

Енергетика, контроль та діагностика об'єктів нафтогазового комплексу

УДК 622.24.054.3

ШЛЯХИ ЕНЕРГООЩАДНОСТІ В ЕЛЕКТРОБУРІННІ

А.О.Семенцова, А.В.Завалій

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48003

e-mail: epeo@nuing.edu.ua

Приведены основные направления экономии электроэнергии на буровых установках с электробурями. Показано, каким образом влияет неправильный выбор мощности двигателя электробура на потери электроэнергии. Установлено, что наиболее эффективным является частотно-регулируемый погруженный электропривод, обеспечивающий проведение процесса бурения скважин с меньшими потерями электроэнергии. Доказано, что важной проблемой является разработка, изготовление и внедрение современных средств контроля энергетических параметров. Это обеспечит создание системы стабилизации электропотребления в процессе электробурения и эффективное использование буровых долот.

В умовах обмеження власних енергоресурсів в Україні, коли вирішується питання про необхідність капіталовкладень чи у збільшення виробництва електроенергії чи в енергозаощадження, то у більшості випадків воно позитивно вирішується на користь інвестицій у енергозаощадження. Тому підвищенням енергозаощадження у процесі буріння глибоких свердловин на нафту і газ електробурами, які споживають значну кількість електроенергії, та створення системи стабілізації електроспоживання є актуальним науково-практичним завданням.

Проте аналіз результатів останніх досліджень [1, 2, 4, 5 та ін.] свідчить, що у процесі буріння потужність занурних електроприводів використовується не повністю, що зумовлено зношуванням шарошок долота і незмінною величиною осевої сили на долото на певній ділянці свердловини, коли параметри режиму буріння постійні ($F=\text{const}$, $Q=\text{const}$, $n=\text{const}$). Відсутність засобів контролю енергетичних параметрів процесу електробуріння не дозволяє зробити замкнену систему стабілізації потужності електроспоживання занурним двигуном.

Basic directions of conservation energy of borings options are resulted with electric bores. It is shown how the wrong choice of engine of electric drill power influences on the losses of electric power. It is set that most effective is frequency – which allows to provide the managed submerged electro-occasion process of well-boring with the less losses of electric power. It is proved that important is development, making and introduction of modern controls power parameters. It will provide creation of the system of stabilizing of electro-consumption during electric drill and the effective use of boring chisel.

Тому метою даної роботи є аналіз шляхів підвищення енергозаощадження в електробурінні. Ця мета вимагає вирішення таких логічно пов'язаних задач: bit

- проаналізувати вплив завантаження занурного електродвигуна на величину споживаної реактивної потужності та енергетичні параметри – ККД та $\cos\varphi$;

- з метою енергозаощадження в процесі електробуріння розробити рекомендації щодо впровадження частотно-регульованого занурного електропривода та замкненої системи стабілізації електроспоживання;

- розробити методику вдосконалення засобів контролю енергетичних параметрів занурних електроприводів та здійснити її практичну реалізацію у системі стабілізації потужності на валу двигуна для електробуріння.

Сучасний розвиток нафтогазової промисловості України вимагає енергозаощадження не тільки під час видобування енергоресурсів, їх перетворення, транспортування, але і під час споживання електроенергії.

Існує багато напрямків енергозаощадження, але головними для електробуріння є такі:

- правильний вибір потужності занурного електродвигуна;
- розробка і впровадження частотно-регульованого занурного електропривода;
- розробка, виготовлення і впровадження засобів поточного контролю енергетичних параметрів занурного електропривода (в тому числі ККД) та створення системи стабілізації електроспоживання.

Відомо [3], що правильний вибір потужності P занурного електродвигуна забезпечує не тільки надійну роботу привода долота, але і значно зменшує втрати потужності під час буріння свердловин. Якщо вибраний електродвигун має потужність, меншу за номінальну (тобто $P < P_{ном}$) то під час роботи з номінальним навантаженням його обмотки будуть перегріватися. Термін служби таких двигунів буде скорочуватися в десятки разів; до того ж не забезпечуватиметься його робота під час короткочасних пікових навантажень. Проте, коли вибраний електродвигун має потужність, більшу за номінальну (тобто $P > P_{ном}$), то у незавантаженому стані він споживатиме більше реактивної потужності, значно зростуть втрати у міді, ККД двигуна буде низьким. Тому вибрана потужність занурного електродвигуна повинна точно відповідати величині і характеру навантаження.

