

## АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ НАФТОПЕРЕКАЧУВАЛЬНОГО НАСОСНОГО АГРЕГАТУ

В.С.Костишин, І.І.Сорохтей

ІФНТУНГ, 76018, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, к. 1307, тел. (03422) 48003  
e-mail: kostyshyn@nung.edu.ua, yaremak\_iryana@ukr.net

Проведено аналіз ефективності насосних агрегатів в усталених режимах роботи з урахуванням взаємодії електромеханічної та гідравлічної підсистем. Розроблено рекомендації щодо погодження режимних параметрів гідравлічних мереж, насосів та приводних електродвигунів, віднайдено компромісне значення витрати нафти, за якого коефіцієнт корисної дії насосного агрегату загалом сягає максимального значення.

Ключові слова: насосний агрегат, гідравлічна мережа, витрати

Проведен анализ эффективности насосных агрегатов в установившихся режимах работы с учетом взаимодействия электромеханической и гидравлической подсистем. Разработаны рекомендации по согласованию режимных параметров гидравлических сетей, насосов и приводных электродвигателей, найдено компромиссное значение расхода нефти, при котором коэффициент полезного действия насосного агрегата в целом достигает максимального значения.

Ключевые слова: насосный агрегат, гидравлическая сеть, расход

The analysis of efficiency of pump aggregates in withstand working processes with taking into account the interaction of electromechanical and hydraulic subsystems is provided. Recommendations of approval the regime parameters of hydraulic systems, pumps and electro-drive motors are given. The compromise decision of oil charges, in which the output-input ratio of pump aggregate in complex will get its maximum level, is also found.

Keywords: pump aggregate, hydraulic system, charges

**Постановка проблеми.** В умовах сучасного стрімкого росту ціни енергоносіїв особливої актуальності набуває проблема ефективної роботи енергомістких технологічних об'єктів, серед яких важливе місце займають нафтоперекачувальні станції (НПС), що забезпечують роботу нафтопровідної системи. НПС – це складна система взаємодіючого електромеханічного та гідравлічного обладнання, яка має певні властивості та характеристики технологічного механізму (насосного агрегату (НА)), гідротранспортної мережі, запірно-регулювальної арматури (зворотних клапанів, засувок) тощо.

Насосне обладнання НПС є дорогим та енергомістким, тому необхідно провести аналіз ефективності роботи НА в усталених режимах, розробити рекомендації щодо узгодження режимних параметрів гідравлічних мереж, насосів та приводних електродвигунів, запропонувати заходи для зниження енергозатрат НА.

**Аналіз результатів останніх досліджень.** Режими роботи НПС – це взаємопов'язані електромеханічні, механічні і гідравлічні процеси. Аналіз літературних джерел показав, що специфічна приналежність цієї області дослідження стику наук – електроенергетики і гідромеханіки – визначила той факт, що із єдиного електродвигунно-гідромеханічного процесу електроприводної НПС спеціалісти електрики виділяли для розгляду електромеханічні [1], а спеціалісти гідромеханіки – гідромеханічні складові [2]. Проте в дослідженнях багатьох робіт вказано на необхідність системного підходу для комплексного аналізу режимів роботи НПС [3] як єдиної системи з підсистемами різної фізичної природи.

Тому енергообмін між цими підсистемами і буде визначати результируючий ККД агрегату.

**Задачі досліджень.** Метою роботи є розроблення рекомендацій щодо узгодження режимних параметрів гідравлічних мереж, насосів та приводних електродвигунів, оцінка ефективності роботи НА в усталених режимах на основі методології системного підходу та визначення оптимального ККД НА загалом.

**Виклад основного матеріалу.** Особливістю НА є те, що його режим роботи за подаванням і напором визначається гідравлічним опором мережі, в складі якої він працює, та фізико-хімічними властивостями нафти. Тому аналізувати роботу гідротранспортної системи потрібно тільки в комплексі зі всім обладнанням, враховуючи при цьому взаємозв'язок електромеханічної та гідравлічної підсистем. Важливо зрозуміти перевагу такого комплексного погляду на процес, який дає можливість розширити і поглибити особисте уявлення про “механізм” взаємодії об'єктів у системі та підвищити її ефективність.

