

*О. Б. ПАНАМАРЬОВА*

## **ВИБІР КРИТЕРІЇВ ДЛЯ ОЦІНКИ ПОКАЗНИКІВ ТЕХНІЧНОГО РІВНЯ НАСОСНОГО ГІДРОАГРЕГАТУ**

In article it is resulted the analysis of parameters and methods of an estimation of quality and a technological level of pump hydrounits. The choice of the optimal parameters for the full complex description is executed.

В статье приведено анализ показателей и методов оценки качества и технического уровня насосных гидроагрегатов. Выполнен выбор наиболее оптимальных показателей для полного комплексного описания.

### **Вступ.**

Одним з сучасних шляхів підвищення конкурентоспроможності технічних об'єктів є удосконалення методів відображення комплексу їх службових властивостей і розробка методів керування якістю і технічним рівнем при проектуванні. Оцінка технічного рівня насосних гідроагрегатів (НГА), як і інших виробів гідро обладнання, здобуває все більше значення при ринкових відносинах в економіці, коли споживач повинен обрати найкращу для своїх умов продукцію, шляхом порівняння показників виробів різних товаровиробників. При порівнянні продукції потрібен вибір показників ефективності, котрі приймаються за вихідні (ісходні). Вибір цих показників є складною задачею та визначається сукупністю багатьох факторів: часу розробки і виготовлення, режиму експлуатації об'єкту, технологічністю, надійністю, вартістю виготовлення, експлуатації і ремонту.

### **Огляд літературних джерел.**

Проведений аналіз літературних джерел виказав, що існує велика кількість показників технічного рівня гідроагрегатів, в тому числі і НГА[1, 2]. Проблема стоїть з адекватним вибором цих показників для проведення оцінювання технічного рівня об'єкту. При цьому головною задачею на стадії проектування для забезпечення високого технічного рівня НГА є вибір найкращих конструктивних параметрів, режимів роботи при заданих умовах і обмеженнях. Задачі такого рівня вирішуються за допомогою методів багатокритеріального проектування. Дослідження в області багатокритеріального оптимального проектування технічних об'єктів проведені в фундаментальних працях І. М. Соболя Р. Б. Статнікова, І.Б. Мату-сова, та інш. Як показує проведений нами аналіз літературних джерел, більшість математичних методів оптимізації дозволяють знайти оптимальне однокритеріальне рішення. Тому частіше за все намагаються різними засобами спростити багатокритеріальну задачу до вирішення однокритеріальної. В працях Бажина І.І, Лур'є З. Я., Єрмакова С. О. наведено сучасні методи оптимального проектування параметрів гідромашин з

урахування багатьох факторів і критеріїв. Вони засновуються на сумісному розгляданні залежностей міцності, жорсткості, кінематичних і енергетичних показників. Таке розглядання дозволяє підвищити технічний рівень гідромашин на розрахунковій і перевірочній стадіях проектування. В їх роботах розглядаються об'ємні насоси, гідромотори, інші гідроагрегати, однак відсутня інформація що до методів оцінки технічного рівня НГА. В даній статті зроблена спроба усунути цей недолік.

#### **Мета і постановка задачі.**

Метою даної статті є обґрунтування вибору параметрів для оцінки технічного рівня НГА для методики їх багатокритеріального синтезу.

#### **Основи проектування НГА високого технічного рівня.**

Проектування НГА високого технічного рівня – комплексний і багатоаспектний процес, при котрому базові значення показників повинні відповідати значенням, які характеризують його технічне вдосконалення. НГА представляють собою достатньо складну технічну систему, до показників якості котрої висувається різноманітні вимоги.

Одним з ефективних напрямків підвищення технічного рівня НГА є вдосконалення методів їх розрахунку і проектування. Область застосування НГА визначає комплекс властивостей і вихідних характеристик, які потрібні для забезпечення його працездатності і визначення базових показників технічного рівня. При цьому, проектування є основою формування технічного рівня НГА. Керування технічним рівнем на стадії проектування зводиться до вибору раціональних параметрів або рішення задач оптимізації. Останнє виконується за рахунок розрахунку чи вибору параметрів НГА або його елементів по одному чи декількох критеріях, які є суттєвими для забезпечення відповідності необхідним показникам технічного рівня при заданих обмеженнях і умовах.

