



УДК 681.514

**IMPACT OF VARIABLE FREQUENCY DRIVE ON THE EFFICIENCY OF CENTRIFUGAL PUMPS IN OIL PIPELINE UNITS****ВПЛИВ РЕГУЛЬОВАНОГО ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ В НАФТОПРОВІДНИХ АГРЕГАТАХ****Lahoida A. / Лагойда А.І.***k.t.s. / к.т.н.*

ORCID: 0000-0002-0862-7786

**Kostyshyn A. / Костишин А.В.***Aspirant / аспірант*

ORCID: 0009-0001-4494-077X

**Lahoida L. / Лагойда Л.І.**

ORCID: 0000-0002-2328-8276

**Kostyshyn S. / Костишин С.В.***Aspirant / аспірант*

ORCID: 0009-0008-8898-2657

*Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,**Ivano-Frankivsk, Karpatska, 15, 76019**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,**Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, 76019*

**Анотація.** У статті розглянуто вплив впровадження регульованого електроприводу на ефективність відцентрових насосів в системах нафтопровідних агрегатів. Проаналізовано різні методи регулювання робочого процесу та їхній вплив на споживану потужність та витрати робочої рідини. Розглянуто методику вибору оптимальних параметрів електроприводу для досягнення максимальної ефективності роботи насосних агрегатів.

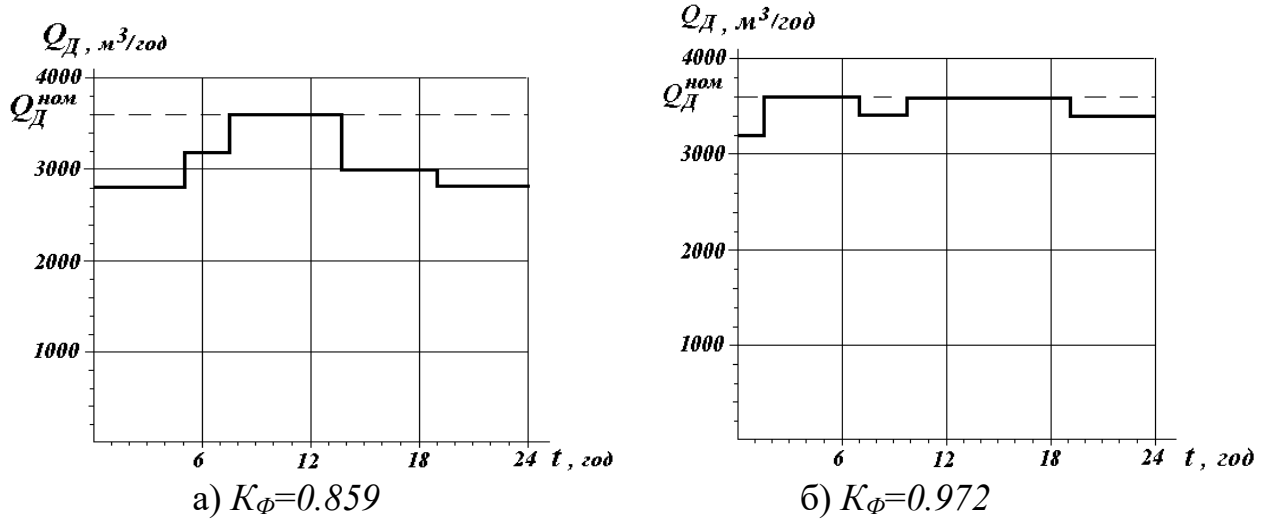
**Ключові слова:** регульований електропривід, відцентрові насоси, ефективність, енергозбереження, нафтопровідні агрегати, робочий процес, добові технологічні графіки, економічна ефективність, оптимізація, електроенергія, витрати робочої рідини.

**Вступ.** Впровадження енергоефективних технологій у сучасну промисловість має важливе значення з точки зору економії ресурсів та зниження впливу на навколишнє середовище. Відцентрові насоси, що використовуються в нафтопровідних агрегатах, є ключовими елементами систем транспортування нафти та газу. Оптимізація їхньої роботи може призвести до значних економічних та екологічних переваг.

Дослідження проводилося на основі математичних моделей, що враховують взаємодію електродвигуна, відцентрового насосу та регулюючого пристрою. Вихідними даними були добові технологічні графіки витрат робочої рідини, каталогові дані станції та ряд економічних показників. Для аналізу було використано різні методи оптимізації, такі як розрахунок економії енергії, розрахунок річного балансового прибутку та рентабельність операції.

