

ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ ВІДЦЕНТРОВИХ АГРЕГАТІВ МАГІСТРАЛЬНИХ НАФТОПРОВОДІВ

В.С.Костишин, П.М.Николин

*ІФНТУНГ; 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15; тел. (03422) 48003;
e-mail: epeo@pung.edu.ua*

Уточнено математичну модель відцентрового насоса магістральних нафтопроводів стосовно відображення механічних втрат, визначено енергетичні показники за його комплексними параметрами, побудовано векторну діаграму потужностей насосного агрегату, одержано характеристики ефективності енергоперетворення для магістрального відцентрового насоса НМ-7000-210.

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

Проведено уточнение математической модели центробежного насоса магистральных нефтепроводов с учетом механических потерь, определены энергетические показатели за его комплексными параметрами, построена векторная диаграмма мощностей насосного агрегата, получены характеристики эффективности энергопреобразования для магистрального центробежного агрегата НМ-700-210.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, механическое сопротивление, мощность, центробежный насос.

It is specified centrifugal pump mathematical model taking into account mechanical loss. It is defined energy indices according to its complex parameters. It is built power vector diagram of centrifugal unit. It is received characteristics of energy transformation efficiency for main centrifugal pump НМ-7000-210.

Keywords: energy efficiency, mechanical resistance, power, centrifugal unit.

Постановка проблеми, актуальність та доцільність досліджень

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 нафтогазової промисловості споживають більшу частину всієї виробленої електроенергії. Встановлено, що понад 60% усіх затрат, пов'язаних із монтажем та експлуатацією НА, йде на оплату електроенергії, яка в процесі роботи перетворюється в гідравлічну енергію рухомої рідини [1]. Відомо, що вартість роботи НА за весь період експлуатації в 10 раз перевищує його закупівельну ціну [2], а тому проблема енергетичної ефективності є ключовим питанням для виробничого комплексу. Основними причинами зменшення ККД НА є: неправильний підбір електродіафрагмальної пари "двигун – насос", неузгодження продуктивності агрегату з його навантаженням, зношеність і робота в кавітаційних режимах тощо. Промисловість України є однією із найбільш енергомістких у світі [3]. Нераціональне використання цієї енергії пов'язане насамперед з відсутністю інформації про фактичний стан ефективності роботи НА. Тому основна увага приділяється забезпеченню необхідної витрати та напору на виході агрегату за допомогою обрізки коліс або регулювання запірною арматурою. У свою чергу, ці операції понижують ККД агрегату. 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

одержати на агрегатах надвеликої потужності із тривалим режимом роботи, зокрема встановлених на магістральних нафтових перекачувальних станціях (НПС), де використовують відцентрові насоси (ВН).

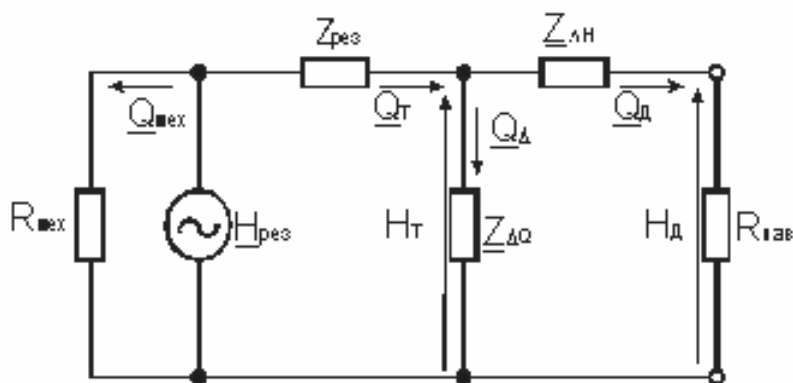
Вирішення цієї енергетичної проблеми можливе на основі принципу аналогій [4,5] для визначення потоків енергії в гідромеханічному перетворювачі та побудови енергетичних залежностей на основі створеної математичної моделі ВН. Застосування такого підходу вже дало змогу одержати ефективні математичні моделі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

Аналіз результатів останніх досліджень

На основі електродіафрагмальної 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 машинах можна знехтувати (за постійної 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 відображення розподілу потужностей та визначення енергоефективності агрегату.

