат (рисунок 2).

Розгляд структури схем промислових гідроприводів (рисунок 3) показав, що втрати вздовж потоку перетворення енергії (траєкторії енергетичного потоку) складаються з двох частин. До першої частини належать втрати, спричинені ККД гідроапаратів та гідравлічним опором ліній та апаратів, тобто

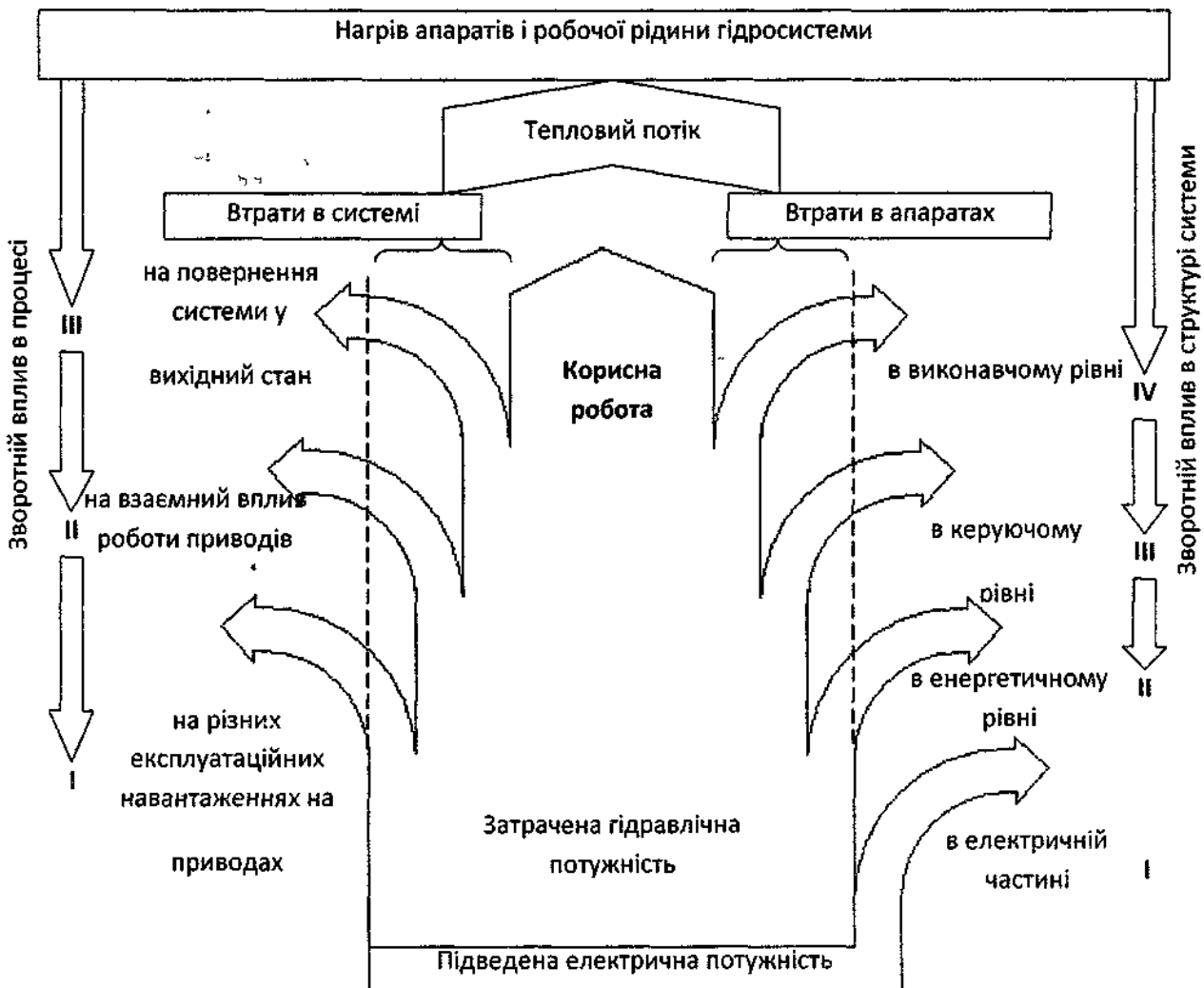


Рисунок 2 – Уточнена схема траєкторії енергетичного потоку циклової системи

$$\Delta N_s = \sum_{i=0}^n \Delta N_{\eta_i} + \sum_{i=0}^n y_i \cdot \Delta N_m + \Delta N_n + \Delta N_x$$

