



УДК 621.22+621.67+62.001.57

**CONSTRUCTION OF THE VECTOR DIAGRAM OF THE OPERATION  
MODES OF A CENTRIFUGAL PUMP AND DETERMINATION OF THE  
SCALAR EQUATION FOR ITS PRESSURE CHARACTERISTICS  
ПОБУДОВА ВЕКТОРНОЇ ДІАГРАМИ РЕЖИМІВ РОБОТИ ВІДЦЕНТРОВОГО  
НАСОСА ТА ВИЗНАЧЕННЯ СКАЛЯРНОГО РІВНЯННЯ ДЛЯ ЙОГО НАПІРНОЇ  
ХАРАКТЕРИСТИКИ**

Nykolyn P.M. / Николин П.М.

<https://orcid.org/0000-0003-1453-8445>

Nykolyn U.M. / Николин У.М.

с.т.с., ас.проф. / к.т.н., доц

<https://orcid.org/0000-0001-9111-1280>

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas (IFNTUOG),

Ivano-Frankivsk Karpatska 15, 76019

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

Івано-Франківськ, Карпатська, 15, 76019

***Анотація.** В роботі розглядається відцентровий насос, моделювання режимів його функціонування, визначення комплексних параметрів його схеми заміщення на основі термодинамічного підходу та електрогідравлічної аналогії. Представлено скалярне рівняння для визначення напірної характеристики насоса використовуючи тригонометричні співвідношення.*

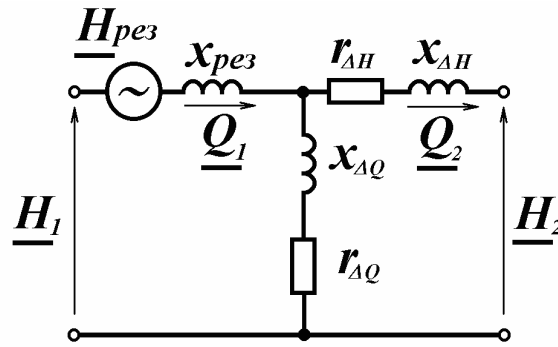
***Ключові слова:** термодинамічний підхід, математичне моделювання, відцентровий насос, електрогідравлічна аналогія, чотириполюсник.*

### **Вступ.**

Збереження електричної енергії є важливою частиною загальної тенденції щодо захисту навколишнього середовища. Серед споживачів електричної енергії значну частку складають електродвигуни різного призначення, найбільш потужні приводять в рух компресорні та насосні установки для перекачування рідин чи газу. Вони споживають більше половини виробленої енергії. Саме тут закладені найбільші резерви енергозбереження, оскільки загальна встановлена потужність асинхронних двигунів в Україні складає близько 40...50 млн кВт [1]. Більшість електроустановок працюють з низькою ефективністю. Щоб визначити оптимальні параметри ефективного функціонування ВН необхідно створити адекватну математичну модель. Таким чином вирішення цієї задачі можливе лише з позицій системного міждисциплінарного підходу, одним із напрямків якого є термодинамічний підхід для аналізу роботи довільних енергетичних перетворювачів [2,3]. Передумовою створення ефективною термодинамічної моделі ВН є також робота [4], в якій на основі теорії кіл Кірхгофа [5] запропонована схема заміщення гідромашини, що оперує із зосередженими комплексними параметрами.

### **Основна частина.**

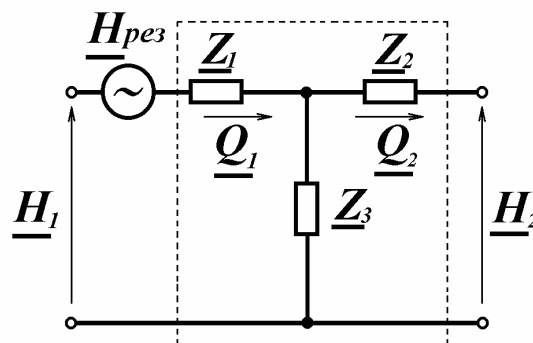
Взявши за основу повну комплексну заступну схему ВН і провівши нескладні математичні перетворення ми отримаємо схему активного чотириполюсника [3]. Отриману заступну схему ВН в подальшому легше аналізувати на основі термодинамічного підходу (рисунк 1).



$x_{\Delta H}, r_{\Delta H}$  – гідравлічні втрати у відводі;  $x_{\Delta Q}, r_{\Delta Q}$  – об’ємні втрати у насосі; Тут  $\underline{Q}_1, \underline{H}_1; \underline{Q}_2, \underline{H}_2$  — відповідно вхідні та вихідні комплексні значення напорів та витрат насоса;  $\underline{H}_{рез}, x_{рез}$  – результуючий напір (аналог електрорушійної сили в електричному колі) та результуючий опір, що зумовлений внутрішнім опором та впливом скінченної кількості лопатей на витрату і напір ВН.