Задачі досліджень

Метою роботи є уточнення математичної моделі ВН магістральних нафтопроводів за ра-



$H_т, H_д, H_{рез}$ – відповідно теоретичний, дійсний та результуючий гідравлічні напори ВН;
 $Q_т, Q_д, Q_Δ$ – відповідно теоретична, дійсна та об’ємна гідравлічні витрати ВН;
 $Z_{ΔН}, Z_{рез}, Z_{ΔQ}, R_{мех}$ – відповідно напірний, результуючий, об’ємний та механічний опори ВН

Рисунок 1 – Схема заміщення ВН у вигляді чотириполосника з урахуванням механічних втрат

хунок введення змінної величини механічного опору, який враховує динаміку зміни механічних втрат потужності, а це дасть змогу побудувати векторну діаграму потужностей та виконати розрахунок енергетичних залежностей, що відображають ефективність енергоперетворення у магістральних насосах.

Виклад основного матеріалу

Використовуючи повну комплексну схему заміщення ВН [3] одержано модель насоса у вигляді чотириполосника, де змодельовано механічні втрати у підшипниках, сальниках та дискового тертя у формі змінного активного опору $R_{мех}$, величина якого є функцією від витрати $Q_д$.

Тут всі параметри є векторами на комплексній площині, зокрема опори ВН змодельовані у вигляді комплексних чисел, що містять активну та інерційну складові і зображаються у вигляді вектора. Розрахунок усіх величин проводиться у відносних номінальних одиницях:

$$Z_{мех} = r_{мех} + jx_{мех}, \tag{1}$$

де $r_{мех}, x_{мех}$ – активний (дисипативний) та інерційний опори для моделювання механічних втрат ВН, які визначають із співвідношень:

$$r_{мех} = \frac{Z_{мех}}{\sqrt{1 + Re_{мех}^2}}, \tag{2}$$

$$x_{мех} = r_{мех} Re_{мех}, \tag{3}$$

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

Оскільки значення числа Рейнольдса є великим (для ВН типу НМ-7000-210, $Re_{мех}=359$), то активним опором $r_{мех}$ відносно $x_{мех}$ можна знехтувати. Таке співвідношення між опором не відображає фізичного характеру енергетичних перетворень щодо вітки механічних втрат НА, які 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 $Z_{мех}$ буде змінюватись відповідно до витрати рідини. Це пояснюється тим фактом, що зі збільшенням витрати $Q_д$ зростають дискові та сальникові втрати тертя і осьові навантаження на підшипники.

Проведені на ЕОМ дослідження дали підставу запропонувати наступний вираз для розрахунку залежності механічного опору $R_{мех}$ від $Q_д$:

$$R_{мех} = (R_{мех}^{ном})^{Q_д}, \tag{4}$$

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

Характер зміни $R_{мех}$ можна представити у вигляді графічної залежності для ВН типу НМ-7000-210 (рис. 2).

Використовуючи схему заміщення ВН (рис. 1) можна також визначити розподіл потужностей у її вітках. З цією метою спочатку визначаємо значення дійсного напору на виході насоса за виразом [7]:

$$H_д = \sqrt{\left(\frac{H_{рез}}{A}\right)^2 - \left(\frac{B}{A} Q_д \sin(\beta - \alpha)\right)^2} - \frac{B Q_д \cos(\beta - \alpha)}{A}, \tag{5}$$

де B, A, α, β – відповідно модулі та аргументи термодинамічних коефіцієнтів чотириполосника.