Вибір раціональних параметрів НГА і його елементів на ранніх стадіях проектування дозволяє підвищити їх технічний рівень, так як розглядаються підсистеми, які визначають основи його функціонування, та забезпечення відповідності вихідних характеристик значенням базовим показникам якості.

#### **Показники технічного рівня насосу, як основного елементу НГА.**

Оцінка технічного рівня і якості НГА являє собою сукупність операцій, які включають вибір номенклатури показників якості, визначення значень цих показників і зіставлення їх з базовими.

В [1] встановлено основну номенклатуру одиничних показників якості гідравлічних агрегатів і пристроїв, що використовуються при оцінюванні їх технічного рівня і якості. До них відносяться групи показників: 1) класифікаційні (для підбора аналогів); 2) оціночні (для оцінки технічного рівня якості): призначення, надійності, ергономічні, технологічні, уніфікації, патентно-правові, безпеки, економічні.

Розглянемо ці показники більш детально. Оцінку технологічності можна провести за допомогою сумарної та питомої трудомісткості, (в якості їх співмножника може виступати ресурс пристрою).

Сумарну трудомісткість виготовлення розраховується за формулою [2]

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

де  $t_i$  – трудомісткість по окремим видам робіт, які входять в технологічний процес виготовлення даного НГА чи його елементів;  $n$  – число видів робіт.

Питома трудомісткість виготовлення визначається шляхом ділення сумарної трудомісткості на визначаючий параметр  $B$

$$t_{num} = \frac{T}{B}, \quad (2)$$

Показники уніфікації – коефіцієнт застосовності розраховується на одному рівні проектування, на підставі даних конструкторської документації. Коефіцієнт застосовності характеризує ступень насиченості НГА стандартизованими і уніфікованими елементами і їх деталями і розраховується як [2]

$$K_3 = \frac{K - K_o}{K} \cdot 100, \quad (3)$$

де  $K$  – загальна кількість елементів (складальних частин), що входять до складу НГА;  $K_o$  – кількість оригінальних частин (складальних частин).

При оцінці технічного рівня НГА і його елементів можна застосовувати два методи [2]: диференційний і комплексний. Диференційний метод базується на зіставленні одиничних показників якості  $q_i$ , пристрою що оцінюється, до відповідних базових показників. Одиничні показники якості розраховуються за залежностями [2]

$$q_i = \frac{P_i}{P_{i0}} \quad \text{або} \quad q_i = \frac{P_i}{1} = \frac{P_{i0}}{P_i}, \quad (4)$$

де  $P_i$  – показник пристрою, що оцінюється;  $P_{i0}$  – базовий показник якості;  $i = 1, 2, 3, \dots, m$ , де  $m$  – число показників якості НГА.

Вибір форми формули залежить від показника, за яким проводиться оцінка якості НГА чи його елементу.

Відносний показник рівня звуку визначається за формулою [2]

$$q_i = 10^{\frac{\Delta P_i}{20}}, \quad (5)$$

де  $\Delta P_i = P_{i0} - P_i$ .

За отриманими результатами, при використанні диференційного методу оцінки технічного рівня НГА і його елементів робиться висновок про рівень його якості. Технічний рівень відповідає висшій категорії (відповідає по технічному рівня кращім аналогам) при умові, що більшість відносних показників більше або дорівнює одиниці ці.

Комплексний метод базується на застосуванні комплексного показника якості, який розраховується по даним одиничних відносних показників якості з урахуванням коефіцієнтів вагомості показників якості [2]. Цей показник можна розрахувати за залежністю

$$K = \sum_{i=1}^n m_i q_i', \quad (6)$$

де  $m_i$  – коефіцієнт вагомості показника;  $q_i'$  – відносний показник якості (відношення показників пристрою, аналогів, базових показників до верхньої границі найвищої категорії).

