

*І.П. ГРЕЧКА*, канд. техн. наук, ст. викл., НТУ «ХП»

## **ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ ГІДРОАГРЕГАТУ ОБЕРТАННЯ**

Наведено номенклатуру одиничних показників якості гідроагрегатів, які використовуються в оцінюванні їх технічного рівня. Запропоновано для встановлення технічного рівня гідроагрегатів обертання використовувати комплексний критерій ефективності, який дає оцінку конструктивних та експлуатаційних показників гідромашин відносно конкретних гідрофікованих машин, а саме – безрозмірний критерій ефективності для гідромоторів. За питомими показниками якості та комплексним критерієм встановлено технічний рівень гідромоторів передових закордонних фірм та вибрано тип гідромотора для гідроагрегату обертання.

**Ключові слова:** гідроагрегат обертання, технічний рівень, комплексний показник, гідромотор.

**Вступ.** Визначення технічного рівня гідроагрегатів (ГА) обертання здобуває все більше значення при ринкових відносинах у економіці, коли споживач повинен обрати найкращу для своїх умов продукцію шляхом порівняння показників виробів різних товаровиробників. Вибір показників ефективності ГА є складною задачею та визначається сукупністю багатьох факторів: часу розробки і виготовлення, режиму та умовами його експлуатації, технологічністю, надійністю, вартістю виготовлення, експлуатації та ремонту. Важливими показниками технічного рівня ГА є точність підтримування вихідного параметра (тиску, потужності), час зміни тиску при східчастій зміні витрати від номінальної до мінімальної та навпаки, час переключення, зона нечутливості, гістерезис. Одним із ефективних напрямків підвищення технічного рівня ГА є вдосконалення методів їх розрахунку і проектування. Область застосування ГА визначає комплекс властивостей і вихідних характеристик, які потрібні для забезпечення його працездатності у машині. Оцінка технічного рівня і якості ГА є сукупністю операцій, які включають вибір номенклатури показників якості, визначення значень цих показників і зіставлення їх із базовими.

**Аналіз літературних джерел.** Технічний рівень ГА обертання значною мірою залежить від технічного рівня виконавчого механізму – гідромотора. Визначенню технічного рівня ГА присвячено багато літературних джерел, наприклад [1], але в них не встановлено технічний рівень ГА з використанням сучасних гідромоторів, що випускаються провідними світовими фірмами, такими як «REXROTH BOSCH GROUP» (ФРН), «PARKER» (США), «SEUER-DANFOSS» (ФРН), «SAI» (Італія), «POCLAIN» (Франція) і «HAGGLUNDS» (Швеція).

Проектування ГА обертання високого технічного рівня – комплексний і багатоаспектний процес, при якому базові значення технічних показників повинні відповідати значенням, які характеризують його технічну досконалість.

ГА представляє собою достатньо складну технічну систему, до показників якості якої висуваються різноманітні вимоги. Керування технічним рівнем на стадії проектування зводиться до вибору раціональних параметрів або розв'язанню задач оптимізації. Останнє виконується за рахунок розрахунку чи вибору параметрів ГА або його елементів по одному чи декількох критеріях, які є суттєвими і забезпечують відповідні показники технічного рівня при заданих обмеженнях і умовах [2].

У роботі [3] встановлено основну номенклатуру одиничних показників якості ГА і пристроїв, що використовуються при оцінюванні їх технічного рівня і якості. До них відносяться групи показників:

1) класифікаційні (для підбору аналогів);

2) оціночні (для оцінки технічного рівня якості): призначення, надійності, ергономічні, технологічні, уніфікації, патентно-правові, безпеки, економічні.

Так оцінку технологічності можна провести за допомогою сумарної та питомої трудомісткості (в якості їх співмножника може виступати ресурс пристрою). Сумарна трудомісткість виготовлення розраховується за формулою [4]

$$T = t_1 + t_2 + \dots + t_n = \sum_{i=1}^n t_i,$$

де  $t_i$  – трудомісткість за окремими видами робіт, які входять до технологічного процесу виготовлення даного ГА чи його елементів;  $n$  – число видів робіт.

Питома трудомісткість виготовлення визначається за формулою [3]

$$t_{\text{пит}} = T_p / B_{\text{п}},$$

де  $T_p$  – сумарна трудомісткість;  $B_{\text{п}}$  – визначаючий параметр, рекомендації по вибору і одиниці вимірювання якого наведено в [3].