Далі визначаємо корисну потужність на виході насоса:

$$S_{кор} = H_д Q_д. \tag{6}$$

Потім знаходимо потужність у спіральному відводі ВН:

$$S_{СВ} = Q_д^2 Z_{ΔН}. \tag{7}$$

Втрати потужності зумовлені витоками рідини через ущільнення будуть:

$$S_{ΔQ} = (H_д + Q_д Z_{ΔН})(Q_т - Q_д). \tag{8}$$

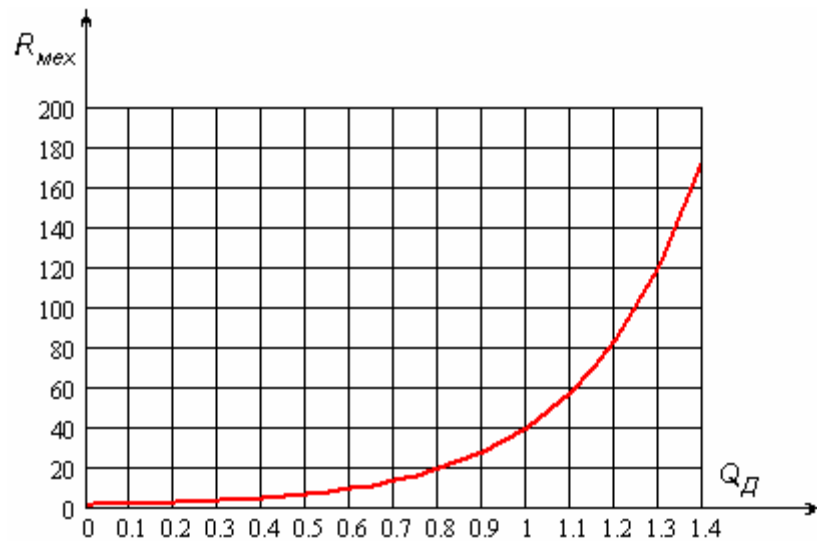
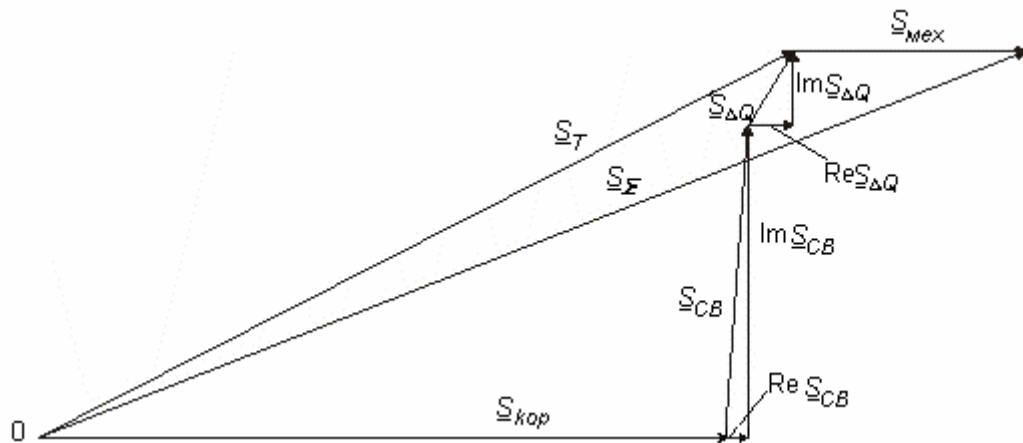


Рисунок 2 – Зміна величини механічного опору для НМ-7000-210 від витрати



S_{Σ} – відповідно результуюча потужність створена напором $H_{рез}$
Рисунок 3 – Векторна діаграма потужностей для НМ-7000-210

Внутрішні втрати потужності насоса:

$$S_T = (H_D + Q_D Z_{\Delta H}) Q_T. \quad (9)$$

Завершується розрахунок визначенням потужності механічних втрат:

$$S_{mех} = \frac{H_{рез}^2}{R_{mех}}. \quad (10)$$

На основі проведених математичних розрахунків у математичному середовищі MathCAD побудовано векторну діаграму потужностей ВН (рис. 3).

