



УДК 621.22+621.67+62.001.57

STUDY OF ENERGY EFFICIENCY OF CENTRAL PUMPING MAIN UNITS**ДОСЛІДЖЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСНИХ МАГІСТРАЛЬНИХ АГРЕГАТІВ****Nahirnyi P.I / Нагірний П.І.***master***Nykolyn P.M. / Николин П.М.**<https://orcid.org/0000-0003-1453-8445>**Nykolyn U.M. / Николин У.М.***c.t.s., as.prof. / 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. Уточнено математичну модель відцентрового насоса магістральних нафтопроводів стосовно відображення механічних втрат, визначено енергетичні показники за його комплексними параметрами, побудовано векторну діаграму потужностей насосного агрегата, отримано характеристики ефективності енергоперетворення для магістрального відцентрового агрегата НМ-7000-210.

Ключові слова: енергетична ефективність, механічний опір, потужність, відцентровий агрегат.

Вступ. Однією із найважливіших характеристик всіх перетворювачів енергії є коефіцієнт корисної дії (ККД). Електроприводні насосні агрегати (НА) відносяться до найбільш розповсюджених електромеханічних комплексів на промислових підприємствах і споживають більшу частину всієї виробленої електроенергії. Відомо, що вартість роботи НА за весь період експлуатації в 10 раз перевищує його закупівельну ціну [1], а тому проблема енергетичної ефективності є ключовим питанням для виробничого комплексу. Основними причинами зменшення ККД НА є: неправильний підбір електрогідравлічної пари "двигун-насос", неузгодження продуктивності агрегата із його навантаженням, зношеність і робота в кавітаційних режимах тощо. Вся промисловість України є однією із найбільш енергоємних у світі [2]. Встановлено, що більше 60 % всіх затрат, пов'язаних із монтажем та експлуатацією НА йде на оплату за електроенергію, яка в процесі роботи перетворюється в гідравлічну енергію рухомої рідини [3]. Нераціональне використання цієї енергії в першу чергу пов'язане з відсутністю інформації про фактичний стан ефективності роботи НА. А тому основна увага приділяється забезпеченню необхідної витрати та напору на виході агрегату, за допомогою обрізки коліс або регулюванню запірною арматурою. В свою чергу ці операції теж понижують ККД установки. Такий стан речей вимагає створення адекватної математичної моделі, яка відобразить фізичну суть енергетичних перетворень в НА і окреслить основні напрямки підвищення ефективності його функціонування. Очевидно, що найбільший енергетичний ефект можна



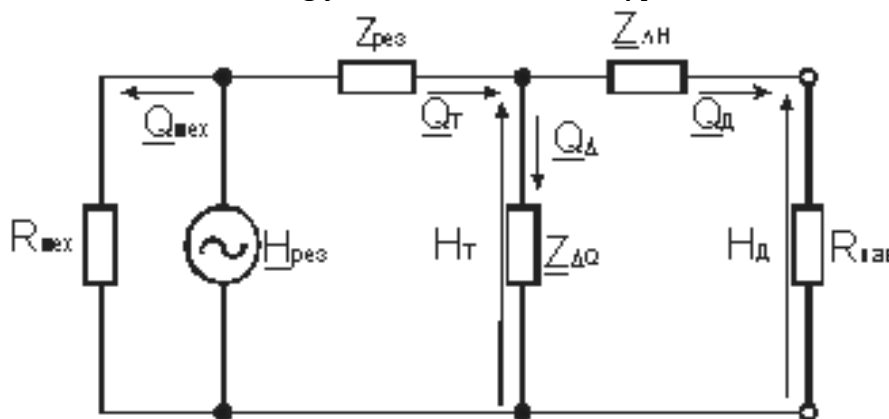
отримати на агрегатах надвеликої потужності із тривалим режимом роботи, зокрема встановлених на магістральних нафтових перекачувальних станцій (НПС).

Для вирішення цієї енергетичної проблеми можна використати принцип аналогій [4,5], для визначення потоків енергії в гідромеханічному перетворювачі та побудови енергетичних залежностей на основі створеної математичної моделі ВН. Застосування такого підходу дало змогу отримати ефективні математичні моделі електричних машин. Запорукою успіху такого підходу є ефективне застосування електроенергетичних законів для об'єктів різної фізичної природи.

На основі електрогідравлічної аналогії та теорії кіл Кірхгофа [6] була створена ефективна математична модель ВН, що оперує із зосередженими комплексними параметрами [4], де було допущено, що в номінальному режимі роботи втратами потужності в сальниках, підшипниках можна знехтувати (при постійній швидкості обертання робочого колеса), а сумарні механічні втрати - прийняти постійними на всьому інтервалі зміни витрати насоса. Цей факт спричинив неточності в подальшому моделюванні енергетичних характеристик, особливо тоді, коли НА працює в недовантаженому режимі. Тому уточнення моделі ВН уможливить детальніше відобразити розподіл потужностей та енергоефективність агрегата.