Показники уніфікації, а саме коефіцієнт використання, розраховуються на заключному етапі проектування, на підставі даних конструкторської документації. Коефіцієнт використання характеризує ступінь насиченості ГА стандартизованими та уніфікованими елементами, їх деталями і розраховується аналогічно до [4]:

$$K_3 = K / (K - K_0) \cdot 100,$$

де  $K$  – загальна кількість елементів (складових частин), що входять до складу ГА;  $K_0$  – кількість оригінальних частин (складових частин).

Рівень шуму ГА може виступати критерієм його якості [2]. Для насосів цей показник визначається за формулою

$$k_L = 10^{\Delta p_i / 20},$$

де  $\Delta p_i$  – перепад тиску в ГА.

Увесь перелік показників, які характеризують якість ГА та пристроїв, що наведено в роботі [3], неможливо врахувати одночасно при оцінюванні технічного рівня ГА обертання. Попередня інформативна оцінка їх технічного рівня виконується за одиничним і питомими показниками. За основні критерії якості ГА обертання беруть енергетичні, масогабаритні, техніко-економічні та показники надійності. При цьому часто застосовуються питомі

показники маси і енергоємності в якості базових показників їх технічного рівня. Питома енергоємність є критерієм, за допомогою якого можна оцінити тиск, (ККД), частоту обертання вихідного вала насоса через їх пропорційність. Питома маса відображає масові і габаритні показники ГА. Масагабаритні показники для об'ємного насоса ГА розраховують у роботі [2].

*Комплексний критерій якості*, пов'язаний з енергетичними показниками, застосовується для оцінки технічного рівня ГА, як джерела гідравлічної енергії в агрегаті, і розраховується за залежністю [5]

$$k_e = (PT)/(C\varphi\Sigma B),$$

де  $T$  – гарантійний термін роботи ГА;  $C$  – вартість ГА;  $\varphi$  – коефіцієнт втрат потужності,  $\varphi = 1 - \eta$ ;  $\eta$  – ККД ГА;  $\Sigma B$  – сумарні експлуатаційні витрати.

Але при застосуванні цього показника виникають складності у визначенні експлуатаційних витрат через різницю ККД, показників надійності залежно від видів елементів, з яких збудований ГА, режимів експлуатації, систем технічного обслуговування і ремонту.

У роботі [2] для оцінки технічного рівня запропоновано критерій віддавання енергії, у якому можливо врахувати інтенсивність роботи, ресурс, питому масу.

У статті [6] наведено перелік показників технічного рівня та комплексний критерій ефективності для гідромоторів, який має свою специфіку і не може бути цілком застосований для оцінки технічного рівня ГА обертання. Наведені вище критерії є достатніми для локального оцінювання технічного рівня ГА. Виникає потреба в комплексній оцінці.

Наявність узагальнених критеріїв технічної ефективності дає можливість при проектуванні значно скоротити кількість варіантів конструктивних рішень ГА, відкидаючи вже на попередніх стадіях інженерної розробки слабкі рішення, зосередивши увагу на найбільш ефективних варіантах [7].

У роботі [4] запропоновано комплексний метод, який базується на застосуванні комплексного показника якості, який розраховується за даними одиничних відносних показників якості з урахуванням їх коефіцієнтів вагомості. Цей показник можна розрахувати за залежністю

$$k_k = \sum_{i=1}^n \alpha_i \bar{k}_i,$$

де  $\alpha_i$  – коефіцієнт вагомості показника;  $\bar{k}_i$  – відносний показник якості (відношення показників пристрою, аналогів, базових показників до верхньої границі найвищої категорії).

У статті [8] як комплексний критерій якості запропоновано міру ефективності ГА, яка визначається за залежністю

$$\beta = \bar{X}/\bar{Y},$$

де  $\bar{X}$  – вектор активних засобів;  $\bar{Y}$  – вектор вихідної величини.

Використовуючи критерій (7), при проектуванні ГА його слід розгляда-

ти як систему, на вхід якої подається вектор активних засобів

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n x_i \gamma_i,$$

де  $x_i$  – показник, який може означати вартість апаратури, електроенергії, проектування окремих апаратів, робочої рідини, показники надійності тощо;  $\gamma_i$  – коефіцієнт, який врівноважує розмірність окремих компонентів.

