

УДК 621.31:62.03

doi: 10.20998/2078-774X.2016.10.13

Г. І. КАНЮК, О. В. АНДРЕЄВ, А. М. ЧЕРНЮК, В. М. КНЯЗЄВА**АНАЛІЗ ЗАСОБІВ РЕГУЛЮВАННЯ ПАРАМЕТРІВ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ МАГІСТРАЛЬНИХ НАФТОПРОВОДІВ УКРАЇНИ**

АНОТАЦІЯ У роботі виконано аналіз засобів регулювання параметрів насосних агрегатів магістральних нафтопроводів України. Показано, що експлуатація систем магістральних нафтопроводів пов'язана з низкою технічних проблем, які обумовлені з вибором енергоефективного режиму роботи через нерівномірності перекачування нафти за певний проміжок часу. Наявні методи регулювання режимів роботи системи «насосне обладнання – магістральний нафтопровід» мають ряд недоліків, які необхідно враховувати при їх виборі на стадії проектування або в процесі експлуатації для певних умов. Запропоновано перспективний енергоефективний метод регулювання режимів роботи нагнітачів, заснований на мінімізації в реальному масштабі часу витрат потужності на привід і забезпечення максимальних значень ККД.

Ключові слова: магістральний насос, нафтопровід, методи регулювання, частотно-регульований привід.

G. KANYUK, A. ANDREEV, A. CHERNIYK, V. KNYAZEVA**ANALYSIS OF THE TOOLS USED TO CONTROL THE PARAMETERS OF PUMP UNITS INTENDED FOR OIL-TRUNK PIPELINES IN UKRAINE**

ABSTRACT It has been established that oil pipelines never operate in one mode with the maximum efficiency (defined by the project). The pipelines operate in the modes of a different efficiency, which is very often much lower than the potential output and this can be caused by irregular oil deliveries by oil-producing companies, a change in the freight flow, withdrawal for the repair of the portion of oil-transfer units and the removal of faults in the linear part, etc. In this case it is required to control operating conditions in oil transfer systems to maintain the mode specified by the chart of operating practices (COP). This paper analyzes the control tools of the parameters of oil pumps designed for oil-trunk pipelines in Ukraine. It is shown that the operation of the systems of oil – trunk pipelines faces many technological problems related to the choice of energy-efficient operating conditions due to the irregular oil transfer for the specified time period. Available methods of the control of operating conditions for the “pump equipment-oil trunk pipeline” system have many drawbacks that should be taken into account during their selection at the design stage or operation in specific conditions. A promising energy-efficient technique was suggested to control the operating conditions of superchargers, which is based on the minimization of drive power input and the assurance of the maximum values of efficiency factor.

Key words: oil-trunk pump, oil pipeline, control technique, and the frequency-controlled drive.

Актуальність

Україна є одна з найбільших транзитних держав Європи. Значну частину в структурі загального транзиту товарів становить транзитне транспортування нафти. Річний обсяг транзитного транспортування нафти територією нашої країни становив на 2014 рік близько 15 млн. тонн з 16,9 млн. тонн загального її транспортування.

Система магістральних нафтопроводів України включає 19 нафтопроводів діаметром до 1220 мм загальною довжиною близько 4800 км, 51 нафтоперекачувальну станцію (НПС), роботу яких забезпечують 176 насосних агрегатів, одиничною продуктивністю до 12500 м³/год. Сумарна електрична потужність електроприводів становить близько 360 МВт. Пропускна здатність системи дорівнює 114 млн. т/рік на вході і більше 56 млн. т/рік на виході.

Загальна номінальна ємність 11 резервуарних парків системи магістральних нафтопроводів більше 1000 тис. м³ [1].

Зниження енергоємності процесу транспортування нафти магістральними нафтопроводами (МНП) при зазначених вище обсягах дозволить отримати значний економічний ефект в рамках

галузі і підвищити конкурентоспроможність українських підприємств транзиту нафти.

Основним споживачем енергії нафтотранспортної системи України є електроприводи насосних агрегатів нафтоперекачувальних станцій. В якості електроприводів використовуються переважно асинхронні і синхронні електродвигуни. Енергетичні характеристики роботи електроприводу визначається коефіцієнтом корисної дії електродвигуна. Паспортний коефіцієнт корисної дії (ККД) електропровідних двигунів нафтових магістральних насосів (наприклад серії НМ) знаходиться в межах від 79 до 90 %. Однак ці значення характеризують роботу двигуна в штатному (найбільш енергоефективному) режимі і не враховують значного зниження ККД при зміні режиму роботи насоса.

Аналіз причин відхилень режимів роботи системи магістрального нафтопроводів важливий не тільки з точки зору перевищення допустимих тисків або підтримки мінімально необхідного, але і також з позиції споживання електроенергії, зокрема раціонального її використання.