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

$$\eta_{\Sigma} = \eta_o \eta_z \eta_{mех}, \quad (11)$$

де η_o , η_z , $\eta_{mех}$ – відповідно об’ємний, гідравлічний та механічний ККД насоса, що визначаються за наступними формулами через модулі відповідних векторних величин:

$$\eta_o = \frac{S_{kop}}{S_T}, \quad (12)$$

$$\eta_z = \frac{H_D}{H_T}, \quad (13)$$

$$\eta_{mех} = 1 - \frac{1}{1 + \frac{S_{kop}}{S_{mех}}}. \quad (14)$$

Результати розрахунків зображено на рисунку 4.

Адекватність одержаних результатів підтверджується збіжністю розрахованих за допомогою уточненої математичної моделі та одержаної експериментально ($\eta_{\Sigma}^{експ}$) енергетичної характеристики ВН магістральних нафтопроводів [8].

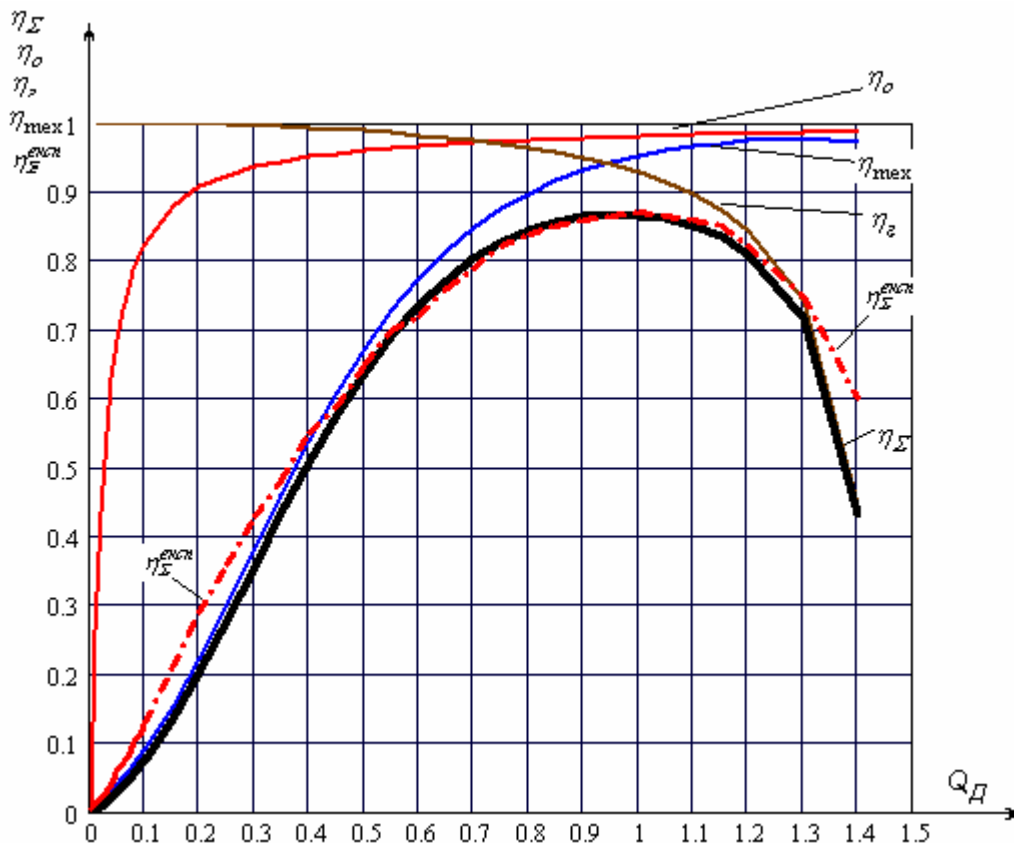


Рисунок 4 – Енергетичні залежності для НМ-7000-210

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.

Література

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

2 Державний комітет України з енергозбереження. Розвиток механізмів енергозбереження в регіонах <http://www.is.svitonline.com/sukhodolya/index.htm>

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

4 Костишин В.С. Моделирование режимов работы відцентрових насосів на основі електродігравлічної 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.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/7438.htm>.

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

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.

Стаття надійшла до редакційної колегії
09.11.09

Рекомендована до друку
за результатами Міжнародної конференції
професором **Б. В. Конєєм**