Весь перелік показників, які характеризують якість гідравлічних агрегатів та пристроїв, які наведено в [1] неможливо врахувати одночасно при оцінюванні технічного рівня НГА. Найбільш інформативна попередня оцінка їх технічного рівня виконується по одиничним і питомим показникам. За основні критерії якості НГА приймають енергетичні, масогабаритні, техніко-економічні і 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 валу насосу через їх пропорціональність. Питома маса відображає масові і габаритні показники НГА. Масогабаритні показники для об'ємного насосу НГА розраховують за залежністю [4]

$$\mu_m = \frac{m p^{0.75}}{\rho^{1.75} Q^{1.5}}, \quad (7)$$

де  $m$  – маса насосу;  $p$  – максимальний тиск;  $\rho$  – густина РР;  $Q$  – подача насосу.

Комплексний критерій якості, пов'язаний з енергетичними показниками [5] застосовується для оцінки технічного рівня НГА, як джерела гідравлічної енергії в гідросистемі (ГС) і розраховується за залежністю

$$A = \frac{NT}{C\phi\Sigma B}, \quad (8)$$

де  $N, T, C$  – відповідно потужність, ресурс і вартість НГА;  $\phi = 1 - \eta$  – коефіцієнт втрат потужності;  $\eta$  – ККД НГА;  $\Sigma B$  – сумарні експлуатаційні витрати. Але при застосуванні цього показника виникають складності у визначенні експлуатаційних витрат через різницю ККД, показників надійності в залежності від видів елементів, з яких збудований НГА, режимів експлуатації, систем технічного обслуговування і ремонту.

В [6] для оцінки технічного рівня запропоновано критерій віддавання енергії, в котрому можливо врахувати інтенсивність роботи, ресурс, питому масу

$$A_m = \frac{NT_\Gamma}{m}, \quad (9)$$

де  $T_\Gamma$  – гарантійний термін роботи НГА.

В [3] для оцінки технічного рівня виробу пропонується використання критерію, що дозволяє цілком формалізувати вибір узагальненої цільової функції і вагових коефіцієнтів окремих критеріїв при вирішенні задач векторної оптимізації. Такий критерій – це імовірність безвідмовної роботи, яку для фіксованого класу точності виробів можна записати у вигляді:

$$P_i(x) = P\{Y_j(x, t) \geq a_j, j = \bar{1}, \bar{m}, \forall t \in [0, T]\} \quad (10)$$

де  $Y_j(x, t)$  – випадкове значення  $j$ -го вихідного параметру в момент часу  $t$ ;  $x = [x_1, \dots, x_n]^T$  – вектор номінального значення параметрів елементів;  $T$  – заданий час роботи виробу;  $a_j$  – технічна вимога на  $j$ -й вихідний параметр, що задається умовами робото придатності виробу.

### Критерії для оцінки технічного рівня НГА і його складових.

Перелік базових показників якості насосу, як основного елемента НГА, за якими будемо проводити оцінку технічного рівня наведено в табл. 1.

Зокрема базових показників якості насосу можна виділити ще ряд показників-критеріїв, що відображають різні характеристики його функціонування та залежать від його типу. Це можуть бути коефіцієнт нерівномірності, що характеризує пульсації подачі насосу, витоки через торцеві, радіальні зазори, в залежності від типу насосу. А також гідромеханічні втрати, втрати на рідинне тертя і тертя ковзання. Крім цього, тип конструкції і розміри вузла нагнітання насосу обумовлюють розмір тиску нагнітання, пульсації тиску і витрати робочої рідини, що визначає частоти і рівень шуму, що випромінюється. Так для шестерного насосу коефіцієнт нерівномірності визначаються за залежністю [7]

$$\sigma_1 = \frac{0.25(d_2 - d_1)P_a^2}{d_2 \left[ d_1(h_1 + h_2) + h_1^2 - \frac{d_1 h_2^2}{d_2} \right]}, \quad (11)$$

де  $d_1, d_2$  – діаметри ділільних колів шестерні і колеса.