Мета роботи

Аналіз режимів роботи нафтоперекачувальних насосів з регульованим приводом, енерговитрат, що забезпечують зниження, при транспорті нафти.

Огляд існуючого стану

На практиці нафтопроводи ніколи не працюють тільки на одному режимі з максимальною (визначеною проектом) продуктивністю. Робота трубопроводів відбувається на режимах з різною продуктивністю, часто значно менше проектною, що може бути обумовлено нерівномірністю поставок нафти видобувними компаніями, зміною вантажопотоків, виведенням в ремонт частини перекачувальних агрегатів, усуненням дефектів на лінійній частині і т.п. При цьому виникає необхідність в регулюванні режимів роботи НПС з метою підтримання режиму заданого картами технологічних режимів (КТР).

Опис методів регулювання режиму роботи магістрального нафтопроводу наводиться в багатьох працях, пов'язаних з дослідженням і описом систем трубопровідного транспорту.

Зокрема, існує класифікація методів регулювання режиму роботи НПС, способи їх здійснення і аналіз ефективності їх застосування в конкретних умовах експлуатації.

Виходячи з рівняння балансу напорів, для магістральних нафтопроводів, методи регулювання можна розділити на методи, пов'язані зі зміною параметрів НПС:

- зміна кількості працюючих насосів НПС;
- зміна схеми з'єднання насосів на НПС;
- заміна роторів (робочих коліс) насосів;
- зміна діаметра (обточуванням) робочого колеса насосів;
- регулювання зміною частоти обертання валу насоса, і методи, пов'язані зі зміною параметрів магістрального трубопроводу:
 - дроселювання;
 - перепуск частини рідини у всмоктувальну лінію (байпасування);
 - застосування протитурбулентних присадок [3].

Зміна кількості працюючих насосів і зміна схеми з'єднання насосів на НПС. Дані методи є ступінчастими і задають варіанти дискретних змін витрат і тиску. Для варіантів включення магістральні насоси розраховуються робочі режими. Крім цього, необхідно враховувати крутизну гідравлічних характеристик ділянок магістральних нафтопроводів, які працюють при такій схемі регулювання. У роботах А. Г. Колпакова [3] і А. А. Коршака [2] розглянуті випадки, коли використовуються паралельне і послідовне з'єднання двох однакових відцентрових насосів при роботі їх на ділянку наф-

топроводу з різними гідравлічними характеристиками. На підставі аналізу зміни подачі, напорів і ККД відцентрових насосів робиться висновок про доцільність послідовного з'єднання насосів при роботі на ділянку нафтопроводу з характеристикою (на трубу меншого діаметру або більшої довжини). Паралельна схема з'єднання відцентрових насосів вигідна при роботі на ділянку з пологою характеристикою (на трубу більшого діаметра або меншої довжини).

Якщо розглядати геодезичні умови траси магістрального нафтопроводу, то для рівнинного розташування магістрального нафтопроводу і НПС найбільш прийнятним, з точки зору енергоефективності, є послідовне з'єднання відцентрових насосів, а на НПС перед ділянкою з великим статичним перепадом слід встановлювати натиск насоси, включені паралельно [4]. Даний метод управління характерний високими втратами електроенергії на перемикання між двома режимами і відносно низьким ККД з огляду на те, що продуктивність насосів. Рівна продуктивності трубопроводу, далека від значення номінальної продуктивності, при якій досягається максимальний ККД насоса.

Заміна і зміна діаметра (обточуванням) робочого колеса насосів. Більшість магістральних відцентрових насосів укомплектовано змінними робочими колесами на 0,5; 0,7 і 1,25 від номінальної подачі, які мають різні гідравлічні характеристики [2]. Такий метод регулювання насосів можна вважати плавним, так як часта зміна коліс насосів практично неможлива [3].

Метод регулювання обточуванням робочих коліс відцентрових насосів полягає в зменшенні (обточуванням) зовнішнього діаметра робочих коліс. Даний метод має великий недолік – не можна повернути колишній діаметр робочого колеса, крім того, обточування не допускається більш ніж на 20 %, при цьому ККД падає не більше ніж на 1–3 % [6].

Дроселювання. Режим роботи НПС дроселюванням, полягає в зміні опору потоку рідини шляхом звуження площі його поперечного перерізу за допомогою регуляторів тиску, встановлених на вузлах регулювання НПС.

Дроселювання здійснюють в напірному трубопроводі, так як дроселювання у всмоктуючому трубопроводі пов'язано з можливістю виникнення кавітації [6].

