

## **BOND GRAPH МОДЕЛЬ ЕЛЕКТРОПРИВОДНОГО ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСНОГО АГРЕГАТУ ІЗ УТОЧНЕНИМ ВРАХУВАННЯМ МЕХАНІЧНИХ ВТРАТ**

**В. С. Костишин, П. О. Курляк**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу  
76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська 15, тел. 0342-727172, e-mail : [pkurlyak@gmail.com](mailto:pkurlyak@gmail.com)*

Метою роботи є уточнення Bond Graph моделі електроприводного відцентрового насосного агрегату (ЕВНА) магістральних нафтопроводів, для розрахунку його робочих характеристик за каталоговими даними залежно від зміни витратного навантаження  $Q_D$  та частоти обертання робочого колеса насоса з урахуванням фізичних властивостей рідини.

Очевидно, що незворотні механічні втрати зумовлені ефектом тертя і повинні виділятися у вигляді тепла на активному опорі  $r_{mex}$ . Тому однозначно реактивна складова опору  $x_{mex} = 0$ . Крім того, проведені дослідження показали, що механічні втрати залежать від витрати  $Q_D$  і мають мінімальне значення  $N_{mex}^{ном}$  у номінальному режимі роботи агрегату. На основі комплексної заступної схеми відцентрового насоса [1] баланс потужностей у насосі можна представити у вигляді

$$N_C = N_K + \Delta N_H + \Delta N_Q + \Delta N_{mex}, \quad (1)$$

де  $N_C$  - споживана з валу приводного двигуна потужність ЕВНА;  $N_K$  - корисна гідравлічна потужність на виході насоса [1], яка передається з робочою рідиною у напірний трубопровід;  $\Delta N_H, \Delta N_Q, \Delta N_{mex}$  - відповідно потужності гідравлічних, об'ємних та механічних втрат у ЕВНА.

Запишемо вираз для внутрішньої потужності  $N_T'$  у вигляді

$$N_T' = N_K + \Delta N_H + \Delta N_Q. \quad (2)$$

З другого боку, згідно заступної схеми насоса [1] ця потужність визначається добутком

$$N_T' = \rho g H_T' Q_T'. \quad (3)$$

Крім того, на основі спільного розгляду (1) та (2) отримаємо вираз споживаної потужності у вигляді суми внутрішньої потужності та механічних втрат, що ілюструє еквівалентна заступна схема насоса [1]

$$N_C = N_T' + \Delta N_{mex}. \quad (4)$$

Проведені дослідження дали змогу представити модель механічних втрат у насосі наступними залежностями

$$\Delta N_{mex} = \Delta N_{mex}^{const} + \Delta N_{mex}^{var}. \quad (5)$$

Постійна (при незмінній швидкості обертання робочого колеса) складова цих втрат  $\Delta N_{mex}^{const}$  показує потужність незалежних від витратного режиму незворотних дисипативних втрат дискового тертя, тертя в підшипниках і тертя ущільнення валу. Вона рівна значенню потужності механічних втрат у номінальному режимі роботи насоса  $N_{mex}^{ном}$ , яке зазвичай не перевищує 5-7% від усієї споживаної потужності відцентрового насоса (ВН) і з врахуванням законів подібності [2] визначається у системі відносних одиниць як

$$\Delta N_{mex}^{const} = \Delta N_{mex}^{ном} = \frac{k_n^3 (1 - \eta_{mex}^{ном})}{\eta_{\Sigma}^{ном}}. \quad (6)$$

де  $\eta_{\Sigma}^{НОМ}$  та  $\eta_{мех}^{НОМ}$  - відповідно значення повного та механічного ККД насосу у номінальному режимі роботи.