**Основний текст.**

Вихідними даними для розрахунків є добові технологічні графіки витрат робочої рідини (рис. 1), каталогові дані ВН та ряд економічних показників функціонування тиристорної електроприводної насосної станції, таких як вартості ТПЧ та 1 кВт.год електроенергії, норми амортизаційних відрахувань та відрахувань на експлуатацію ТПЧ.



**Рис. 1 Добові технологічні графіки витрат ВН**

Річну економію електроенергії при впровадженні регульованого електроприводу можна розрахувати за виразом:

$$\Delta W_p = \frac{T_p}{24\eta_E^{ном}} \cdot \Delta N \cdot \Delta t_i, \tag{1}$$

де  $T_p$  - кількість робочих годин насосної станції в році;

$\eta_E^{ном}$  - номінальний ККД приводного електродвигуна;

$\Delta t_i$  - тривалість інтервалу добового графіка витрат;

$\Delta N$  - різниця споживаних ВН потужностей при різних способах регулювання дроселюванням ( $N_{др}$ ) та зміною швидкості обертання ( $N_{вар}$ ) (рис. 2).

$$\Delta N = N_{др} - N_{вар}. \tag{2}$$

У практичних розрахунках застосуємо формулу для розрахунку економії енергії (1). В цьому випадку річна економія електроенергії буде:

$$\Delta W_p = \frac{T_p N_C^{ном}}{24\eta_E^{ном}} \sum_{i=1}^k \left[ 1 - \left( \frac{Q_{Di}}{Q_D^{ном}} \right)^3 - \left( 1 - \frac{Q_{Di}}{Q_D^{ном}} \right) \cdot \gamma_p^{ном} \cdot ctg \gamma_p^{ном} \right] \cdot \Delta t_i, \tag{3}$$

де  $\gamma_p^{ном}$  - головний конструктивний параметр ВН – номінальний кут навантаження насоса, конструктивний параметр ВН, який пов’язаний з коефіцієнтом швидкохідності ВН  $n_s$  за допомогою наступного виразу:

$$\gamma_p^{ном} \approx 0.47 \left( 1 + \frac{n_s}{100} \right). \tag{4}$$

Для техніко-економічного порівняння варіантів використаємо методику визначення економічної ефективності капітальних вкладень в енергетику.

У випадку впровадження регульованого тиристорного електропривода річний балансовий прибуток  $\Pi_p$  визначається як різниця між річним доходом  $D_p$  і відповідними відрахуваннями на амортизацію та реновацію обладнання (



$A_{ap}$ ), підвищений знос електродвигуна ( $B_3$ ), технічне обслуговування та ремонт ТПЧ ( $B_{op}$ ):

$$\Pi_p = D_p - A_{ap} - B_3 - B_{op}, \tag{5}$$

де

$$D_p = c_0 \cdot W_p; \tag{6}$$

$$A_{ap} = \frac{A_{ap}^{норм} \cdot K_T}{100}; \tag{7}$$

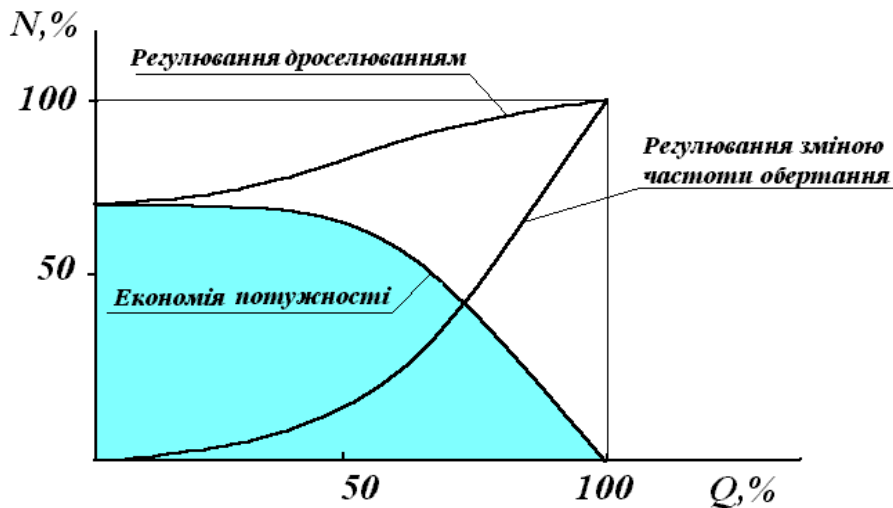
$$B_3 = \frac{B_3^{норм} \cdot K_T}{100}; \tag{8}$$

$$B_{op} = \frac{B_{op}^{норм} \cdot K_T}{100}; \tag{9}$$

$c_0$  - вартість 1 кВт.год електроенергії;

$A_{ap}^{норм}$ ,  $B_3^{норм}$ ,  $B_{op}^{норм}$  - відповідні норми відрахувань ( в процентах);

$K_T$  - капітальні затрати на придбання та установку ТПЧ.