де ΔN_{η_i} — втрати потужності, спричинені ККД гідроапаратів, ΔN_m — втрати потужності, спричинені одночасною роботою декількох приводів, ΔN_n — втрати потужності в трубопроводах, ΔN_x — втрати потужності в місцевих опорах, y_i — умова включення i -го привода в такті.

Траєкторія енергетичного потоку складається не лише з напрямку від насосного агрегата до виконавчого пристрою, а з суми прямого до привода та зворотного до насосного агрегата шляхів, кожний з яких впливає на рівень дисипації енергії в системі. Дослідження процесу формування дисипації енергії в циклової системі вказує на те, що тепла складова енергетичного балансу, яка відводиться назовні, не є постійною, а змінюється в залежності від траєкторії

здіяного обладнання та режимів експлуатації системи. Наприклад, при роботі циліндра завантаження кіп преса для целюлози при прямому ході виконується корисна робота на переміщення кіпи, а при зворотному ході енергія витрачається лише на повернення робочого органа циліндра у вихідне положення.

Траєкторія енергетичного потоку починається з підведеної енергії (як правило, механічної), яка в гідроапаратах енергетичного рівня перетворюється в гідравлічну енергію. Далі енергетичний потік спрямовується до апаратів керуючого рівня, в якому відбувається його спрямування на виконання дій апаратів виконавчого рівня. Після цього відбувається узгодження енергетичних характеристик вхідного потоку з корисною роботою та її параметрами. Виконання роботи виконавчими пристроями визначається тиском і витратою корисної енергії системи. Для повторного використання робочої рідини відбувається її повернення від апаратів виконавчого рівня до апаратів енергетичного рівня. Відповідно 1 частина потужності витрачається на повернення робочої рідини до енергетичного рівня. Наступним етапом дисипації