Даний метод регулювання неекономічний, так як НПС непродуктивно розвиває зайвий натиск, що збільшує вартість транспорту нафти. Втрати при дроселюванні можуть досягати 15–20 % [6] від потужності витраченої електроенергії на привід насосів.

Метод дроселювання застосовують для насосів, що мають полого напірну характеристику, причому втрати енергії на дроселювання не по-

винні перевищувати 2 % енерговитрат на перекачку [2].

Перепуск частини рідини у всмоктувальну лінію (байпасування). Метод регулювання перепуском складається в перепуску на частини рідини з виходу насоса знову на його вхід. При цьому відбувається зміна характеристики трубопровідної системи, на яку працює насос і змінюється місце розташування робочої точки НПС. Це тягне за собою зміну режиму роботи нафтопроводів – та й додаткові втрати енергії. При цьому продуктивність нафтопроводу завжди тільки знижується.

У практиці експлуатації систем магістральних нафтопроводів даний метод застосовується рідко, і зазвичай прийнятний на головних НПС, де пропуск здійснюється через резервуари [4].

Застосування протитурбулентних присадок. Введення спеціальних протитурбулентних присадок дозволяє зменшити гідравлічний опір магістрального нафтопроводу за рахунок гасіння турбулентних пульсацій. Але при проходженні через відцентрові насоси НПС структура протитурбулентних присадок руйнується.

Регулювання зміною частоти обертання валу насоса. Одним з найбільш ефективних і прогресивних методів регулювання режимів роботи магістральних нафтопроводів є частотне регулювання швидкості обертання робочих коліс нафтових магістральних відцентрових насосів.

При регулюванні режиму роботи НПС зміною частоти обертання робочого колеса насосів відбувається зміна $H-Q$ характеристик ВН відцентрований насос без зміни ККД. При зміщенні напірної характеристики відцентрового насоса пропорційно зміщується характеристика ККД. Тому цей метод більш економічний, але його реалізація вимагає додаткових капітальних витрат на придбання і монтаж обладнання, за допомогою якого можна змінювати частоту обертання робочого колеса.

Застосування даного методу на НПС систем магістральних нафтопроводів дозволяє полегшити синхронізацію роботи станцій і уникнути гідравлічних ударів в нафтопроводі [2].

Зміна частоти обертання робочого колеса відцентрового насоса можливо здійснити в наступних трьох випадках [2, 3]:

- застосування двигунів зі змінною частотою обертання (газова турбіна);
- установка на валу насосів спеціальних муфт з регульованим коефіцієнт ковзання (гідравлічних, електромагнітних, струмовихровий);
- застосування перетворювачів частоти змінного струму електродвигунів.

В даний час перетворювачі частоти можуть управляти електродвигунами по двох каналах, шляхом зміни частоти і напруги. Напруга може регулюватися двома способами: амплітудо-імпульсною модуляцією (АІМ) напруги в ланці

постійного струму і широто-імпульсною модуляцією (ШІМ) випрямленої напруги за допомогою ключів інвертора.

Дослідження в області можливості експлуатації частотно-регульованого приводу (ЧРП) магістральних насосних агрегатів і практика їх застосування дозволяють виділити ряд особливостей і переваг застосування даного типу приводу. Виражаються в наступному:

1. При відсутності ЧРП магістральних насосних агрегатів (МНА) в більшості випадків на НПС регулюють використання методу дроселювання, що має на увазі необхідність установки спеціального вузла дроселюючих заслінок, а при процесі дроселювання частина напору, створюваного МНА, «знищується» цим процесом. Застосування ЧРП дає можливість ліквідації вузла дроселювання і агрегати підлаштовуються під необхідний режим роботи, без створення перевищення тиску для подальшого регулювання. Зміна частоти з ЧРП здійснюється в широкому діапазоні без істотного зниження ККД МНА. Економія витрат при застосуванні ЧРП МНА істотна в порівнянні з дроселюванням.

2 Пуск і зупин МНА, обладнаних ЧРП, відбувається в плавному режимі, при якому відсутній імпульсний характер навантаження на електромережі, МНА, засоби регулювання автоматики (ЗРА) і трубопровідну обв'язку.

3 Плавний вихід на стаціонарний режим перекачування збільшує залишковий ресурс магістрального нафтопроводу.

4 Застосування частотно-регульованого приводу в магістральних насосних агрегатах доцільно при великій нерівномірності перекачування нафти по трубопроводу.

Проблема вибору режиму роботи при проектуванні магістрального нафтопроводу входить в основну задачу підбору параметрів і конфігурації самої нафтопровідної системи.

В основі вибору режимів роботи систем магістральних нафтопроводів, крім планованих обсягів перекачування, лежать і норми споживання електроенергії.