**Рисунок 1 - Заступна схема відцентрового насоса**

Не для всіх насосів існує вхідний підпір, для багатьох гідромашин цей підпір має невелике значення, тому для спрощення аналізу роботи ВН можна знехтувати підпірним напором  $H_1 = 0$ . Тому , напір котрий створюється електричним двигуном буде рівний напору на відвідному патрубку насоса. Такий підхід до аналізу роботи ВН дає змогу розглядати отриману схему як пасивний чотириполіусник. Узагальнивши вітки заступної схеми ВН комплексними опорами  $\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \underline{Z}_3$  отримаємо Т-подібний, чітко виражений пасивний чотириполіусник (рисунок 2).



**Рисунок 2 - Пасивний чотириполіусник**

Повні комплексні опори визначаємо через розрахункові параметри повної комплексної заступної схеми ВН за формулами [4]

$$\underline{Z}_1 = jx_{рез} , \tag{1}$$

$$\underline{Z}_2 = r_{\Delta H} + jx_{\Delta H} , \tag{2}$$

$$\underline{Z}_3 = r_{\Delta Q} + jx_{\Delta Q} . \tag{3}$$

Результати розрахунків в для ВН у відносних одиницях, де базовими вибрані дійсні номінальні параметри гідромашини (таблиця 1).



**Таблиця 1- Параметри T-подібної заступної схеми ВН**

Марка ВН	$\underline{Z}_1$	$\underline{Z}_2$	$\underline{Z}_3$
НМ 2500-230	j0.137	0.002+J0.424	28.64+J21.14
НМ 7000-210	j0.59	0.00053+J0.398	25.04+J36.74
12Н-10*4	j0.32	0.001+J0.468	32.94+J10.89
10Н-8*4	j0.131	0.002+J0.482	29.19+J7.36
8МБ-9*2	j0.189	0.003+J0.489	30.18+J6.56

Володіючи внутрішньою схемою з'єднань чотириполосника та комплексними значеннями опорів можна скласти систему рівнянь його роботи

$$\left. \begin{aligned} \underline{H}_{pez} &= \underline{A}\underline{H}_2 + \underline{B}\underline{Q}_2, \\ \underline{Q}_1 &= \underline{C}\underline{H}_2 + \underline{D}\underline{Q}_2. \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

Відомо, що для будь-якого пасивного чотириполосника можна знайти комплексні термодинамічні коефіцієнти  $\underline{A}$ ,  $\underline{B}$ ,  $\underline{C}$ ,  $\underline{D}$ , які встановлюють зв'язок між вхідними та вихідними параметрами схеми. Комплексні коефіцієнти для T-подібної заступної схеми залежать від схеми внутрішніх з'єднань чотириполосника, значень опорів та частоти, визначаємо їх за відомими формулами [4], результати розрахунку (таблиця 2). Для будь-якого чотириполосника коефіцієнти зв'язані математичним співвідношенням [4].

$$\underline{AD} - \underline{BC} = 1. \quad (5)$$

**Таблиця 2 - Комплексні коефіцієнти пасивного чотириполосника для ВН**

Марка ВН	$\underline{A}$	$\underline{B}$	$\underline{C}$	$\underline{D}$
НМ-2500-230	1.002+j0.003	0.000833+j0.562	0.023-j0.017	1.007+j0.01
НМ-7000-210	1.011+j0.007	-0.002+j0.992	0.013-j0.019	1.007+j0.005
12Н-10*4	1.003+j0.009	-0.003+j0.79	0.027-j0.009	1.004+j0.013
10Н-8*4	1.001+j0.004	0.0000088+j0.613	0.032-j0.008	1.004+j0.016
8МБ-9*2	1.001+j0.006	0.000143+j0.579	0.032-j0.007	1.003+j0.015

Із системи рівнянь чотириполосника (4) ми отримаємо рівняння напірної характеристики ВН в комплексній формі з термодинамічними коефіцієнтами

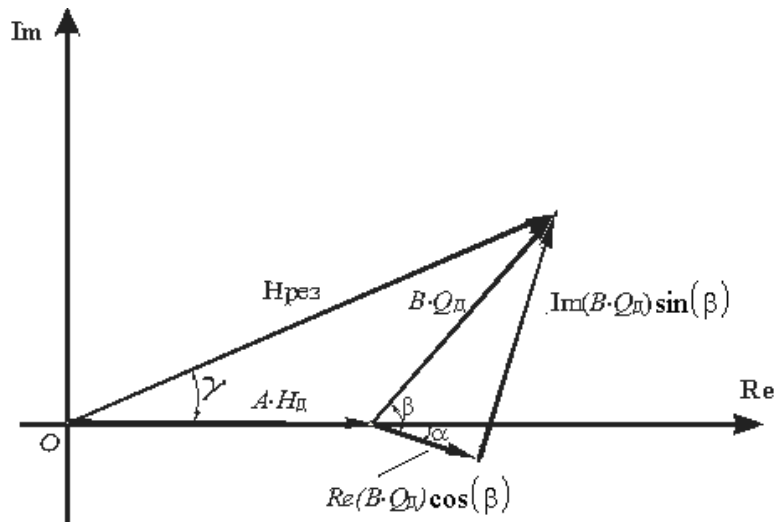
$$\underline{H}_D = \frac{1}{\underline{A}} \cdot \underline{H}_{pez} - \frac{\underline{B}}{\underline{A}} \cdot \underline{Q}_D, \quad (6)$$

де  $\underline{Q}_D, \underline{H}_D$  - значення витрати та напору на вихідному патрубку ВН.