Для досягнення високих швидкостей проходки і мінімальних строків будівництва свердловин слід забезпечити оптимальні режими буріння. Суттєво впливають на режим буріння: швидкість обертання долота n ; осьова сила на долото F та витрата бурового розчину Q , що подається на вибір свердловини для її очищення від розбуреної породи. В свою чергу, ці технологічні параметри визначають такі показники ефективності процесу як механічна швидкість проходки, проходка на долото, термін служби долота на вибір свердловини тощо. У процесі буріння на різних глибинах з незмінною осьовою силою на долото $F = \text{const}$ та витратою бурового розчину $Q = \text{const}$ можливо підібрати таку швидкість обертання долота n , яка забезпечить найвищі техніко-економічні показники ефективності процесу буріння і найраціональніший режим роботи бурового долота.

Практичним досвідом буріння нафтових і газових свердловин, отриманим протягом багатьох років, встановлено, що швидкість обертання долота є головним чинником, що впливає на режим буріння свердловини та певною мірою визначає високу проходку на долото і сприяє скороченню витрат часу на буріння свердловин.

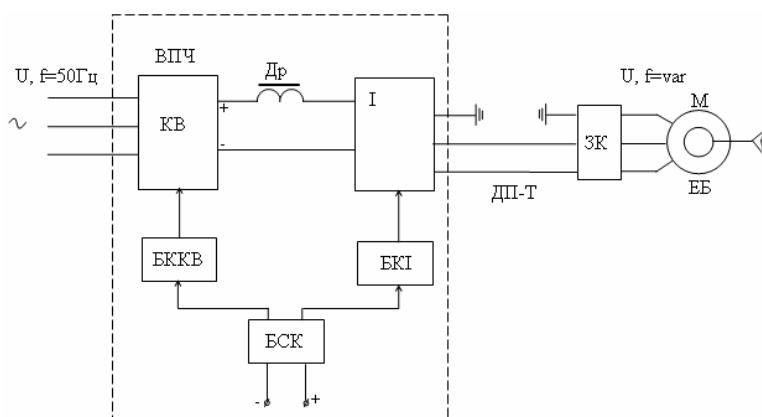
З метою забезпечення потрібної швидкості обертання долота раціональним приводом може слугувати регульований занурний електропривод, що отримує живлення від наземного перетворювача частоти [4]. На даний час промисловість випускає високовольтні перетворювачі частоти для приводів з потужними електродвигунами, які після інвертування дає змогу отримати квазісинусоїдні криві змінного струму і напруги [2,5].

Відомо [2, 4, 5], що частотне керування є найбільш економічним способом плавного регулювання швидкості асинхронних електродвигунів (АД). На всьому діапазоні регулювання двигун працює з невеликою величиною ковзання ротора (тобто з малими втратами ковзання) має добру «жорсткість» механічних характеристик за низьких швидкостей; зберігає високий коефіцієнт корисної дії. Для широкодіапазонного регулювання швидкості АД найчастіше застосовують дволанцюгові високовольтні перетворювачі частоти (ВПЧ). Ці пристрої перетворюють електроенергію мережі живлення в два етапи. На першому – за допомогою керуючого випрямляча здійснюється перетворення змінних струму і напруги у постійні величини; а на другому – постійні струм і напруга за допомогою інвертора струму (або напруги) перетворюються у змінні з керованою частотою f . Незважаючи на явну складність цього методу перетворення, ККД дволанцюгових ВПЧ є високим – 96,5-98,5% [5]. Це зумовлено високою ефективністю силових напівпровідникових пристроїв у ключовому режимі роботи.

Отже, останнім часом отримали розповсюдження автономні інвертори, робота яких не пов'язана безпосередньо з мережею живлення. Ці інвертори можуть працювати як від мережевого випрямляча, так і від акумуляторної батареї. Якщо автономний інвертор отримує живлення від джерела напруги (тобто від джерела з малим внутрішнім опором: акумуляторна батарея, випрямляч з емнісним фільтром), то на його виході під час перемикання силових напівпровідникових «ключів» отримується змінна напруга у вигляді послідовності різнополярних прямокутних імпульсів. Перша гармоніка такої послідовності відповідає потрібному значенню вихідної напруги.