Торцеві витоки знаходимо за формулою [7]

$$Q^T = 2 \frac{\pi p_n \delta_T^3}{6\mu} \left[ \frac{\gamma_3}{2\pi} \left( \ln \frac{d_{f1}}{d_{k1}} \right)^{-1} + \frac{\gamma_4}{2\pi} \left( \ln \frac{d_{f2}}{d_{k2}} \right)^{-1} \right], \quad (12)$$

де  $\gamma_3, \gamma_4$  – кути, що обіймають камеру нагнітання при докладанні до торців шестерні і колеса поверхні ущільнюючих дисків.

До формули (12) не входять витоки, що викликані обертанням шестерні і колеса відносно диску через їх малу величину в порівнянні з основною складовою, викликанною перепадом тиску. Коефіцієнт 2 враховує кількість

дисків. Також для шестерного насосу за показник-критерій можна прийняти витоки обумовлені замкнутим об'ємом [8] і стискальністю PP [9].

Таблиця 1 – Номенклатура базових показників якості насосу

№	Найменування показника якості	Позначення	№	Найменування показника якості	Позначення
1	Номінальний тиск	$P_{\text{ном}}$	6	Питомий об'єм	$V_{\text{пит}}$
2	Номінальна витрата	$Q_{\text{ном}}$	7	Питома маса	$m_{\text{пит}}$
3			8	90-відсотковий ресурс	$t_{R9}$
4	Коефіцієнт корисної дії	$\eta$	6	Рівень звуку	$L_A$
5	Коефіцієнт подачі	$K_Q$	7	Максимальний тиск	$P_{\text{макс}}$

Визначення об'ємного та повного ККД для насосу знаходяться по залежностям наведеним в [9].

Важливим питанням є вибір і врахування показників з переліку з [1], які відображають більш технічну сторону питання. Також важливою задачею є визначення їх пріоритетності один відносно одного. Це можливо вирішити шляхом декомпозиції НГА на рівні, які визначають ієрархію гідроагрегатів і гідроелементів по впливу на значення його базових показників якості. Тобто, для оцінки вагомості показника нами вводяться вагові коефіцієнти з урахуванням ієрархії рівнів в моделі НГА.

При проектуванні НГА високого технічного рівня його можна представити у вигляді багаторівневої ієрархічної моделі, отриманої шляхом декомпозиції (Рис. 1). На наведеній схемі позначено структурно-вузлові елементи НГА (робоча рідина, фільтр, бак, насос, гідроапаратура, трубопровід). Ця декомпозиція дозволяє встановити внутрішні і міжрівневі зв'язки гідроелементів на основі базових показників технічного рівня або критеріїв працездатності, які є визначальними для даних зв'язків. При ієрархічній декомпозиції НГА перший рівень становить насос, як основний елемент, в котрому відбувається перетворення механічної енергії в гідравлічну. Відповідно і його експлуатаційні та вихідні параметри, при оцінюванні якості НГА, виступають найсуттєвішими у відповідності до ієрархічної моделі. Основні властивості, які повинен забезпечувати насос наведено вище.

Далі по вагомості параметрів для оцінювання технічного рівня НГА йде направляюча і регулююча гідравлічна апаратура. Зокрема загальних властивостей додається ряд специфічних – діапазон та час регулювання, точність, чутливість до керуючих сигналів. Вона повинна забезпечити без кавітаційну роботу та виключити гідроудар.