Рівнянню (6) відповідає зображена на комплексній площині векторна діаграма режимів ВН

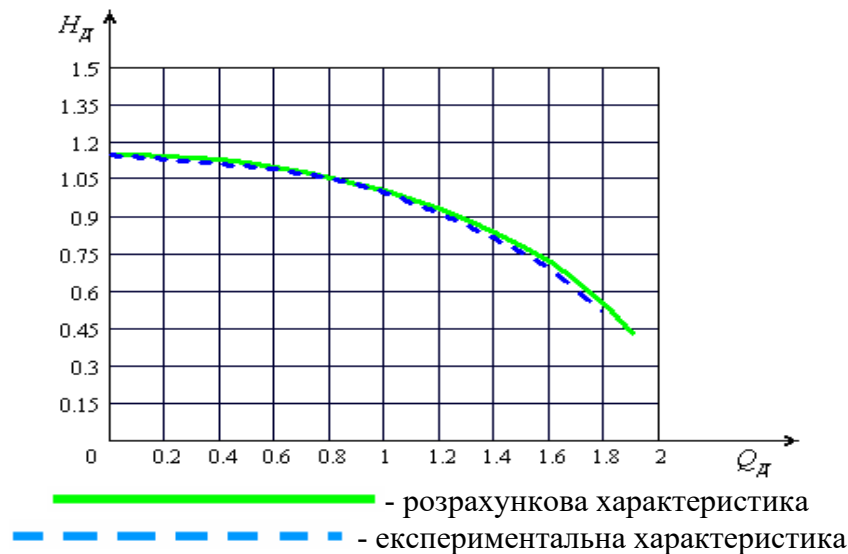
Використовуючи тригонометричні співвідношення можна записати скалярне рівняння для визначення напірної характеристики ВН.

$$H_D = \frac{1}{A} \left[ \sqrt{(H_{pez})^2 - (B \cdot Q_D \cdot \sin(\beta - \alpha))^2} - B \cdot Q_D \cdot \cos(\beta - \alpha) \right] \quad (7)$$



**Рисунок 3 – Векторна діаграма режимів ВН**

Аналізуючи роботу ВН видно, що вся його робота є між двох режимів (неробочий хід (НХ) та коротке замикання (КЗ)). При НХ  $H_{д}=0$ , а  $Q_{д} \approx Q_{\min}$ , які спричинені об'ємними втратами. Другий - режим умовного обриву трубопроводу, котрий супроводжується різким зниженням напору та багатократним підвищенням витрати, режим КЗ. Побудуємо напірну характеристику магістрального відцентрового насоса НМ-2500-230.



**Рисунок 4 – Розрахункова напірна характеристика насоса НМ-2500-230**

Результати порівняння розрахункової та отриманої експериментально [1] напірних характеристик досліджуваного насоса свідчать про хорошу збіжність результатів. Крім того термодинамічна модель ВН дає змогу досліджувати втрати потужності, проводити аналіз ефективності роботи через втрати потужності.

**Висновки.** Пораховано термодинамічні параметри моделі відцентрового насоса та отримані рівняння напірної характеристики в комплексній та скалярній формах. Проілюстровано хорошу збіжність результатів.



## Література

1. Нізімов В.Б. Энергозбереження в галузі економіки. - Конспект лекцій. Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2015. - 100 с.
2. В.А. Эткин Термодинамика неравновесных процессов переноса и преобразования энергии Тольятти, 1999.-216с.
3. Вейник А.И. Термодинамика необратимых процессов.-Минск: "Наука и техника",1966.-360с.
4. Костишин В.С. Моделювання режимів роботи відцентрових насосів на основі електрогідравлічної аналогії. – Івано–Франківськ: Факел, 2000. – 163 с.
5. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М., "Высшая школа", 1973. – 752с.

**Abstract.** *The work considers a centrifugal pump, modeling of its operation modes, determination of complex parameters of its replacement scheme based on a thermodynamic approach and an electrohydraulic analogy. A scalar equation for determining the pressure characteristic of the pump using trigonometric relations is presented.*

**Key words:** *thermodynamic approach, mathematical modeling, centrifugal pump, electrohydraulic analogy, quadrupole.*

Стаття відправлена: 22.11.2023 р.

© Николин П.М.