Вихідну характеристику ГА можна представити вектором

$$\bar{Y} = (y_1, y_2, y_3, \dots, y_n).$$

Показники  $y_1, y_2, y_3$  – елементи технологічної та силової циклограми (зусилля, координати, швидкість, час тощо).

Використання цього методу більше підходить для оцінювання технічного рівня окремих гідравлічних елементів, ніж ГА обертання в цілому, через складність розрахунків деяких складових критерію (7).

З проведеного аналізу літературних джерел видно, що існує велика кількість показників технічного рівня, за допомогою яких можна проводити оцінювання ГА, але відсутній єдиний підхід до визначення ефективності їх роботи. Існує потреба в створенні узагальненого критерію для визначення технічного рівня ГА з урахуванням оптимальної кількості показників, які несуть різносторонню, максимальну інформативність стосовно його технічних параметрів, умов експлуатації, ремонту тощо. Слід зазначити, що вибір оптимального комплексу показників є складним багатofакторним завданням.

**Мета статті.** Метою даної статті є встановлення технічного рівня ГА обертання із гідромотором сучасних фірм за комплексним показником.

**Використані критерії і показники.** Прикладом сучасного вітчизняного агрегату такого типу, що досліджується, є наступний пристрій (див. рис. 1). Нами розроблено схемне рішення ГА обертання [1], схема якого містить з'єднані послідовно гідророзподільник із гідравлічним вібраційним контуром, що дозує витрату, та клапан тиску, який складається із дроселюючого золотника, під торці якого підведені тиски – до гідророзподільника і після нього, і пружини, розташованої в камері більш низького тиску, це забезпечує постійний перепад тиску на дроселюючій щілині гідророзподільника. Клапан тиску виконує функцію керуючого дроселя (компенсатора тиску) і одночасно елемента порівняння в системі зворотного зв'язку, а гідророзподільник із гідравлічним вібраційним контуром – компенсатора витоків за рахунок введення зворотного зв'язку по тиску з входу гідромотора. Таким чином, забезпечується регулювання витрати, яка підводиться до гідромотора, та постійної частоти обертання гідромотора, незалежно від зовнішнього навантаження й витоків у ньому.

Основними технічними параметрами об'ємних гідромашин є значення робочого об'єму, тиску робочої рідини, крутного моменту, подачі (витрати) насоса, потужності, діапазону зміни частоти обертання, маси, довговічності тощо. При виборі конструктивного типу об'ємної гідромашини проводять порівняльну оцінку за вищенаведеними параметрами і вартістю.

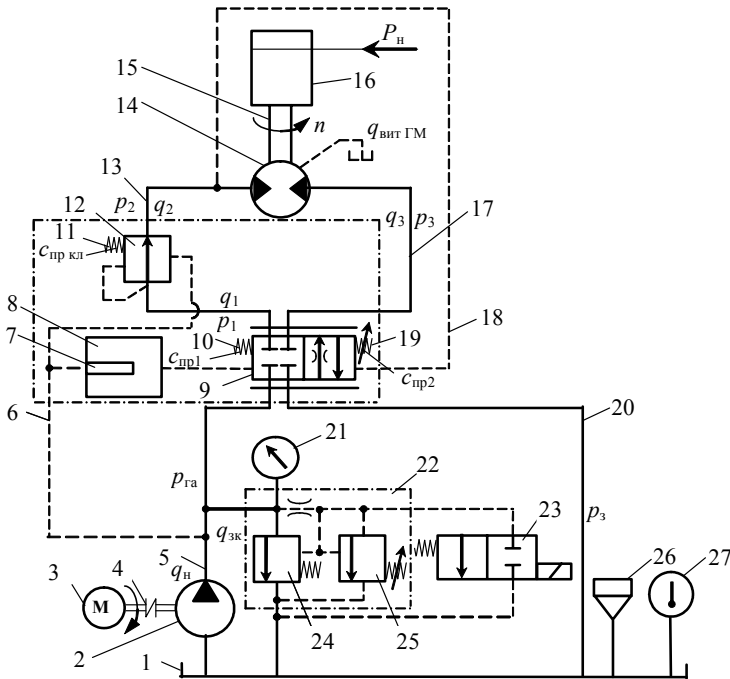


Рис. 1 – Гідралічна принципова схема ГА верстата для намотування обмоток електродвигунів: 1 – бак; 2 – насос; 3 – електродвигун; 4 – муфта; 5, 6, 13, 17, 20 – трубопроводи; ГВК: 7 – внутрішній патрубков, 8 – камера; 9 – слідкуючий ГР; 10 і 19 – пружини ГР 9; 11 – пружина клапана тиску; 12 – клапан тиску; 14 – гідромотор (ГМ); 15 – вал ГМ; 16 – котушка для намотування дроту; 18 – трубопровід (гідралічний зворотний зв'язок по тиску); 21 – манометр; 22 – запобіжний клапан; 24 – основний; 25 – допоміжний; 23 – ГР; 26 – заливна горловина; 27 – термометр.