Задачі досліджень. Метою роботи є уточнення створеної математичної моделі ВН магістральних нафтопроводів, типу НМ за рахунок введення змінної величини механічного опору, який враховує динаміку зміни механічних втрат потужності, а також побудувати векторну діаграму потужностей та виконати розрахунок енергетичних залежностей, які відображають ефективність енергоперетворення у магістральних насосах.

Основна частина. Використовуючи повну комплексну схему заміщення ВН [3] можна отримати модель насоса у вигляді чотирьох полюсника, де змодельовані механічні втрати у підшипниках, сальниках та дискового тертя, у формі змінного активного опору $R_{\text{мех}}$, величина є функцією від витрати $Q_{\text{д}}$.



$H_{\text{т}}, H_{\text{д}}, H_{\text{рез}}$ - теоретичний, дійсний та результуючий гідравлічні напори ВН;

$Q_{\text{т}}, Q_{\text{д}}, Q_{\Delta}$ - теоретична, дійсна та об'ємна гідравлічні витрати ВН;

$Z_{\Delta\text{Н}}, Z_{\text{рез}}, Z_{\Delta\text{Q}}, R_{\text{мех}}$ - напірний, результуючий, об'ємний та механічний опір ВН.

Рисунок 1 – Схема заміщення ВН у вигляді чотирьох полюсника із врахуванням механічних втрат



Тут опори ВН змодельовані у вигляді комплексних чисел, що містять активну та інерційну складові і зображаються у вигляді вектора. Розрахунок всіх величин проводиться у відносних номінальних одиницях.

$$Z_{mex} = r_{mex} + jx_{mex}, \quad (1)$$

де r_{mex}, x_{mex} – активний (дисипативний) та інерційний опори для моделювання механічних втрат ВН, активну складову якого визначають із співвідношення:

$$r_{mex} = \frac{Z_{mex}}{\sqrt{1 + Re_{mex}^2}}, \quad (2)$$

де Re_{mex} – відцентрова форма числа Рейнольдса для вітки механічних втрат.

Оскільки значення числа Рейнольдса є великим (для ВН типу НМ-7000-210, $Re_{mex}=359$), то активним опором r_{mex} можна знехтувати по відношенню до x_{mex} . Таке співвідношення між опорами не відображає фізичного характеру енергетичних перетворень щодо вітки механічних втрат НА, які зазвичай носять чітко виражений дисипативний характер. Також, моделювання вітки опору механічних втрат, як постійної та незалежної від режиму роботи величини справедливе тільки для номінального режиму роботи ВН. Для будь-якого іншого режиму Z_{mex} буде змінюватись у відповідності до витрати рідини. Це пояснюється тим фактом, що при збільшенні витрати Q_d зростають дискові та сальникові тертя і осьові навантаження на підшипники.

Проведені на ЕОМ дослідження дали змогу запропонувати наступний вираз для розрахунку залежності механічного опору R_{mex} від витрати Q_d

$$R_{mex} = (R_{mex}^{ном})^{Q_d} \quad (3)$$

де $R_{mex}^{ном}$ – значення механічного опору в номінальному режимі ВН.

Характер зміни R_{mex} можна представити у вигляді графічної залежності для ВН типу НМ-7000-210

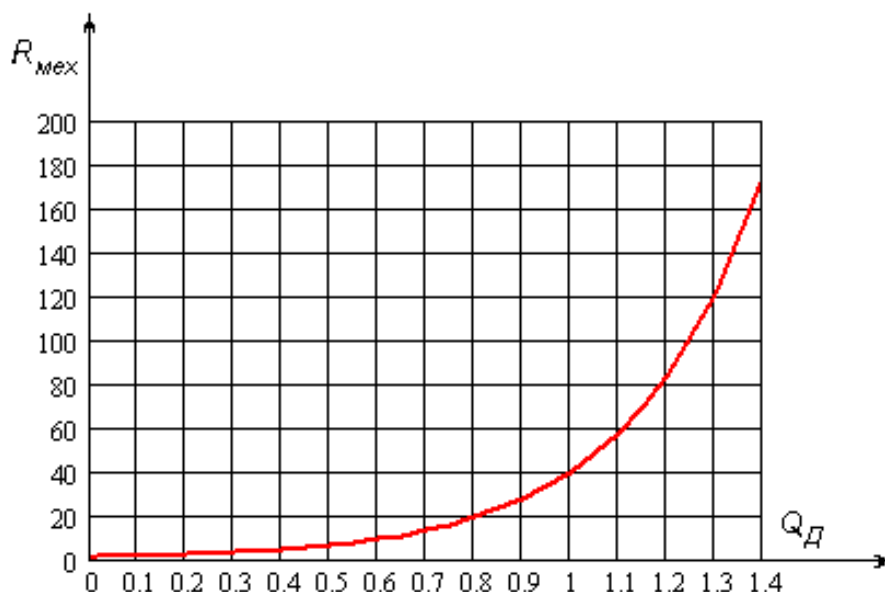


Рисунок 2 – Зміна величини механічного опору для НМ-7000-210 від витрати



Використовуючи схему заміщення на рисунку 1 можна визначити розподіл потужностей, які протікають у ВН. З цією метою спочатку визначаємо значення дійсного напору на виході насоса за виразом [7]