Крім цього у відцентровому насосі є змінні втрати  $\Delta N_{мех}^{var}$ , зумовлені відхиленням робочого режиму від номінального, що супроводжується ударним зіткненням рідини з робочою поверхнею лопаті. Їх теж можна умовно віднести до механічних втрат тому, що вони ілюструють дисипативні теплові процеси у ВН. Ці втрати  $N_{мех}^{var}$  представимо у вигляді квадратичної функції

$$\Delta N_{мех}^{var*} = \left( \Delta N_{мех}^{нх*} - \Delta N_{мех}^{НОМ*} \left( \frac{Q_{Д*}}{k_n} - 1 \right)^2 \right) \quad (7)$$

де  $\Delta N_{мех}^{нх*}$  - відносне значення механічних втрат в режимі неробочого ходу [3].

Очевидно, що безударний вхід рідини у робоче колесо ВН  $N_{мех}^{var} = 0$  має місце лише у номінальному режимі роботи. Це зумовлено тим, що зміна втрат напору ВН на удар при відхиленні від безударного режиму зростає майже лінійно [3], що визначає відповідну зміну втрат потужності за параболічним законом.

Запропонована модель ВН легко адаптується до сучасних комп'ютерно-орієнтованих інтерактивних інструментів (20-sim, тощо), призначених для моделювання динамічних режимів роботи мехатронних технічних систем, якими безперечно є насосні станції магістральних нафтопроводів. Тому розроблену графо-енергетичну Bond Graph модель ЕВНА [4], яка складається з асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором, відцентрового насосу та запірної арматури, доповнено віткою механічних втрат у ВН (рис.1). Дана вітка в моделі відображена у вигляді нелінійного активного опору  $R_{мех}$ , величина якого є квадратичною функцією витратного навантаження ВН (підмодель  $Q_2$ ). Модель ЕВНА представляє собою позначений і напрямлений граф (рис.1), потоки енергії між елементами якого позначені стрілами. Такі зв'язки представлені двостороннім потоком енергетично-спряжених змінних зусилля  $e(t)$  і потоку  $f(t)$ . Енергетичні змінні  $e(t)$  і  $f(t)$  знаходять відповідність у кожній із трьох фізичних підсистемах ЕВНА, а саме: в електричній підсистемі змінною зусилля є напруга  $u(t)$ , а змінною потоку – струм  $i(t)$ , відповідно в механічній - крутний момент  $\tau(t)$  і кутова швидкість  $\omega(t)$  ротора машини, а в гідравлічній – тиск  $p(t)$  та об'ємний розхід рідини  $Q(t)$ . Добуток цих змінних рівний миттєвій потужності  $P(t)$  у визначений момент часу  $t$ , а величина енергії  $E(t)$ , яка передається через порт елемента, визначена як інтеграл по часу від потужності  $P(t)$ .

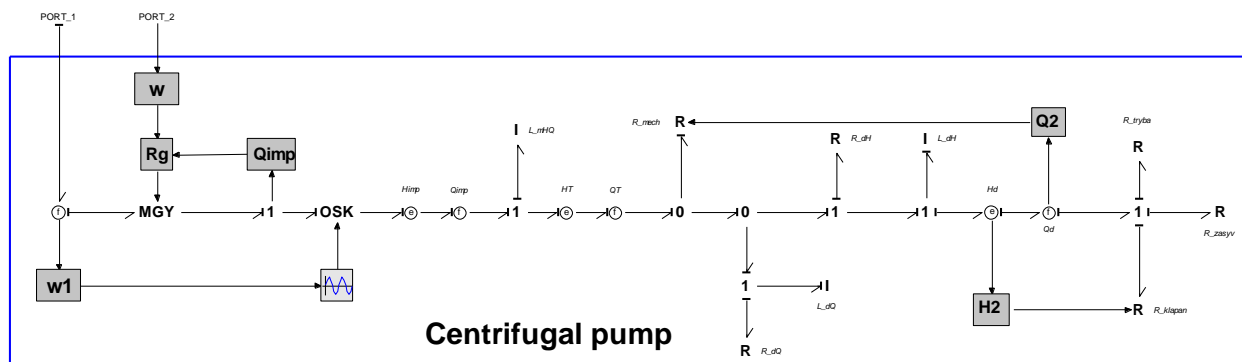


Рисунок 1 – Фрагмент Bond Graph моделі ЕВНА, із врахуванням вітки механічних втрат