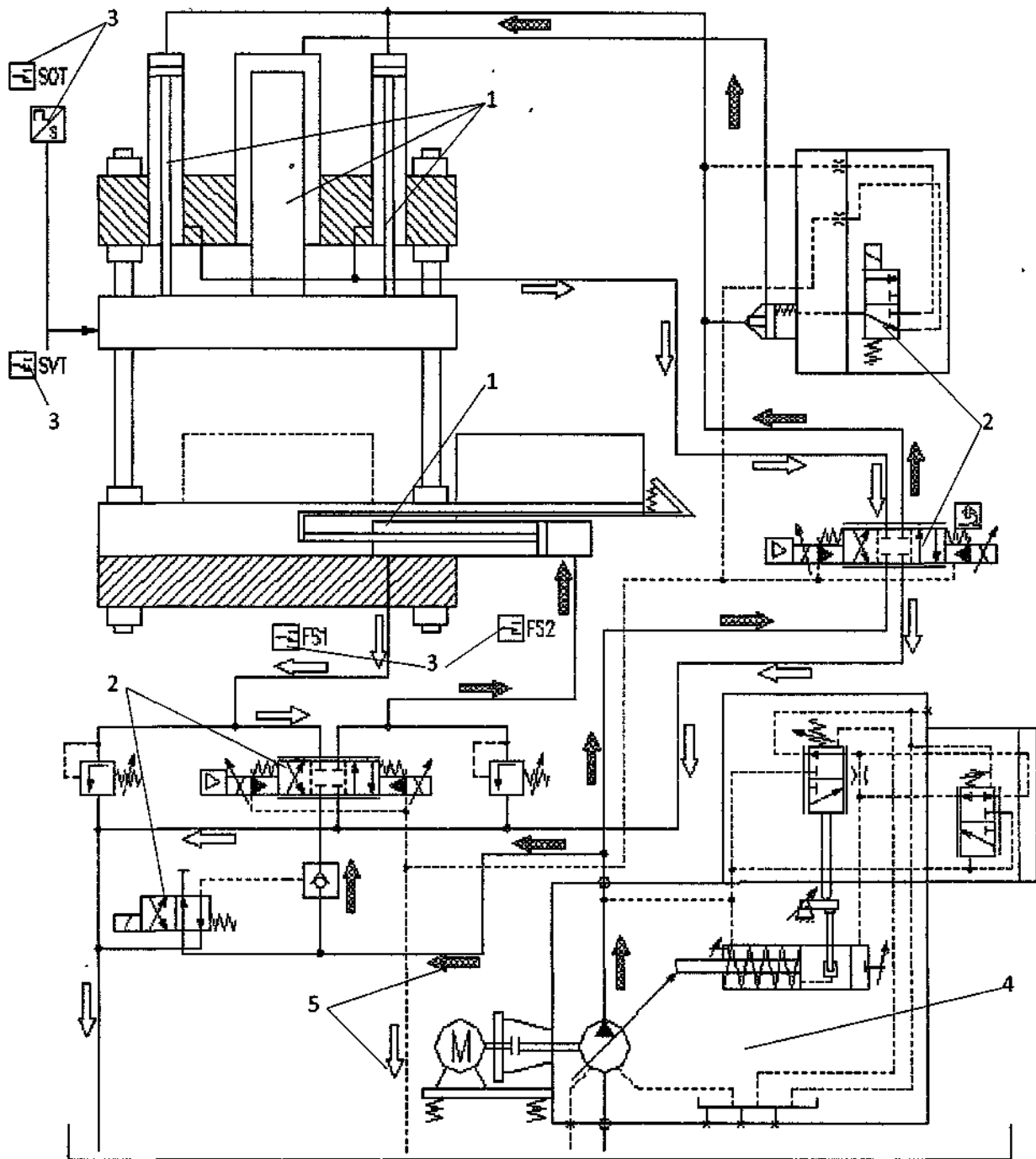


Рисунок 3 — Приклад розподілу за структурою гідропривода по рівням втрат енергії та траєкторії енергетичного потоку: 1 — виконавчий рівень, 2 — керуючий рівень, 3 — логіко-інформаційний рівень, 4 — енергетичний рівень, 5 — траєкторія енергетичного потоку

енергії від апаратів енергетичного рівня, а також від поверхні апаратів інших рівнів системи та трубопроводів відбувається відведення частини енергії тепловим потоком, яке спричинено різницею температур робочої рідини та середовища експлуатації

$$= (c \cdot m + c_1 \cdot m_1) \cdot dT \cdot dt + k_n \cdot F \cdot \left(T_1 - T_0 + \frac{dT}{2} \right) \cdot dt$$

де $\Delta N_{ап}$ — втрати в гідроапаратах, $\Delta N_{сис}$ — втрати в системі, Q — кількість тепла, утвореного з втрат, $T_{циклу}$ — тривалість циклу.

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

Висновки

На прикладах реальних промислових систем визначено структуру енергетичного потоку в багатоприводній системі об'ємного гідропривода та встановлено напрямок дослідження величини енергетичних втрат, які потрібно виконати у процесі енергетичного аналізу. Ці дослідження дозволять визначити шляхи мінімізації енергетичних втрат та реалізувати зменшення рівня енергоспоживання промислових систем шляхом розроблення та впровадження методик по розробці енергоефективних схем.