У основі оцінки технічного рівня об'ємних гідромашин лежать наступні показники [9]:

- маса, що доводиться на одиницю моменту, який розвивається гідромотором (питомий показник моменту),

$$k_M = m/M_{кр}, \text{ кг/Нм}, \quad (1)$$

де  $m$  – маса гідромотора, кг;

$M_{кр}$  – теоретичний крутний момент гідромотора

$$M_{кр} = 0,159 \cdot V_p \cdot \Delta p, \text{ Нм}, \quad (2)$$

$V_p$  – робочий об'єм гідромотора,  $\text{см}^3$ ;  $\Delta p$  – перепад тисків на гідромоторі, МПа;

- маса, що доводиться на одиницю потужності, яка розвивається гідромотором (питомий показник потужності),

$$k_P = m/P_M, \text{ кг/кВт}, \quad (3)$$

$P_M$  – теоретична потужність гідромотора,

$$P_M = (M_{кр} \cdot n_M) / 9550, \text{ кВт}, \quad (4)$$

і теоретична потужність насоса

$$P_H = (Q_H \cdot p_H) / 60, \text{ кВт}, \quad (5)$$

$n_M$  – частота обертання гідромотора,  $\text{хв}^{-1}$  (об/хв);  $Q_H$  – подача насоса, л/хв.;  
 $p_H$  – тиск нагнітання на виході насоса, МПа;

- маса, що доводиться на одиницю займаного гідромашиною об'єму (*коефіцієнт компактності*),

$$k_V = m/V, \text{ кг/см}^3, \quad (6)$$

$V$  – об'єм, описаний габаритами гідромашини,  $\text{см}^3$ ;

- потужність, що розвивається одиницею займаного гідромотором об'єму (*коефіцієнт енергоємності*),

$$k_{P/V} = P_M/V, \text{ кВт/см}^3; \quad (7)$$

- швидкісний показник (*коефіцієнт швидкохідності*),

$$C_n = n \cdot V_p^{1/3}, \text{ см/хв}, \quad (8)$$

$n$  – частота обертання насоса або гідромотора,  $\text{хв}^{-1}$ , що для останнього визначають за формулою

$$n_M = (10^3 \cdot Q_H) / V_p, \text{ хв}^{-1}, \quad (9)$$

$Q_H$  – теоретична подача робочої рідини насосом, л/хв,

$$Q_H = 10^{-3} V_{рн} \cdot n_M, \text{ л/хв}, \quad (10)$$

$V_{рн}$  – робочий об'єм насоса,  $\text{см}^3$ ;  $n_M$  – частота обертання насоса,  $\text{хв}^{-1}$ ;

- коефіцієнт потужності

$$C_n = \Delta p \cdot n \cdot V_p^{1/3}, \text{ МПа} \cdot \text{см/хв}. \quad (11)$$

Слід зазначити, що кожний критерій окремо недостатньо повно характеризує технічний рівень конструкції гідромашини, тому проводять порівняння за декількома критеріями або вибирають у якості основного такий, котрий найбільшою мірою відображає вимоги, що пред'являються до конкретного приводу гідрофікованої машини. Наприклад, для гідропроводів обертання гірських машин головним показником є енергоємність. Зазначимо, що з урахуванням значень ККД показники технічного рівня носять більш достовірний характер.