Спільний режим роботи НА і трубопроводу визначається з умови енергетичного балансу, який забезпечується в робочій точці А перетину напірних характеристик насоса  $H_D^{HC}$  та трубопроводу  $H_{Tp}$  (рис. 1).

Даний режим може бути реалізований тільки в тому випадку, коли при ньому забезпечується міцність трубопроводу. Максимально допустимий із умови міцності напір  $H_{дон}$  пови-

нен бути більший за напір, створений насосами  $H_{д}^{НС}$ .

У сучасних умовах дефіциту енергоносіїв насосне обладнання НПС зазвичай працює в далеко не оптимальних, недовантажених режимах, що супроводжуються інтенсивним зношуванням і зниженням терміну роботи вузлів і деталей НА.

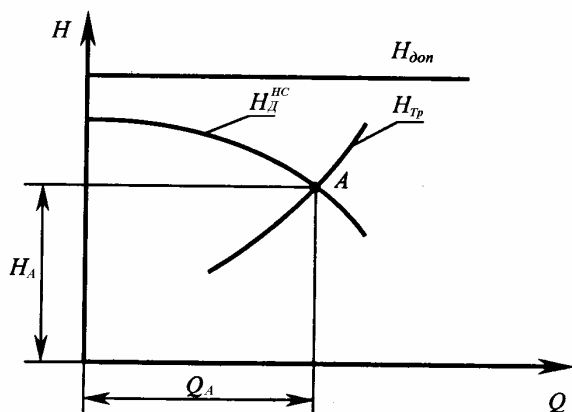


Рисунок 1 – Режим роботи насосної станції на трубопроводі

У випадку відхилення робочого режиму від точки оптимального навантаження насоса, його ККД знижується. Це спричиняє збільшення затрат електроенергії на транспортування нафти. Варто зауважити, що електродвигун для насоса вибирається так, щоб його номінальні параметри відповідали оптимальним параметрам насоса. Таким чином, неоптимальний режим роботи насоса зумовлює також зниження ефективності приводного електродвигуна – погіршення його ККД та коефіцієнта потужності, появу додаткових втрат в елементах електромережі.

Також необхідно врахувати вплив в'язкості нафти на ефективність роботи НА. Результати експериментальних досліджень свідчать, що під час перекачування рідин з підвищеною в'язкістю напір і подача насоса на режимі максимального ККД менші, ніж під час роботи на воді, оскільки збільшуються втрати енергії насоса [4].

Ігнорування наведених факторів призводить до невідповідності режимів роботи елементів НА та гідротранспортної системи та зниження результуючого ККД НА.

Узгодження режимів роботи системи трубопровод-НА можна здійснити наступними способами: впливом на мережу, тобто зміною величини опору гідротраси, який можна реалізувати регулюванням подачі засувками на трубопроводах (дроселювання) або зміною технологічних параметрів трубопроводів (діаметрів, довжин, кутів повороту) і обладнання; впливом на насос (зміною його характеристики) шляхом регулювання його частоти обертання (найбільш економічно вигідний метод), зміною діаметра робочого колеса.

Ще одним суттєвим чинником, який впливає на ефективність роботи НА є правильний підбір відцентрового насоса (ВН) та електродвигуна.

У розрахунку режимів роботи НПС оптимальною вважають точку, для якої ККД ВН максимальний, не враховуючи при цьому ККД приводного електродвигуна. Тому необхідно проаналізувати ефективність електричної та гідравлічної частин НА та визначити оптимальне значення витрати нафти в ustalених режимах роботи НПС, за якого ККД НА загалом досягатиме максимального значення.

Для прикладу розглянемо НА магістрального нафтопроводу, що складається з ВН типу НМ 3600-230 та електроприводного синхронного двигуна (СД) СТД-2500-2. На рис. 2 зображено одержану експериментально залежність коефіцієнта корисної дії ВН від витрати нафти [5].