$$H_D = \sqrt{\left(\frac{H_{\text{рез}}}{A}\right)^2 - \left(\frac{B}{A} Q_D \sin(\beta - \alpha)\right)^2} - \frac{B Q_D \cos(\beta - \alpha)}{A}, \quad (4)$$

де B, A – модулі термодинамічних коефіцієнтів чотиріполюсника;
 α, β – аргументи термодинамічних коефіцієнтів чотиріполюсника.

Визначення корисної потужності на виході насоса

$$S_{\text{кор}} = H_D Q_D. \quad (5)$$

Втрати потужності у спіральному відводі ВН

$$S_{\text{CB}} = Q_D^2 Z_{\Delta H}. \quad (6)$$

Втрати потужності зумовлені витоками рідини через ущільнення

$$S_{\Delta Q} = (H_D + Q_D Z_{\Delta H})(Q_T - Q_D). \quad (7)$$

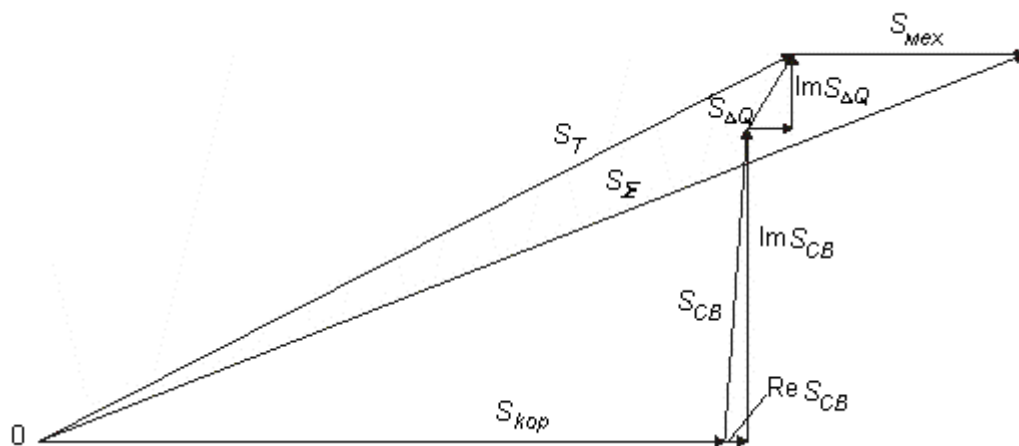
Внутрішні втрати потужності насоса

$$S_T = (H_D + Q_D Z_{\Delta H}) Q_T. \quad (8)$$

Визначення потужності механічних втрат

$$S_{\text{мех}} = \frac{H_{\text{рез}}^2}{R_{\text{мех}}}. \quad (9)$$

Провівши математичні розрахунки в математичному середовищі MathCAD отримано всі необхідні дані для побудови векторної діаграми потужностей ВН яку зображено на рисунку 3.



S_{Σ} - відповідно результуюча потужність створена напором $H_{\text{рез}}$

Рисунок 3 – Векторна діаграма потужностей для НМ-7000-210

Векторна діаграма дає змогу графічно відобразити вплив механічного опору на перетоки потужностей в середині гідромеханічного перетворювача. На цій основі визначено результуючий ККД ВН η_{Σ} із урахуванням характеру зміни уточненого механічного ККД за виразом

$$\eta_{\Sigma} = \eta_o \eta_e \eta_{\text{мех}}, \quad (10)$$

де $\eta_o, \eta_e, \eta_{\text{мех}}$ – відповідно об'ємний, гідравлічний та механічний ККД, які визначаються за наступними формулами



$$\eta_o = \frac{S_{kop}}{S_T}, \quad (11)$$

$$\eta_z = \frac{H_D}{H_T}, \quad (12)$$

$$\eta_{mex} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{S_{kop}}{S_{mex}}}, \quad (13)$$