Становлять інтерес комплексний критерій ефективності, який дає оцінку конструктивних і експлуатаційних показників гідромашин стосовно до конкретних гідрофікованих машин. Одним із таких показників є безрозмірний критерій ефективності для гідромоторів [9]

$$K = \frac{M_{кр} \cdot n_M \cdot T}{g \cdot m \cdot L} \left[ \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2 \cdot \text{год} \cdot 60}{9,8\text{М} \cdot 9550 \cdot \text{кг} \cdot \text{хв}^{-1}} \right] = 6,12 \frac{M_{кр} \cdot n_M \cdot T}{9550 \cdot m \cdot L}, \quad (12)$$

де  $T$  – довговічність гідромотора, год.;  $n_M$  – частота обертання вала гідромотора,  $\text{хв}^{-1}$ ;  $g$  – прискорення вільного падіння,  $\text{м/с}^2$ ; 9550 – коефіцієнт розмірності у формулі для ефективної потужності гідромотора, що введений для зниження абсолютного значення коефіцієнта  $K$ ;  $L$  – характеристичний розмір гідромотора

$$L = (D_M \cdot L_M)^{1/2}, \text{ м}, \quad (13)$$

$L_M$  і  $D_M$  – довжина та діаметр гідромотора, відповідно, м, причому кожний із цих параметрів може прийматися окремо, в залежності від габариту гідромотора, що лімітує машину.

**Результат порівняльного аналізу.** Проведені розрахунки за питомими показниками і комплексним критерієм, формули (1) – (13), дозволили отримати систематизовану інформацію про сучасний технічний рівень гідромоторів передових закордонних фірм, яка наведена в таблиці.

Таблиця – Технічний рівень гідромоторів провідних світових фірм

Параметри, розмірність	Гідромотори			
	аксіально-поршневі	радіально-поршневі	героторні	шестеренні
Тиск, МПа	35–48	25–42	16–40	20–30
Крутний момент, Н.м	229–5565	56–91560	315–2735	124–528
Частота обертання, об/хв	1600–6900	25–3600	320–750	2400–3500
Потужність, кВт	110–915	11–494	21–49	39–118
Маса, кг	9,5–336	12–3100	10–27,8	9,5–33
$k_M$ , кг/Нм	0,04–0,060	0,003–0,2	0,013–0,04	0,04–0,1
$k_P$ , кг/кВт	0,08–0,43	0,8–6,2	0,44–0,65	0,2–0,31
$C_n$ , см/хв. $\cdot 10^{-3}$	16,5–23,7	2,0–7,9	2,4–4,4	7,4–13,3
ККД, %	92–93	90–95	85–90	86–89
$K \cdot 10^{-5}$	4,94–6,62	0,012–3,26	2,027–7,53	15,14–18,59

Аналіз таблиці дозволяє зробити наступні висновки. За допомогою коефіцієнта швидкохідності  $C_n$  гідромотори можуть бути розділені на чотири групи в порядку зростання швидкісних можливостей: героторні й радіально-поршневі; шестеренні; аксіально-поршневі. Найбільші тиски досягнуті в поршневих гідромоторах; найменші значення питомого моменту  $k_M$  відповідають радіально-поршневим гідромоторам – 0,003 ... 0,2 кг/Нм; найменші показники питомої потужності  $k_P$  відповідають аксіально-поршневим гідромоторам – 0,08 ... 0,43 кг/кВт. У середньому значення загального ККД у поршневих гідромоторах вище, ніж у героторних і шестерених.

Чим більше чисельне значення критерію  $K$ , тим вище технічний рівень гідромотора. При розрахунку показників технічного рівня приймали, що номінальні значення тиску, витрати, витоки, ККД та надійність гідророзподільника з гідравлічним вібраційним контуром однакові. Визначали технічний рівень ГА обертання за технічним рівнем гідромотора. Встановлено, що розроблений ГА обертання з шестеренним гідромотором має найвищий технічний рівень.

Слід зазначити, що вітчизняні гідромотори уступають закордонним за

номенклатурою, рівнем тисків і частот обертання, відсутні їх регульовані виконання, обмежений діапазон робочих температур робочої рідини і низькі їх питомі й швидкісні показники [9]. Тільки шестеренні гідромотори, що випускаються в Україні, перебивають на досить високому технічному рівні, уступаючи кращим закордонним аналогам по максимальному тиску та частоті обертання.

**Висновки.** Проведено аналіз номенклатури базових показників якості ГА, який показав, що універсальний підхід для прогнозування і оцінювання технічного рівня та економічного обґрунтування доцільності виробництва ГА обертання відсутній. Найбільш інформативна попередня оцінка технічного рівня виконувалася за одиничним і питомими показниками: енергоємності, питомим масі, металоємності, вартості тощо. Розрахунковим шляхом доведено, що найвищий технічний рівень має розроблений ГА обертання з шестеренним гідромотором, а найнижчий – ГА обертання з радіально-поршневим гідромотором.