Апроксимуємо дану характеристику ВН (рис. 2) поліномом третього степеня та визначимо витрату нафти  $Q_1$ , за якої ККД ВН набуде максимального значення:

$$Q_1 = 3210,92 \text{ м}^3/\text{год}; \quad \eta_{ВН}^{\max}(Q_1) = 0,863.$$

Характеристику ККД СД будують залежно від потужності технологічного навантаження, яким у нашому випадку є ВН. Оскільки залежність його споживаної потужності від витрати нафти  $Q$  відома [5], то представимо характеристику ККД СТД-2500-2 у вигляді функції, аргументом якої є  $Q$  (рис. 3).

Аналогічно визначимо витрату нафти  $Q_2$ , за якої ККД СД буде максимальним

$$Q_2 = 3787,038 \text{ м}^3/\text{год}; \quad \eta_{СД}^{\max}(Q_2) = 0,94.$$

Аналіз одержаних результатів дає підстави зробити висновок, що ККД СД та ККД ВН свого максимального значення набувають для значень витрати нафти, відмінних від паспортного  $Q_{ном} = 3600 \text{ м}^3/\text{год}$ . Причому одержані значення відрізняються один від одного:  $Q_1 \neq Q_2 \neq Q_{ном}$ .

Для оцінки ефективності роботи НА визначимо повну електричну потужність, яку приводний СД споживає з мережі:

$$S = \frac{N_C}{\eta_{СД}}, \quad (1)$$

де:  $\eta_{СД}$  – ККД приводного СД;

$N_C$  – споживана насосом (механічна) потужність з валу приводного СД.

$$N_C = \frac{N_K}{\eta_{ВН}}, \quad (2)$$

де:  $\eta_{ВН}$  – ККД ВН;

$N_K$  – корисна (гідравлічна) потужність ВН.

$$N_K = \rho g Q H, \quad (3)$$

де:  $\rho$  – питома густина нафти;