Такий підхід дав змогу отримати залежності потужності  $N_C$  та ККД  $\eta$  ЕВНА від витрати  $Q_D$  за його каталоговими даними із врахуванням властивостей робочої рідини (густини  $\rho$  та кінематичної в'язкості  $\nu$ ), що відкриває шлях до підвищення ефективності його роботи.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Костишин В.С. Моделювання режимів роботи відцентрових насосів на основі електрогидравлічної аналогії / В.С. Костишин. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. – 163 с.
2. Streeter V. Handbook of Fluid Dynamics / V. Streeter. – New York: McGraw-Hill, 1961.
3. Kostyshyn, V.S. and Kurlyak, P.O. (2015). “Simulation of performance characteristics of centrifugal pumps by the electro-hydrodynamic analogy method”, *Journal of Hydrocarbon Power Engineering*. Vol. 2, Issue1, p. 24-31
4. Курляк П.О. Моделювання динамічних режимів роботи електроприводних відцентрових насосних агрегатів магістральних нафтопроводів на основі методу Bond Graph: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.09.03 “Електротехнічні комплекси та системи” / П.О. Курляк. – Вінниця, 2012. — 22 с.

УДК 620.92

## **АНАЛІЗ ВПРОВАДЖЕННЯ ВІДНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ**

**Михайлів М. І.<sup>1</sup> Головка В. В.<sup>2</sup> Михайлів І. М.<sup>3</sup> Жукевич О. В.<sup>4</sup>**

<sup>1</sup>ІФНТУНГ, кафедра ЕП та ЕО, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. +380505531399; e-mail: [mikhailivm@ukr.net](mailto:mikhailivm@ukr.net)

<sup>2</sup>ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ вул. Північний Бульвар, 7, тел. +380939542876, e-mail: [holovkov@ukr.net](mailto:holovkov@ukr.net)

<sup>3</sup>ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Північний Бульвар, 7, тел. +380630742824, e-mail: [sadejku.sdgradfh@yandex.ua](mailto:sadejku.sdgradfh@yandex.ua)

Внаслідок аналізу споживання електроенергії було визначено, що сумарна кількість електроенергії, яка була вироблена ВДЕ за 2014 рік становить 2007,6 млн кВт·год, з них:

- вітроенергетика – 1171,5 млн кВт·год (58,35 %);
- сонячна енергетика – 485,2 млн кВт·год (24,16 %);
- мала гідроенергетика – 250,7 млн кВт·год (12,49 %);
- біомаса/біогаз – 39,3 млн кВт·год (5 %).

Відповідно до встановлених потужностей електростанцій, які працюють на ВДЕ:

- вітроенергетика – 513,9 МВт;
- сонячна енергетика – 818,9 МВт;
- мала гідроенергетика – 80,3 МВт;
- біомаса/біогаз – 49,1 МВт;
- всього – 1462,2 МВт.

Серед встановлених потужностей електростанцій, які працюють на ВДЕ можна виділити такі області:

- сонячна енергетика: Одеська область – 257 МВт (31,38 %); Херсонська область – 347 МВт (42,37 %);
- вітроенергетика: Запорізька область – 200 МВт (38,91 %);
- мала гідроенергетика: Вінницька область – 19,5 МВт (24,28 %);
- біомаса /біогаз: Кіровоградська область – 26,7 МВт (54,37 %).

After power consumption analysis, it was determined that the total amount of electricity that was produced by renewables in 2014 is 2007.6 million kWh, including:

- wind energy – 1171.5 million kWh (58.35 %);
- solar energy – 485.2 million kWh (24.16 %);
- small hydro – 250.7 million kWh (12.49 %);