**Список літератури:** 1. Андренко П.М. Проективання гідроагрегатів обертання : монографія / П.М. Андренко, І.П. Гречка, М.С. Свинаренко. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – 148 с. 2. Панамарьова О.Б. Узагальнений критерій для оцінки показників технічного рівня гідроагрегату живлення гідросистем / О.Б. Панамарьова // Механіка та машинобудування. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2011. – №2'2011. – С. 34 – 42. 3. Система показателей качества продукции. Гидроприводы объемные, пневмоприводы и смазочные системы. Номенклатура показателей: ГОСТ 4.37 – 90. [Введен в действие 1990–06–09] – М.: Издательство стандартов. – 1990. – 39 с. 4. Гидроприводы объемные, пневмоприводы, и смазочные системы. Оценка технического уровня и качества: ОСТ2 Н06-35–84. – М.: ВНИИТЭМР, 1985. – 39 с. (Отраслевой стандарт). 5. Кабаков М.Г. Опыт комплексной оценки уровня качества аксиально-поршневых насосов гидроприводов самоходных машин // Вест. машиностроения. – 1979. – № 9. – С. 9 – 12. 6. Шевцов В.М. Оценка технического уровня объемных гидромашин / В.М. Шевцов, Г.А. Аврунин // Вісник НТУ «ХПІ». – Х.: НТУ «ХПІ». – 2011. – № 18. – С. 59 – 64. 7. Литвинский Г.Г. Обоснование критериев технической эффективности объемных гидромашин / Г.Г. Литвинский // Сборник научных трудов ДонГТУ. Вып. 32. – Алчевск : ДонГТУ. – 2010. – С. 14 – 21. 8. Ильин В.Ф. Обобщенный критерий эффективности гидропривода машин // Пневматика и гидравлика (приводы и системы управления). – М.: Машиностроение. – 1973. – №1. – С. 44 – 50. 9. Объемный гидропривод и гидропневмоавтоматика: учеб. пособие / Г.А. Аврунин, И.В. Грицай, И.Г. Кириченко и др. – Х.: ХНАДУ. – 2008. – 412 с.

**Bibliography (transliterated):** 1. Andrenko, P. M., I. P. Grechka and M. S. Svinarenko. *Proektivannja gidroagregativ obertannja: monografija*. Kharkiv: NTU «HPI», 2013. Print. 2. Panamar'ova, O. B. "Uzagal'nennij kriterij dlja ocinki pokaznikov tehničnogo ravnja gidroagregata zhi-vlennja gidrosistem." *Mehanika ta mashinobuduvannja*. No. 2. Kharkiv: NTU «HPI», 2011. 34–42. Print. 3. Nomenklatura pokazatelej: GOST 4.37–90. *Sistema pokazatelej kachestva produkcii. Gidroprivody ob'emnye, pnevmoprivody, i smazochnye sistemy*. Moscow: Izdatel'stvo standartov, 1990. Print. 4. Otrasleyvoj standart: OST2 N06-35–84. *Gidroprivody ob'emnye, pnevmoprivody, i smazochnye sistemy. Ocenka tehničeskogo urovnja i kachestva*. Moscow: VNIITeMR, 1985. Print. 5. Kabakov, M. G. "Opyt kompleksnoj ocenki urovnja kachestva aksial'no-porshnevyyh nasosov gidroprivodov samohodnyh mashin." *Vest. mashinostroenija*. No. 9. 1979. 9–12. Print. 6. Shevcov, V. M., and G. A. Avrunin. "Ocenka tehničeskogo urovnja ob'em-nyh gidromashin." *Visnik NTU «KhPI»*. No. 18. Kharkov: NTU «KhPI». 2011. 59–64. Print. 7. Litvinskij, G. G. "Obosnovanie kriteriev tehničeskoj jeffektivnosti ob'emnyh gidromashin." *Sbornik nauchnyh trudov DonGTU*. No. 32. Alchevsk: DonGTU. 2010. 14–21. Print. 8. Il'in, V. F. "Obobshhennyj kriterij jeffektivnosti gidroprivoda mashin." *Pnevmatika i gidravlika (privody i sistemy upravlenija)*. No. 1. Moscow: Mashinostroenie, 1973. 44–50. Print. 9. Avrunin, G. A., et al. *Ob'emnyj gidroprivod i gidropnevmoavtomatika: ucheb. posobie*. Kharkov: KhNADU, 2008. Print.

Надійшла (received) 19.05.2014