Результати розрахунків зображено на рисунку 4

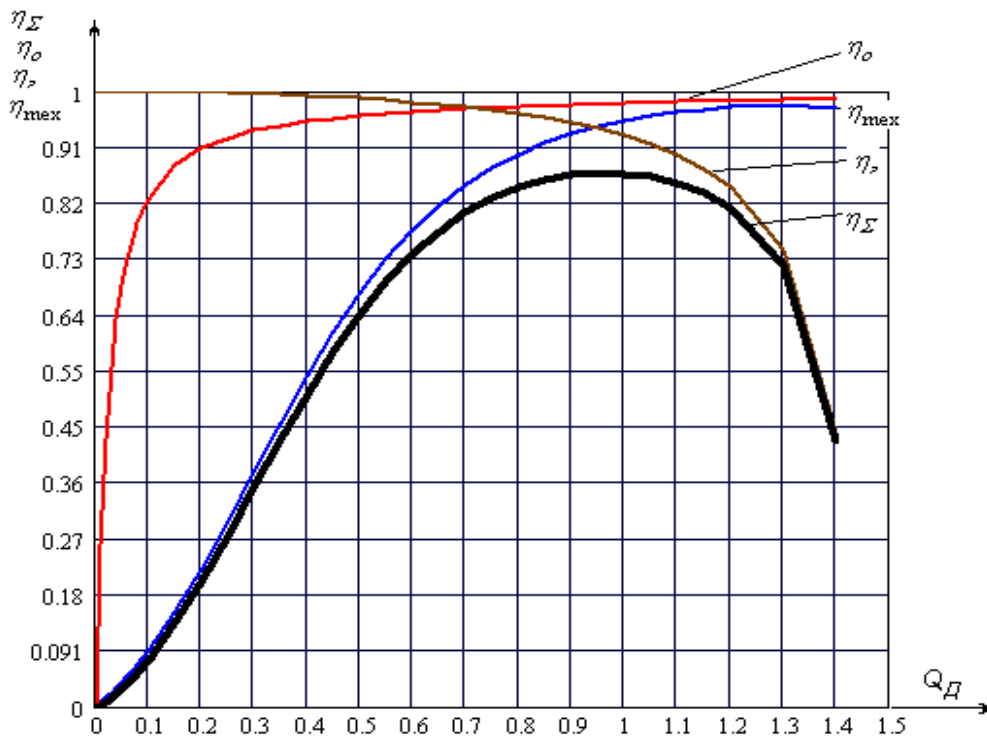


Рисунок 4 – Енергетичні залежності для НМ-7000-210

Адекватність отриманих результатів підтверджується збіжністю розрахованих за допомогою уточненої математичної моделі та отриманої експериментально енергетичної характеристики ВН магістральних нафтопроводів [8].

Висновки

1. Запропонована уточнена математична модель механічних втрат у ВН, яка дає змогу проводити дослідження енергетичних характеристик та підвищувати ефективність роботи.

2. Розраховано і побудовано векторну діаграму потужностей та результуючого ККД для насоса типу НМ-7000-210 із урахуванням характеру зміни механічного ККД.

Список літератури

1. Экономия электрической энергии на промышленных предприятиях [Электронный ресурс]/ http://www.ccssu.crimea.ua/crimea/ac/6/3_0.html.

2. Державний комітет України з енергозбереження. Розвиток механізмів



енергозбереження в регіонах, <http://www.is.svtonline.com/sukhodolya/index.htm>.

3. Не стоит перекачивать прибыль из Вашего завода. Оставьте ее себе [Електронний ресурс] / <http://www.fluidbusiness.ru/usefull/articles/save>

4. Костишин В.С. Моделювання режимів роботи відцентрових насосів на основі електрогідравлічної аналогії [Текст] / В.С.Костишин. – Івано-Франківськ : Факел, 2000. – 163с. – ISBN 966 – 7327 – 05 – 1.

5. Коган И.Ш., "Физические аналогии"- не аналогии, а закон природы [Електронний ресурс] / И.Ш.Коган. - 2004, <http://www.scitecliorary.ru/rus/catalog/pages/7438.htm..>

6. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники [Текст]/ Л.А.Бессонов. – М.: "Высшая школа", 1973. – 752с.

7. Представлення відцентрового насоса у вигляді чотириполюсника [Текст] / В.С.Костишин, П.М. Николин // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищах. – 2006. - №3. – С.76–80.

8. Якимів Й.В. Типові технологічні розрахунки трубопровідного транспорту нафти і нафтопродуктів [Текст]: навч. посібник./Й.В.Якимів. – Івано-Франківськ:Факел,2006.–С.366. – ISBN 966 – 694 – 060 – 4.

Abstract. *The mathematical model of the centrifugal pump of main oil pipelines in relation to the display of mechanical losses was refined, energy indicators were determined according to its complex parameters, a vector diagram of the power of the pump unit was constructed, and the characteristics of the energy conversion efficiency for the main centrifugal unit NM-7000-210 were obtained.*

Key words: *energy efficiency, mechanical resistance, power, centrifugal unit.*

Стаття відправлена: 16.01.2024 р.

© Николин П.М.