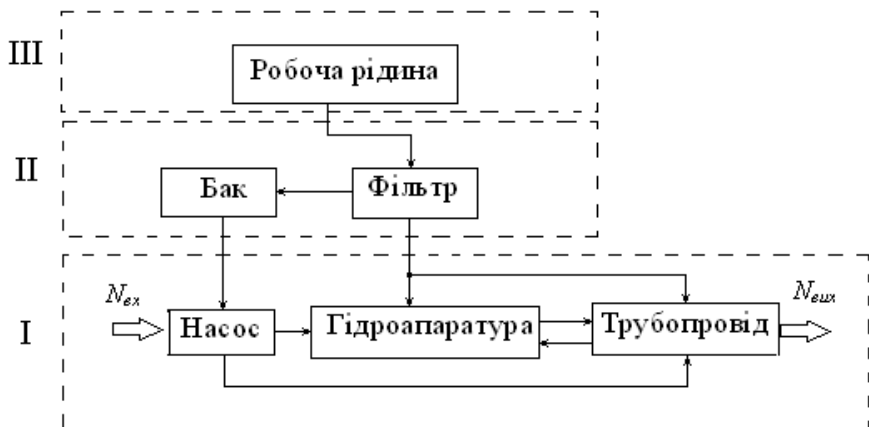


Рис. 1. Багаторівнева ієрархічна модель НГА:

$N_{вх}$ ,  $N_{вих}$  – потужності на вході і виході НГА

Наведений в літературних джерелах перелік показників якості гідравлічних агрегатів та пристроїв є достатньо широким та надмірний для оцінки технічного рівня НГА та потребує уточнення. При цьому кількість цих показників повинна бути невеликою та охоплювати основну їх номенклатуру.

Тепловиділення є важливим питанням для всього ГП і особливо для НГА, як основного його джерела. Зауважимо, що середній коефіцієнт теплопередачі всього ГП розраховується

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n K_i \cdot F_i}{F}, \quad (13)$$

де  $F$  – площа поверхні теплообміну ГП,  $m^2$ .

Визначення коефіцієнта теплопередачі для  $i$ -го гідроелементу розраховується за залежністю [3]

$$K_i = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{ж}} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_в}}, \quad (14)$$

де  $\alpha_{ж}$ ,  $\alpha_в$  – коефіцієнти тепловіддачі від РР до стінки і від стінки до навколишнього повітря,  $Вт / m^2 \cdot ^\circ C$ ;  $\delta_{ст}$  – товщина стінки,  $\lambda_{ст}$  – теплопровідність матеріалу стінки.

З залежності (2) помітно вплив товщини стінки на коефіцієнт теплопередачі, який розраховується як для трубопроводу, для гідроапаратури, так і для баку. Параметри баку (об'єм, форма, будова,

наявність та форма перегородок, матеріал і товщина стінок ( $\delta_{ст}$ ) є найсуттєвішими при визначенні кількості енергії тепловиділення. Але він разом з фільтруючими елементами займає другий ієрархічний рівень. Це обумовлюється тим, що, не зважаючи на значний вплив його параметрів на роботу всієї ГС, при проектуванні вони обираються після визначення параметрів об'єктів першого ієрархічного рівня НГА.

На третьому рівні ієрархічної моделі знаходиться РР. Вона є основним елементом, що безпосередньо приймає участь в основній функції НГА – перетворення механічної енергії в гідравлічну. Найважливішим показником якості для РР є збереження її фізико-хімічних властивостей і працездатності, підтримка постійної в'язкості в робочому діапазоні температур при виконанні своїх основних функцій.

Розгляд багаторівневої ієрархічної моделі НГА дозволяє встановити наступні показники вагових коефіцієнтів, що використовуються як співмножники при відповідних показниках якості гідроагрегатів та гідроелементів в залежності від ієрархічного рівня. Для першого рівня цей співмножник становить  $K = 0,4$ , для другого –  $K = 0,32$ , для третього –  $K = 0,28$ .

Таким чином для проектування НГА високого технічного рівня необхідно з однієї сторони встановити аналітичні умови вибору раціональних параметрів гідроагрегатів та гідроелементів НГА у відповідності до головних критеріїв їх працездатності, а з другої сторони визначити значення базових показників якості, що характеризують технічну досконалість.

Це дає змогу врахувати різноманітні впливи, процес виготовлення, зміни навколишнього середовища, старіння, що призводить до статичних відхилень параметрів об'єкту виробу. Для більш детального дослідження НГА необхідно виконувати оцінку комплексних показників, які враховують ККД, надійність, енергоспоживання з урахуванням умов роботи в конкретних гідроприводах машин і технологічного обладнання.