**Рис. 2 Економія потужності при заміні дроселювання зміною швидкості обертання ВН**

Оскільки впровадження регульованого тиристорного електропривода відбувається протягом одного року, задача є статичною . В цьому випадку із врахуванням податку на прибуток (норма в процентах  $B_n^{норм}$ ), а також при відсутності використання кредитів чистий дисконтований прибуток становитиме:

$$\Pi_{dc} = \frac{\left(1 - \frac{B_n^{норм}}{100}\right) \cdot \Pi_p + A_{ap}}{E} - K_T, \tag{10}$$

де  $E$  - норма дисконту.

Рентабельність операції буде:

$$R = \frac{1}{T_{ок}} = \left(1 - \frac{B_n^{норм}}{100}\right) \left(\frac{D_p}{K_T} - \frac{A_{ap}^{норм} + B_3^{норм} + B_{op}^{норм}}{100}\right) + \frac{A_{ap}^{норм}}{100}, \tag{11}$$

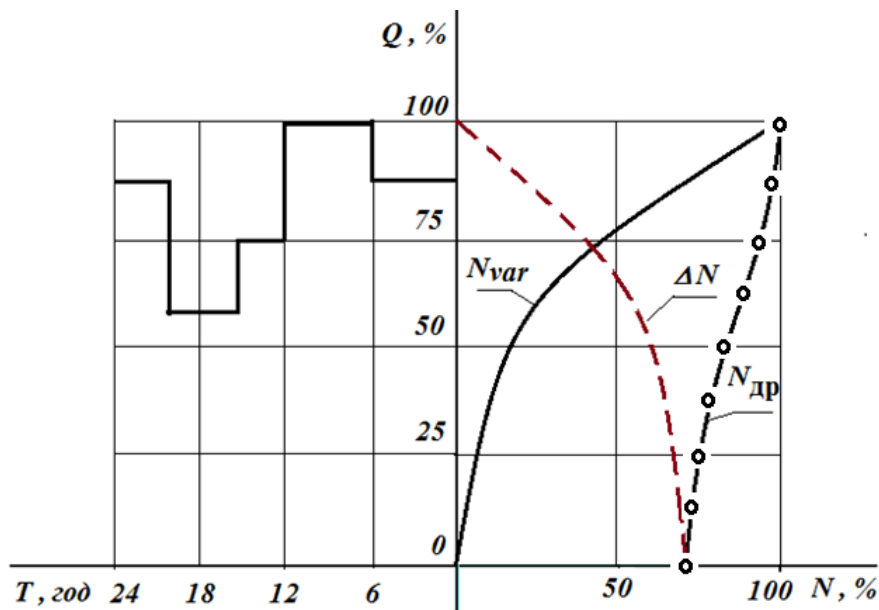


де  $T_{ок}$  - термін окупності (в роках).

Спільний розгляд рівнянь (3)-(11) дає змогу також розрахувати з умови отримання нульового чистого дисконтованого прибутку ( $\Pi_{oc} = 0$ ) максимально допустимі затрати  $K_T^{\max}$  на придбання та установку ТПЧ:

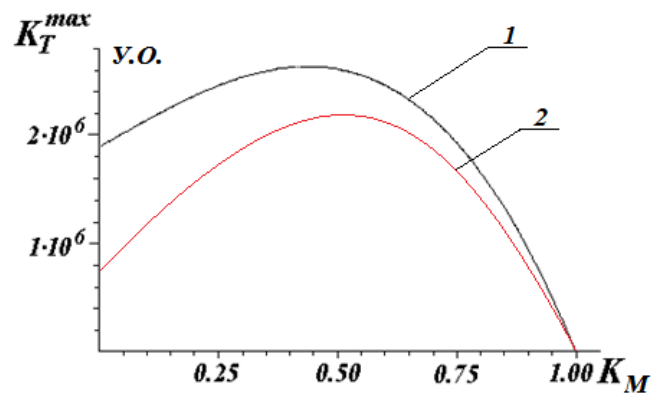
$$K_T^{\max} = \frac{D_p}{\left( \frac{A_{ap}^{\text{норм}} + B_3^{\text{норм}} + B_{op}^{\text{норм}}}{100} \right) + \frac{100E - A_{ap}^{\text{норм}}}{100 - B_n^{\text{норм}}}}. \quad (12)$$