В цьому випадку для навантаження, яким є асинхронний занурний електродвигун, інвертор також є джерелом із малим внутрішнім опором, тобто джерелом напруги. Цей інвертор є автономним інвертором напруги (АІН). Якщо інвертор отримує живлення від джерела струму з великим внутрішнім опором, наприклад, мережевого випрямляча з індуктивним фільтром (струм в індуктивності фільтра не може змінюватись стрибком), то під час перемикання «ключів» на виході інвертора формується змінний струм у вигляді різнополярних прямокутних імпульсів струму. Перша гармоніка такої послідовності повинна відповідати потрібному значенню вихідного струму. В цьому випадку для навантаження інвертор є джерелом з великим внутрішнім опором, тобто джерелом струму. Цей інвертор є автономним інвертором струму (АІС).

Важливим критерієм під час оцінки ефективності автономних інверторів є забезпечення їх електромагнітної сумісності із стандартними асинхронними двигунами. Як джерело вищих гармонік вони впливають на втрати у двигуні, допустиме навантаження та на міцність ізоляції статора. Ця обставина є особливо важливою під час вибору інвертора для стандартних висо-



*КВ – керуючий випрямляч; I – інвертор; ЗК – занурний контактор;
БККВ, БКИ – блоки керування випрямлячем та інвертором; БСК – блок синхронного керування;
ДП-Т – система струмопроводу «два проводи – труба»; ЕБ – електробур*

Рисунок 1 – Спрощена схема частотного керування швидкістю занурного електродвигуна

ковольтних АД, які мають обмеження стосовно ізоляційної міцності. В системі «ВПЧ – асинхронний двигун» дозволяється використання будь-якого стандартного двигуна. Проте потрібно враховувати зниження допустимого моменту внаслідок додаткових втрат від вищих гармонік автономного інвертора, та погіршення умов охолодження двигунів з самовентиляцією під час їх роботи в діапазоні регульованої швидкості. Це не дуже критично для частотно-регульованих електроприводів механізмів з квадратичною механічною характеристикою, оскільки для них під час зниження швидкості активно знижується струм навантаження двигуна.

Отже частотне регулювання швидкості занурного двигуна електробура може відбуватися двома шляхами. Перший шлях – це коли перетворювач частоти розташований на поверхні і подача електричної енергії до статора занурного електродвигуна здійснюється за існуючою на даний час схемою – «два проводи – труба (ДП-Т)». В цьому випадку втрати електричної енергії в системі струмопроводу, двигуни і неробочого ходу будуть, одночасно із іншими чинниками, залежати від якості синусоїди струму і напруги після інвертування. Тому рекомендується використання перетворювачів частоти, що побудовані на основі чотирирівневого або багаторівневого АНС або АНН із широтно-імпульсною модуляцією на IGBT-тиристорах[5].

Промислове виробництво високовольтних перетворювачів частоти (ВПЧ), що застосовують для частотно-регульованих електроприводів потужністю 630-5000кВт, напругою 6 або 10 кВ на даний час освоєно Таллінським електротехнічним заводом, який на даний час існує як фірма ESTEL. Лідером з виробництва і продажу ВПЧ є фірма Alben – Bradley (Канада) та фірма Hyundai (Південна Корея), а також компанія Danfoss (Данія) [2,5]. Остання спеціалізується на виготовленні низьковольтних ПЧ на напругу 200÷600 В і потужність в діапазоні 2,2÷1000 кВт.

На рис. 1 зображено спрощену схему частотного регулювання швидкості занурного двигуна електробура зі встановленим на його поверхні високовольтним перетворювачем частоти (ВПЧ).

Другий шлях полягає у встановленні керуючого випрямляча ВПЧ на поверхні, а інвертора – безпосередньо біля занурного контактора електродвигуна. Тоді підведення електроенергії буде здійснюватись за системою струмопроводу «один провід – труба (ОПТ)». Після інвертування статор занурного двигуна отримує живлення від змінного струму частотою менше ніж 50Гц [3]. Цей шлях економічно доцільний тому, що для вказаної системи струмопроводу значно (майже удвічі) зменшуються втрати потужності в струмопроводі. Складність реалізації такого способу полягає у необхідності розробки і виготовлення занурного інвертора (ЗІ). На рис. 2 зображено спрощену схему частотного регулювання швидкістю двигуна електробура із використанням занурного інвертора.