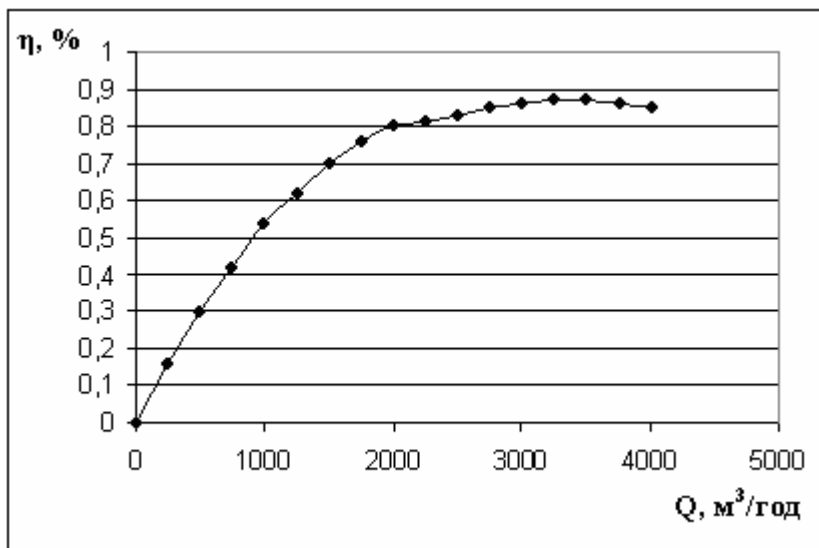


Рисунок 2 – Характеристика ККД насоса НМ 3600-230

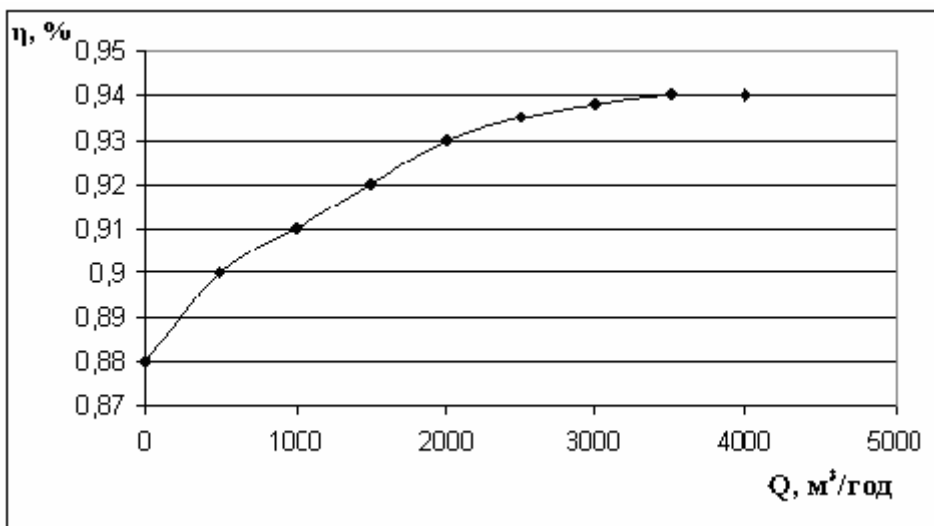


Рисунок 3 – Характеристика ККД синхронного двигуна СТД-2500-2

$g$  – прискорення вільного падіння;

$Q$  – витрата нафти;

$H$  – напір на виході ВН.

Враховуючи (2) та (3) кінцево одержимо формулу:

$$S = \frac{\rho g Q H}{\eta_{ВН} \eta_{СД}} \quad (4)$$

Представимо характеристики корисної, споживаної та повної потужностей (рис. 4).

Визначимо ККД НА:

$$\eta_{НА}(Q) = \eta_{ВН}(Q) \eta_{СД}(Q), \quad (5)$$

де  $\eta_{ВН}(Q)$ ,  $\eta_{СД}(Q)$  – відповідно залежності ККД ВН та СД від витрати нафти.

Представимо ККД НА у вигляді поліному і знайдемо оптимальне значення витрати нафти  $Q_3$ , для якого ККД НА загалом набудатиме максимального значення:

$$Q_3 = 3346,408 \text{ м}^3/\text{год}; \quad \eta_{НА}^{\max}(Q_3) = 0,82.$$

На основі проведених обчислень бачимо, що  $Q_1 < Q_3 < Q_2$ .

На рис. 5 зображено суміщені характеристики ККД насоса, електродвигуна та НА загалом.

Реалізація енергоефективного режиму роботи НА з витратою  $Q_3$  вимагає додаткових затрат, пов'язаних з одним із описаних вище способів узгодження режимів системи “трубопровід – НА”. Вибір конкретного способу потребує розв'язання техніко-економічної оптимізаційної задачі з урахуванням втрат на дрослювання, вартості регулятора швидкості НА тощо.

### Висновки

У статті проаналізовано енергоефективність НА в усталених режимах роботи НПС. З цією метою:

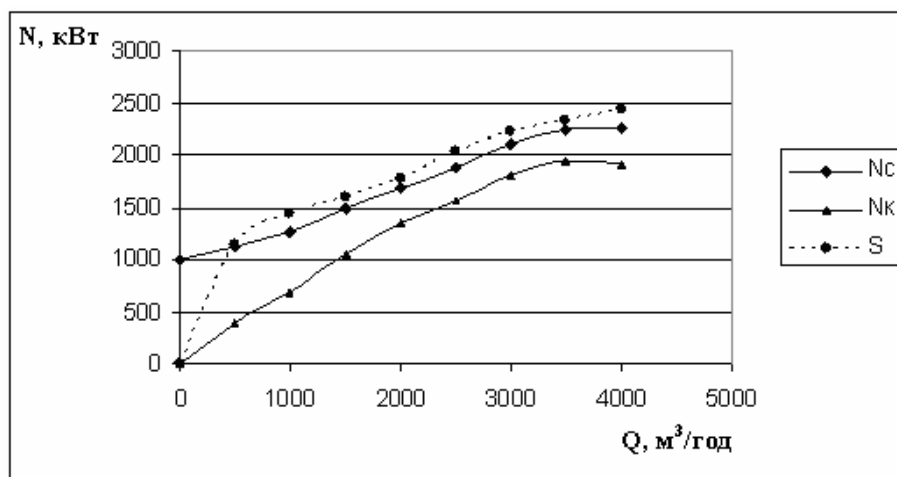


Рисунок 4 – Суміщені характеристики корисної, споживаної та повної потужностей НА