Для визначення оптимального поєднання параметрів з технічної і економічної точок зору складають техніко-економічне обґрунтування. Вибір оптимального режиму роботи проводиться на основі оптимізаційної задачі, за критерій оптимальності зазвичай беруться питомі енерговитрати на перекачування одиниці об'єму (маси) продукції.

Основним типом приводу на нафтоперекачувальних станціях є електродвигун, тому потреба станцій, головним чином, полягає в електроенергії. Електроенергія витрачається як безпосередньо на перекачку нафти, так і на власні потреби. В електродвигуни енергія електрики переходить в механічну, що дається по валу на відцентровий насос, де

енергія перетворюється в гідравлічну, передану по трубах.

При аналізі розподілу енергії необхідно розглядати систему магістральних і підпірних насосів, електричний привід до них і систему підвідних сітей, а також гідравлічні втрати енергії в об'язки і вузлах нафтоперекачувальних станцій і магістрального нафтопроводу.

В даний час, є актуальним питання контролю споживання електроенергії при процесі перекачування.

Карти технологічних режимів складаються для режимів з тим же набором насосного обладнання, в яких продуктивність відрізняється більш ніж на 5 % за рахунок зміни фізичних параметрів нафти. У роботі П. В. Федорова [6] пропонується розширення технологічних карт з включенням в неї тиску на вході і виході вузла –пуску очисних скребків і діагностичних пристроїв, температури нафти на вході і виході НПС, в'язкості і щільності, параметри, пов'язані зі станом роботи обладнання НПС, для проведення аналізу і оцінки ефективності роботи на режимі і технічного стану обладнання.

Виходячи з того, що режим роботи системи магістрального нафтопроводу визначається деяким набором параметрів, які можуть змінюватися в широких діапазонах, можна зробити висновок про те, що існують такі режими роботи, які забезпечують мінімізацію витрат на перекачку одиниці об'єму (маси) нафти, яка утворює мінімально і максимально допустимим характеристикам надійності і безпеки. У зв'язку з цим проводилися дослідження в області оптимізації режимів транспортування.

При роботі магістрального нафтопроводу на дискретних режимах, розраховуються питомі енерговитрати для кожного з режимів. Потім будується графік залежності питомих енерговитрат від продуктивності нафтопроводу, після цього через мініформальні значення питомих енерговитрат при кожних витратах проводиться лінія. Вузлові точки будуть відповідати раціональним режимам експлуатації магістрального нафтопроводу. Даний метод визначення раціонального режиму транспортування не враховує критерій надійності трубопроводної системи, а саме не вчиняються малоциклові навантаження, що виникають при перемикаванні режимів.

В частині управління режимами роботи НПС, шляхом зміни робочого колеса вирішується завдання оптимізації. Завдання пошуку оптимального режиму експлуатації системи магістрального нафтопроводу, обладнаного магістральними насосними агрегатами з різними характеристиками за умови регулювання системи, за допомогою обточування робочих коліс насосів, методом послідовного поліпшення планів. Завдання зводиться до

вибору оптимальних діаметрів робочих коліс насосів.

У роботі А. П. Туманського [7] розглянуто питання оптимізації технології регулювання режимів транспортування по магістральним нафтопродуктопроводам шляхом використання на насосних станціях магістральних насосних агрегатів з частото-регульованим електроприводом за допомогою методу динамічного програмування.

Різноманітність методів регулювання і варіантів оптимізації режиму роботи системи магістрального нафтопроводу дозволяє зробити висновок про неоднозначність проблеми і варіативності критеріїв вибору режиму.

Основний матеріал

В останні кілька років з'явилася велика кількість публікацій, присвячені методам оптимізації роботи магістральних нафтопроводів з використанням ЧРП магістральних насосів [9–11]. Загальноприйнятим є застосування в якості енергетичного критерію оптимізації мінімуму питомих витрат електроенергії, тобто витрат на перекачку 1 тонн нафти (частіше в вартісному вираженні), за певний період часу.

Енергетичні критерії оптимізації включають в свій склад екстремум цільової функції.

При частотно-регульованому приводі магістральних насосів (ЧРМ МН) алгоритм оптимізації і вид цільової функції ускладнюються, в порівнянні з нерегульованими МН, через необхідність урахування впливу зміни частоти обертання на вигляд цільової функції, а також на ряд технологічних обмежень, таких як: допустимі тиск, напори і обмеження по ККД електродвигуна і МН, на допустимі частоти обертання МН та інші.

Завдання ускладнюється ще й тим, що змінні залежать одна від одної, так як швидкість обертання різних МН технологічної ділянки пов'язані рівнянням балансу напорів, що відображає рівність напору. Розвивається усіма працюючими насосами ділянки і напору, споживаного трубопроводом.