### **Висновки.**

За результатами проведеного аналітичного огляду показників оцінки технічного рівня НГА встановлено, що відсутній універсальний підхід для прогнозування і оцінювання його технічного рівня. Найбільш інформативна попередня оцінка технічного рівня виконувалася по одиничним і питомим показникам: енергоємності, питомим масі, металоємності, вартості.

1) Розроблена багаторівнева ієрархічна модель НГА, яка дозволяє встановити вагомість показників в залежності від рівня ієрархії.

2) Вибрана номенклатура базових показників якості насосу, як основного елементу НГА. Встановлено, що ці показники повинні бути доповнені такими показниками, як коефіцієнт нерівномірності, витоки через торцеві, радіальні зазори, гідромеханічні втрати, втрати на рідинне тертя і тертя ковзання, які залежать від типу насосу.



Список літератури: 1. Гост 4.37-90 Гидроприводы объемные, пневмоприводы и смазочные системы. 2. ОСТ2 Н06-35-84 Гидроприводы объемные, пневмоприводы и смазочные системы. Оценка технического уровня и качества. М.: ВНИИТЭМР. – 1985. – 39 с. 3. Г. С. Антушев Методы параметрического синтеза сложных технических систем. М.: наука, 1989. – 88 с. 4. Попов Д.Н. Оценка эффективности и оптимальное проектирование гидроприводов // вест. Машиностроения. – 1986. – № 9. – с. 20 – 23. 5. Кабаков М.Г. Опыт комплексной оценки уровня качества аксиально-поршневых насосов гидроприводов самоходных машин // Вест. машиностроения. – 1979. – № 9. – с. 9 – 12. 6. Кондаков А.А. О критериях оценки технического уровня объемных гидравлических машин // Вест. машиностроения. – 1988. – № 9. – с. 12 – 15, 1988, № 10. – с. 5 – 9. 7.. Лурье З. Я., Жерняк А. И., Саенко В. П. Многокритериальное проектирование шестеренных насосов с внутренним зацеплением // Вестник машиностроения. – 1996. – № 3. – С. 3–8. 8. Гавриленко Б. А., Минин В. А., Рождественский С. Н. Гидравлический привод. М.: Машиностроение. 1968. 502 с. 9.. Основы теории и конструирования объемных гидропередач / Под об. ред. В.М.Прокофьева. М.: Высшая школа. 1968. 400с.

*Подано до редколегії 20.11.08 р.*

**УДК 621.822.6**

*В.С.ГАПОНОВ, А.В. ГАЙДАМАКА*

## **ЗАДАЧИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РЕСУРСУ ПІДШИПНИКІВ КОЧЕННЯ ЗАРЕЗОНАНСНИХ РОТОРНИХ СИСТЕМ**

В статті пропонується загальний підхід та послідовність дій рішення проблеми забезпечення ресурсу підшипників кочення резонансних роторних систем шляхом зміни режиму тертя через покращення властивостей мастильного матеріалу і підтримання їх на потрібному рівні.

The article presents approach towards of the provision recourses of bearings behind the resonance of rotor systems thanks to improvement property's of greasing and support up to the mark.

Для багатьох високошвидкісних підшипників кочення, наприклад шпindelних вузлів шліфувальних верстатів та опор газотурбінних двигунів, причинами виходу з ладу є перегрівання і перевантаження зон контакту при переході роторної системи через резонансні частоти [1]. Ефективним шляхом зменшення термічної складової контактних напружень в підшипниках кочення вважається зміна режиму тертя через покращення властивостей мастила [2]. Аналіз публікацій з питань зміни режиму тертя через покращення експлуатаційних властивостей мастильних матеріалів для кінематичних вузлів за останні десять років виявив зростаючу тенденцію до застосування антифрикційних добавок та присадок [3-9].

Відома процедура підбору мастильних матеріалів для кінематичних вузлів з метою мінімізації тертя та зносу, в якій ефективність дії антифрикційних присадок та добавок оцінюють за величиною другої критичної температури [10]. Однак визначення другої критичної температури