При проведенні аналізу доцільності впровадження регульованого електроприводу виникає ще одна проблема. Розрахунок режиму ВН (залежності споживаної потужності  $N_c$  від витратного навантаження  $Q$ ) виконують дискретно. Зазвичай крок дискретизації по витраті складає 10%, а тому велика ймовірність того, що годинні значення витрати (згідно добового графіку) можуть не співпасти з розрахунковими (рис. 3). Тому у роботі розв'язана задача інтерполяції характеристики споживаної потужності за допомогою функції Лагранжа.



**Рис. 3 Економія потужності при заміні дроселювання зміною швидкості обертання ВН у залежності від добового графіка витратного навантаження**

На рисунку 4 зображено графіки залежності максимально допустимих затрат  $K_T^{\max}$  на придбання та установку ТПЧ від коефіцієнта форми  $K_\phi$  добового графіка витрати для різних моделей врахування механічних втрат (PRASCAL 2 і PRASCAL 3). Оптимальний варіант впровадження тиристорного регульованого електроприводу має місце при  $K_\phi = 0,52$  для моделі з використанням не лінійної характеристики споживаної потужності. Тут максимальна вартість ТПЧ складає  $K_T^{\max} = 2000000\$$ .



**Рис. 4** Залежності максимально допустимих затрат  $K_T^{\max}$  на придбання та установку ТПЧ від коефіцієнта форми  $K_\phi$  добового графіка витрати для різних моделей врахування механічних втрат: **1** – лінеаризована характеристика; **2** – нелінійна характеристика

Під час дослідження були отримані наступні результати:

- ✓ Визначено економічну ефективність впровадження регульованого електроприводу для відцентрових насосних агрегатів. Використання регульованого приводу дозволяє досягнути економії електроенергії за рахунок оптимізації навантаження насосу.
- ✓ Проведено порівняльний аналіз різних методів регулювання дроселюванням та зміною швидкості обертання. Встановлено, що зміна швидкості обертання є більш ефективним методом з точки зору енергозбереження.

Розроблено методику оптимального вибору параметрів електроприводу на основі аналізу навантаження та витрат робочої рідини. Запропонована методика дозволяє визначити оптимальний режим роботи на основі економічних показників.

**Висновки.** Дослідження підтвердило ефективність використання регульованого електроприводу для відцентрових насосних агрегатів. Зміна швидкості обертання демонструє більший потенціал для енергозбереження порівняно з дроселюванням. Розроблена методика оптимального вибору параметрів електроприводу може бути використана для підвищення ефективності роботи нафтопровідних насосних агрегатів. Дані результати мають важливе значення для нафтової та енергетичної промисловості, сприяючи зменшенню витрат та підвищенню екологічної безпеки.

### Література:

1. 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.

2. Шаммазов А.М. Проектирование и эксплуатация насосных и компрессорных станций [Текст] : Учебник для вузов / А.М. Шаммазов, В.Н. Александров, А.И. Гольянов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 404 с. - ISBN 5-247-03881-9.



3. Кутуков С.Е. Информационно-аналитические системы магистральных трубопроводов [Текст] / С.Е. Кутуков. - М.:СИП РИА, 2002.-324с. - ISBN 5-89354-150-2.

4. Костишин В.С. Моделивання режимів роботи відцентрових насосів на основі електрогідравлічної аналогії. – Івано-Франківськ: Факел, 2000. –163 с.

**Abstract.** *The article examines the impact of implementing a variable frequency drive on the efficiency of centrifugal pumps in oil pipeline unit systems. Various methods of regulating the operational process and their influence on power consumption and fluid flow rates are analyzed. The methodology for selecting optimal parameters of the electric drive to achieve maximum efficiency of pump unit operation is discussed.*

**Keywords:** *variable frequency drive, centrifugal pumps, efficiency, energy conservation, oil pipeline units, operational process, daily technological schedules, economic efficiency, optimization, electrical energy, fluid flow rates.*

Стаття відправлена: 11.09.2023 р.

© Лагойда А.І., Костишин А.В., Лагойда Л.І., Костишин С.В.