Рівняння балансу напорів технічної ділянки

$$H_n + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{n_{Mi}} H_{Mik} = \sum_{i=1}^n (h_{ti} + h_{Mi} + \Delta h_{др.i} + \Delta z_i) + h_{зал}, \quad (1)$$

де H_n – напір, що розвивається підпірними насосами; n – число лінійних ділянок (кількість працюючих НПС); n_{Mi} – число працюючих МН (в тому числі з ЧРП), встановлених на i -тій НПС; H_{Mik} – напір, що розвивається k -тим МН на i -тій НПС; h_{ti} – втрати напору на тертя на i -тій лінійній

ділянці трубопроводу; h_{mi} – втрати в місцевих опорах i -тої лінійної ділянки; $\Delta h_{др,i}$ – втрати напора на регуляторі тиску i -тій НПС; Δz_i – різниця геодезичних відміток на i -тій лінійній ділянці; $h_{зал}$ – залишковий напір в кінці технологічної ділянки.

У рівнянні (4) $h_{\tau i}$ визначаються за формулою Дарсі-Вейсбаха (2) або за узагальненою формулою Лейбензона (3):

$$h_{\tau} = \lambda \frac{L}{D} \frac{w^2}{zg}, \quad (2)$$

$$h_{\tau} = \beta \frac{v^m Q^{z-m}}{D^{5-m}}, \quad (3)$$

де λ – коефіцієнт втрат на тертя, що залежить від режиму течії і відносно шорсткості внутрішньої поверхні трубопроводу, визначається за відомими формулами: Стокса $\lambda = 64/Re$ – для ламінарного режиму течії; Блазиуса $\lambda = 0,3164/Re^{0,25}$ для гідравлічно гладких труб; Альтшуля $\lambda = 0,11[68/Re + k_e/D]^{0,25}$ – універсальна формула турбулентного режиму течії; L і D – довжина і внутрішній діаметр трубопроводу; w – середня швидкість течії; Q – об'ємна продуктивність трубопроводу; $Re = wD/\nu$ – число Рейнольдса; ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості; k_e – еквівалентна шорсткість; β і m – коефіцієнти, що залежать від режиму течії.

В роботі [9] пропонується цільова функція, що враховує викладені підходи і обмеження

$$F(u, y) = \sum_{i=1}^n \left(\frac{Q_i \rho g H_i n_{mi} c t_i}{\eta_i \eta_{пч} \eta_{едв}} \right) \rightarrow \min, \quad (4)$$

де u – безліч змінних, що враховує кількість працюючих МН (в тому числі ЧРП); y – безліч змінних, що враховує напори, що розвиваються МН; Q_i – задана продуктивність перекачування; ρ – щільність перекачуваної нафти; H_i – напір насосного агрегату на i -тий НПС; c – тариф на електроенергію; t_i – час роботи нафтопроводу в заданому режимі перекачування; η_i – ККД МН, причому $\eta_i = f(H_i)$ – для МН з ЧРП залежать від частоти обертання; $\eta_{пч}$ – ККД ЧРП; $\eta_{едв}$ – ККД електродвигуна.

Представляється доцільним до знаходження мінімуму цільової функції розробити карти технологічних режимів (КТР) для заданих продуктивності трубопроводу, тобто встановити необхідну кількість НПС і працюючих насосних агрегатів. Методики і програми розрахунку на ЕОМ раціо-

нальних режимів перекачування для формування КТР розроблені та застосовуються в наш час методики. Автори роботи [9] для пошуку мінімуму цільової функції в такій постановці завдання пропонують використовувати відомий симплекс-метод (метод спрямованого перебору). Рекомендуються і інші методики [10, 11].

Таким чином, оптимізація режиму роботи магістрального нафтопроводу, метою якої є забезпечення заданою продуктивністю перекачування при дотриманні критерію оптимізації, зводиться до розробки алгоритму управління частотами обертання всіх МН з ЧРП, іншими словами до розробки системи енергозберігаючого автоматизованого управління процесом транспортування в цілому.

Авторами розроблена автоматизована система енергозберігаючого управління насосними установками електростанцій [11].

В якості регульованих вхідних ($x_{вх}$) параметрів система включає положення (переміщення), яка регулює засувки ($x_{рз}$) і частоту обертання n ротора нагнітача. Ці параметри можуть цілеспрямовано змінюватися виконавчими механізмами автоматизації систем управління (АСУ) відповідно до алгоритмів, які формувались регулятором АСУ.

Вектор вихідних параметрів ($x_{вих}$) включає значення тиску (P) і подачі (Q), що створюються нагнітачем, корисну і споживану (N) потужності і ККД (η) насоса.

Вектор внутрішніх ($x_{вн}$) параметрів включає характеристики агрегату і сполученої з ними гідравлічної мережі.