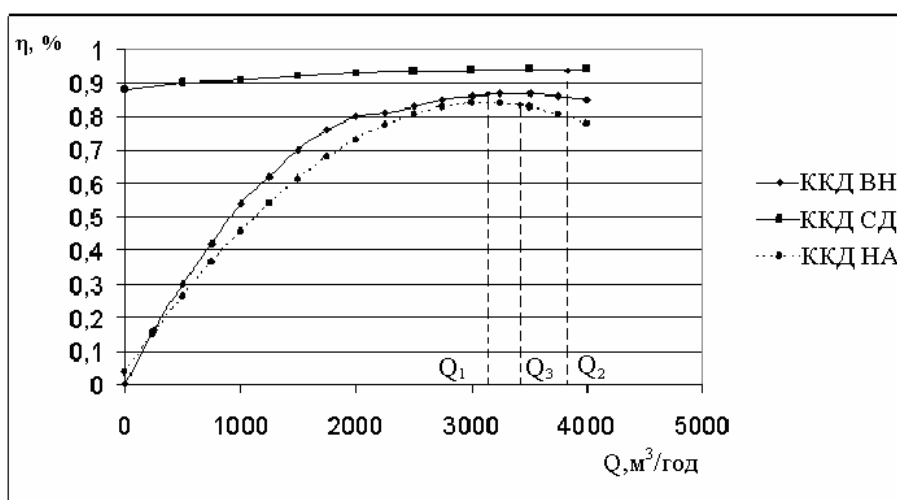


Рисунок 5 – Суміщені характеристики ККД насоса, електродвигуна та НА загалом

1. Розроблено рекомендації щодо узгодження режимних параметрів гідравлічних мереж та елементів НА.

2. Встановлено, що ККД СД та ККД ВН свого максимального значення набувають за різних значень витрати нафти, відмінних від паспортного для насоса.

3. Встановлено оптимальне значення витрати нафти, за якого ККД НА набудатиме максимального значення.

### Література

1 Меньшов Б.Г. Электрификация предприятий нефтяной и газовой промышленности. [Текст] / Б.Г.Меньшов, И.И.Суд. – М.: Недра, 1984. – 416 с.

2 Вершинин И.М. Влияние конструктивных и рабочих параметров лопастных гидромашин на критерий динамического подобия [Текст] / И.М.Вершинин // Изв. вузов СССР: Энергетика. – 1984. – № 7. – С.116-121.

3 Костышин В.С. Полиоптимальное управление электромеханическими переходными процессами перекачивающих станций магист-

ральных нефтепроводов [Текст] : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук : спец. 05.14.02 „Электрические станции (электрическая часть), сети, системы и управления ими” / Костышин Владимир Степанович ; Уральский политехнический институт. – Свердловськ, 1987. – 19 с.

4 Костишин В.С. Дискретно-неперервне керування усталеними режимами роботи електроприводних нафтоперекачувальних станцій / Костишин В.С., Сорохтей І.І. // Нафтова і газова промисловість. – 2008. - № 4. - С. 54 – 56.

5 Якимів Й.В. Типові технологічні розрахунки трубопровідного транспорту нафти і нафтопродуктів [Текст]: навч. посібник / Й.В. Якимів. – Івано-Франківськ: Факел, 2006. – 366 с.

Стаття надійшла до редакційної колегії  
18.11.09

Рекомендована до друку професором  
Г.Н. Семенцовим