Література

1. Didactic systems: Fluidprax, Hydraulik, Elektrik/Elektronik. — Bosch Rexroth AG. ErbachOdenwald.— 2002. — 128 S.
2. Ebel F., von Terzi M. Festo Didactic. Mechatronics: Festo Didactic GmbH&Co., D73770 Denkendorf, 2000. — 108 S.
3. Свешников, В.К. Гидроприводы металлорежущих станков и промышленных роботов (манипуляторов) / В.К. Свешников, Л.С. Столбов, А.А. Усов. — М.: Машиностроение, 1983. — 45 с.
4. Беленков, Ю.А. Надежность объемных гидроприводов и их элементов / Ю.А. Беленков, В.Г. Нейман. — М.: Машиностроение, 1977. — 168 с.
5. Скрицкий, В.Я. Эксплуатация промышленных гидроприводов / В.Я. Скрицкий, В.А. Рокшевский. — М.: Машиностроение, 1984. — 176 с.
6. Тимофеев, В.Н. Экономическая эффективность машин: основные факторы, резервы повышения, управление / В.Н. Тимофеев. — Харьков: Основа, 1990. — 156 с.
7. Яхно, О.М. Повышение эффективности использования энергии в гидравлических механизмах сельскохозяйственных машин / О.М. Яхно, С.И. Пастушенко. — Промислова гідроліка і пневматика. — 2004. — №3. — С. 92—98.

References

1. Didactic systems: Fluidprax, Hydraulik, Elektrik/Elektronik.-Bosch Rexroth AG.-ErbachOdenwald.-2002.-128 S.
2. Ebel F., von Terzi M. Festo Didactic. Mechatronics.: Festo Didactic GmbH&Co., D73770 Denkendorf, 2000.- 108 S.
3. Sveshnikov, V.K. Gidroprirody metallo-rezhushchikh stankov i promyshlennyh robotov (manipuljatorov) / V.K. Sveshnikov, L.S. Stolbov, A.A. Usov. — M.: Mashinostroenie, 1983. — 45 s.
4. Belenkov, Yu.A. Nadezhnost' obemnykh gidroprivodov i ikh elementov /Yu.A. Belenkov, V.G. Nejman. — M.: Mashinostroenie», 1977. — 168 s.
5. Skrickii, V.Ya. Ekspluatacija promyshlennykh gidroprivodov / V.Ya. Skrickii, V.A. Rokshevskii. — M.: Mashinostroenie, 1984. — 176 s.

6. Timofeev, V.N. Ekonomicheskaia effektivnost' mashin: osnovnye faktory, rezervy povysheniya, upravlenie / V.N. Timofeev. — Kharkov: Osнова, 1990. — 156 s.

7. Yahno, O.M. Povyshenie effektivnosti ispolzovaniya energii v gidravlicheskiykh mekhanizmax sel'skokhoziaistvennykh mashin / O.M. Yahno, S.I. Pastushenko. — Promislova gidravlika i pnevmatika. — 2004. — №3. — S. 92—98.

Надійшла 19.05.2014 року

UDC 62-522.2

Анализ факторов, влияющих на энергетическую эффективность систем гидроприводов

Х. Самандиджан, О.В. Левченко

Выполнен анализ траектории энергетического потока, а также факторов, которые влияют на уровень энергетической эффективности многоприводных систем промышленного гидропривода. Рассмотрен баланс мощности по уровням аппаратов в структуре функциональных модулей гидравлической системы. Выполнено уточнение схемы траектории энергетического потока в цикловой системе промышленного гидропривода.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, потери, система гидроприводов, траектория энергетического потока.

UDC 62-522.2

Analysis of factors that affect the energy efficiency of hydraulic systems

H. Samandidjan, O. Levchenko

The analysis of the trajectory of the energy flow, as well as factors that affect the level of energy efficiency of multidrive systems by industrial hydraulic machines was performed. The balance of power on the levels of devices in the structure of functional modules of hydraulic system was considered. The scheme path refinement of energy flow in the cyclic system of industrial hydraulic machines was achieved.

Key words: energy efficiency, losses, hydraulic drive system, trajectory of the energy flow.