Вектор зовнішніх впливів (ξ) враховує зміни температури рідини і пов'язана з цими зміна її фізичних властивостей (головним чином в'язкості).

В результаті такого підходу авторами роботи [11] побудовані: математична модель управління насосом $x_{вих} = f_{вих}(x_{рз}, n, x_{вх}, \xi)$; модель (функція) енергетичних втрат $x_{втр} = f_{втр}(x_{рз}, n, x_{вх}, \xi)$; модель (функція) керуючого впливу $x_{вх} = f_{вх}(x_{вих}, x_{вх}, x_{втр}, \xi)$ і модель управління

$$Q_H^z \frac{\rho}{2} \left[\frac{\lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta_M}{S^z} + \frac{\xi_{рз}}{S_{рз}^z} \right] = \frac{P_H}{\rho g h_r + (P_1 - P_0)}, \quad (5)$$

де S – площа перерізу трубопроводу; $S_{рз}^z$ – площа прохідного перерізу тієї, що регулює засувки, залежить від її переміщення $x_{рз}$; h_r – геометрична висота підйому рідини; P_1 і P_0 – тиски в напірно-

му і всмоктуючому резервуарах; позначення інших величин, що входять в (4) наведені вище.

Вирішуючи рівняння (5) щодо P_H , маємо

$$P_H = C_1 + Q^2 \left(C_2 + \frac{C_3}{S_{p3} x_{p3}^2} \right), \quad (6)$$

де $C_1 = \rho g h_T + (P_1 - P_0)$;

$$C_2 = \frac{\rho}{2} \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum \zeta_M \right) / S^2, \quad C_3 = \frac{\rho}{2} \xi_{p3}.$$

Частоту обертання насоса пропонується визначати так

$$n = C_4 (C_5 P)^{0,75} Q^{0,5}, \quad (7)$$

де $C_4 = \left(\frac{Hg}{H} \right)^{0,75}$; $C_5 = (\rho \bar{H})^{-1}$; \bar{H} – коефіцієнт напору.

Рівняння (6) і (7) встановлюють залежності між основними параметрами насосної установки – тиском P , подачею Q параметрами керівників дій – частотою обертання насоса n і положенням регулюючої засувки x_{p3} . Таким чином рівняння (6) і (7) є моделлю рівняння.

В роботі [11] наводиться також функція енергетичних втрат (втрат потужності), що враховує залежність подачі насоса від двох регульованих параметрів – частоти обертання n і положення регулюючої засувки. Враховуються також повний, об'ємний і механічний ККД, які є функціями вихідних параметрів насоса Q і P одного з керуючих дій – частоти обертання.

Висновки

1 Експлуатація систем магістральних нафтопроводів зв'язана з рядом технічних проблем, пов'язаних з вибором енергоефективного режиму роботи через нерівномірності перекачування нафти за певний проміжок часу.

2 Наявні методи регулювання режимів роботи системи «насосне обладнання для магістральний нафтопровід» мають ряд недоліків, які необхідно враховувати при їх виборі на стадії проектування або в процесі експлуатації для певних умов.

3 Вибір режиму роботи системи «насосне обладнання – магістральний нафтопровід» здійснюється за критерієм питомих енерговитрат на одиницю перекачування об'єму (маси) нафти на стадії проектування, з урахуванням капітальних витрат на придбання і монтаж необхідного обладнання.

4 Перспективним методом регулювання вважається метод регулювання частоти обертання робочого колеса відцентрового насоса, за допомогою частотно-регульованого приводу (ЧРП) магістральних насосних агрегатів (МНА). У зв'язку з цим є недостатність розробки питань регулювання часу процесу запуску МНА.

5 Одним з варіантів оптимізації режиму роботи магістрального нафтопроводу, який недостатньо висвітлений в літературі, є максимізація коефіцієнта корисної дії магістрального насосного агрегату.

6 У критерії критерій оптимізації роботи технологічної ділянки нафтопроводу необхідно включити облік зниження витрат на технічне обслуговування і ремонт, пов'язане із застосуванням ЧРП.

Список літератури

- 1 **Канюк, Г. І.** Аналіз резервів енергозбереження при управлінні насосними агрегатами нафтоперекачувальних станцій України [Текст] / **Г. І. Канюк, А. В. Андрєєв, А. Ю. Мезеря, В. М. Князєва** // Енергозбереження. Енергетика. Енергоаудит. – 2015. – № 9(140). – С. 36–42.
- 2 **Коршак, А. А.** Проектування і експлуатація газонафтопроводів [Текст] : учеб. для вузів / **А. А. Коршак, А. М. Нечваль.** – СПб : Надра, 2008. – 488 с.
- 3 **Колпаков, Л. Г.** Експлуатація магістральних насосів [Текст] : навч. посібник / **Л. Г. Колпаков.** – Уфа : УГНТУ, 1988. – 116 с.
- 4 **Твердохліб, І. Б.** Нафтові магістральні насоси: паралельне або послідовне включення на НПС [Текст] / **І. Б. Твердохліб, Г. В. Візенков, А. І. Бірюков, Л. М. Беккер** // Наука і технології трубопровідного транспорту нафти і нафтопродуктів. – 2011. – № 2. – С. 17–19.
- 5 **Колпаков, Л. Г.** Відцентрові насоси магістральних нафтопроводів [Текст] / **Л. Г. Колпаков.** – М. : Недра, 1985. – 184 с.
- 6 **Федоров, П. В.** Удосконалення методів планування технологічних режимів і контролю процесу транспортування нафти магістральними нафтопроводами [Текст] : дис. ... канд. техн. наук / **П. В. Федоров.** – Ухта, 2011. – 130 с.
- 7 **Туманський, А. П.** Оптимізація режимів транспортування вуглеводневих рідин трубопроводами з проміжними насосними станціями, обладнаними частотно-регульованим приводом [Текст] : дис. ... канд. техн. наук : 25.00.19 / **Туманський Олександр Петрович.** – М., 2008. – 137 с.
- 8 **Беккер, Л. М.** Розрахунок оптимального режиму роботи нафтопроводу, обладнаного частотно-регульованим приводом [Текст] / **Л. М. Беккер, К. Ю. Штукатурів** // Наука і технології трубопровідного транспорту нафти і нафтопродуктів. – 2013. – № 3(11). – Режим доступу: giprotruboprovod.transneft.ru/u/artikles_file/273/Bekker_2pdf. – Назва з екрану. – 11.12.2015.
- 9 **Шабанов, В. А.** Цільові функції і критерії оптимізації перекачування нафти по нафтопроводах при час-

- тото-регульованому електроприводі магістральних насосів [Електронний ресурс] / **В. А. Шабанов, О. В. Бондаренко** // Критичною масою наукових журналів Нафтогазова справа. – 2012. – № 4. – Режим доступу: http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_12.pdf – Назва з екрану. – Назва з екрану. – 11.12.2015.
- 10 **Шабанов, В. А.** Алгоритми оптимізації частото-регульованих електроприводів магістральних насосів методом покоординатного спуску [Текст] / **В. А. Шабанов, З. Х. Павлова** // Критичною масою наукових журналів Нафтогазова справа. – 2012. – № 4. – Режим доступу: http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_11.pdf – Назва з екрану. – 11.12.2015.
 - 11 **Канюк, Г. И.** Модель энергосберегающего управления нагнетательными установками тепловых электростанций [Текст] / **Г. И. Канюк, А. Ю. Мезеря, И. П. Лаптинов** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2014. – № 12(1055). – С. 90–97. – Бібліогр.: 3 назв. – ISSN 2078-774X.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Kanyuk, H. I., Andryeyev, A. V., Mezerya, A. Yu. and Knyazyeva, V. M.** (2016), "Analiz rezerviv enerhosberezhenya pry upravlinni nasosnyu ahrehatamy naftoperekachuval'nykh stantsiy Ukrayiny", *Energy saving. Power eneeering. Energy audit*, no. 9(140), pp. 36-42.
- 2 **Korshak, A. A., Nechval', A. M.** (2008), *Planning and exploitation of oil pipeline*, Nadra, St. Petersburg, Russia.
- 3 **Kolpakov, L. H.** (1988), *UHNTU Planning and exploitation of oil*, УГНТУ, Ufa, Russia.
- 4 **Tverdokhlib, I. B., Vizenkov, H. V., Biryukov, A. I. and Bekker, L. M.** (2011), "Petroleum main pumps: parallel or successive including on НПС", *Science and technologies of pipeline transport of oil and oil products*, no. 2, pp. 17–19.
- 5 **Kolpakov, L. H.** (1985), *Chempumps of main oil pipelines*, Nedra Moscow, Russia.- 1985. – 184 c.
- 6 **Fedorov, P. V.** (2011), "Improvement of methods of planning of the technological modes and control of process of transporting of oil by main oil pipelines", Ph.D. Thesis.
- 7 **Tumans'kyu, A. P.** (2008), "Optimization of the modes of transporting of hydrocarbon liquids by pipelines with the intermediate pumping stations, equipped by the frequency-managed occasion", Ph.D. Thesis,
- 8 **Bekker, L. M. and Shtukaturiv, K. Yu.** (2013), "Calculation of the optimal mode of operations of the oil pipeline equipped by the occasion", *Science and technologies of pipeline transport of oil and oil products*, no. 3(11), available at: giprotruboprovod-transneft.ru/u/artikles_file/273/Bekker_2pdf (Accessed 11 December 2015).
- 9 **Shabanov, V. A. and Bondarenko, O. V.** (2012), "Objective functions and criteria of optimization of pumping-over of oil for oil pipelines at the частото-регульованому electromechanic of main pumps", *By critical mass of scientific magazines Oil and gas business*, no. 4, available at: http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_12.pdf (Accessed 11 December 2015).
- 10 **Shabanov, V. A., Pavlova, Z. Kh.** (2012), "Algorithms of optimization of the electromechanics of main pumps by the method of the lowering", *By critical mass of scientific magazines Oil and gas business*, no. 4, available at: http://www.ogbus.ru/authors/Shabanov/Shabanov_11.pdf (Accessed 11 December 2015).
- 11 **Kanyuk, G. I., Mezerya, A. Yu. and Laptinov I. P.** (2014), "A Model of Energy Saving Control Using the Discharge Units of Thermal Power Stations", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 12(1055), pp. 90–97, ISSN 2078-774X.

Відомості про авторів (About authors)

Cherniyk Artem – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Department of Automations of power **Канюк Геннадій Іванович** – доктор технічних наук, професор, декан енергетичного факультету, Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003; тел. +38 (057) 733-79-14, e-mail: gennadiyu-kanyuk@rambler.ru, ORCID 0000-0003-1399-9039.

Kanyuk Gennady – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Energy, Ukrainian Engineering and Pedagogics Academy, Str. University, 16, Kharkov, Ukraine, 61003.

Андреев Олександр Віталійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Теплоенергетики та енергозберігаючих технологій», Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003; e-mail: vknojzeva@bk.ru

Andreev Aleksandr – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Department of power engineering and energy saving technologies, Ukrainian Engineering and Pedagogics Academy, Str. University, 16, Kharkov, Ukraine, 61003.

Чернюк Артем Михайлович – кандидат технічних наук, доцент кафедри «Автоматизації енергетичних процесів», Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003; e-mail: ach2@uandex.ru, ORCID 0000-0003-2046-8754.

Cherniyk Artem – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Department of Automations of power processes Automations of power processes, Ukrainian Engineering and Pedagogics Academy, Str. University, 16, Kharkov, Ukraine, 61003.

Князева Вікторія Миколаївна – аспірант кафедри «Теплоенергетики та енергозберігаючих технологій», Українська інженерно-педагогічна академія, вул. Університетська, 16, м. Харків, Україна, 61003; тел. +38 (057) 733-78-03, (096) 764-40-15, e-mail: vknojzeva@bk.ru, ORCID 0000-0002-2452-9692.

Knyazeva Viktoriya – Graduate student of power engineering and energy saving technologies, Ukrainian Engineering and Pedagogics Academy, Str. University, 16, Kharkov, Ukraine, 61003.

Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:

Канюк, Г. І. Аналіз засобів регулювання параметрів насосних агрегатів магістральних нафтопроводів України [Текст] / **Г. І. Канюк, О. В. Андрєв, А. М. Чернюк, В. М. Князева** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 10(1182). – С. 85–92. – Бібліогр. : 11 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.10.13.

Please cite this article as:

Kanyuk, G., Andreev, A., Cherniyk, A. and Knyazeva, V. (2016), "Analysis of the Tools Used to Control the Parameters of Pump Units Intended for Oil-Trunk Pipelines in Ukraine", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, no. 10(1182), pp. 85–92, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2016.10.13.

Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Канюк, Г. І. Аналіз засобів регулювання параметрів насосних агрегатів магістральних нафтопроводів України [Текст] / **Г. І. Канюк, О. В. Андрєв, А. М. Чернюк, В. М. Князева** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 10(1182). – С. 85–92. – Бібліогр. : 11 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.10.13

АННОТАЦИЯ В работе выполнен анализ средств регулирования параметров насосных агрегатов магистральных нефтепроводов Украины. Показано, что эксплуатация систем магистральных нефтепроводов сопряжена с рядом технических проблем, обусловленных выбором энергоэффективного режима работы по причине неравномерности перекачки нефти за определённый промежуток времени. Имеющиеся методы регулирования режимов работы системы «насосное оборудование – магистральный нефтепровод» имеют ряд недостатков, которые необходимо учитывать при их выборе на стадии проектирования или в процессе эксплуатации для определённых условий. Предложен перспективный энергоэффективный метод регулирования режимов работы нагнетателей, основанный на минимизации в реальном масштабе времени затрат мощности на привод и обеспечении максимальных значений КПД.

Ключевые слова: магистральный насос, нефтепровод, методы регулирования, частотно-регулируемый привод.

Надійшла (received) 21.01.2016