Третій напрямок енергоощадності передбачає вдосконалення існуючих засобів контролю енергетичних і технологічних параметрів та створення нових більш точних, які можна застосувати в системах стабілізації електроспоживання.

У зв'язку з тим, що в даний час на бурових з електробурінням здійснюється контроль таких енергетичних параметрів як потужність, що підводиться на поверхні до системи «струмопровід – занурний електродвигун», струм навантаження, напруга живлення за допомогою приладів, вихідні сигнали яких не можна використати для цілей керування роботою електробура на вибої свердловини, пропонується методика вдосконалення пристрою контролю потужності, що підводиться на поверхні, і створення засобів контролю потужності на валу занурного двигуна та поточного значення ККД занурного електропривода. Для цього використовується давач активної потужності, що випускає вітчизняна промисловість з аналоговим вихідним сигналом 0÷10 В, і додаткова система допомі-

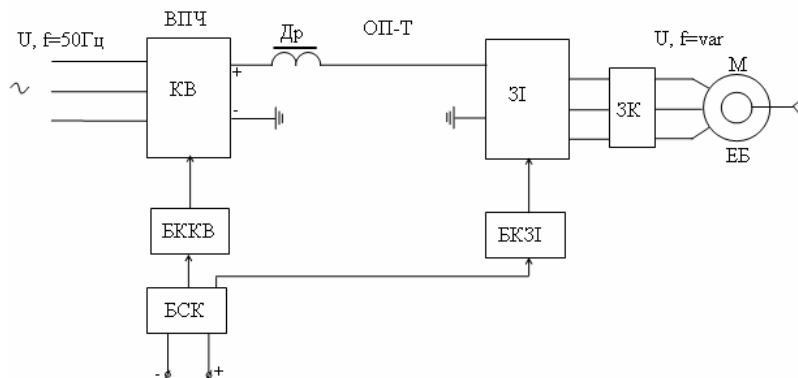


Рисунок 2 – Спрощена схема частотного керування швидкістю двигуна електробура

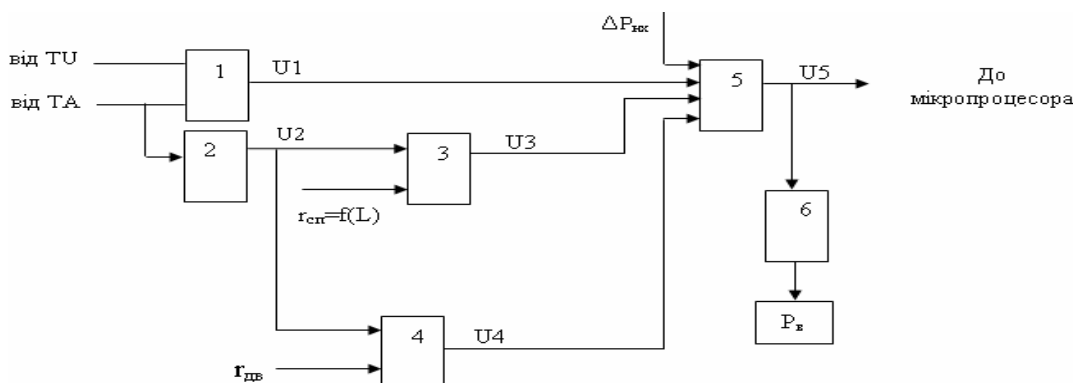


Рисунок 3 – Блок-схема давача активної потужності на валу занурного електродвигуна

жних вимірювань, яка дає змогу реалізувати алгоритм:

$$P_B = P_1 + \sum \Delta P, \text{ кВт}, \quad (1)$$

де: P_1 – активна потужність, що вимірюється і контролюється на поверхні давачем активної потужності;

$\sum \Delta P$ – сума втрат активної потужності у струмопідводі, двигуні і потужності неробочого ходу, кВт;

$$\sum \Delta P = I^2 \cdot r_{cn} + I^2 \cdot r_{\text{дв}} + \Delta P_{\text{нх}}, \text{ кВт}, \quad (2)$$

де: I – струм, А;
 r_{cn} – опір струмовідводу, Ом;
 $r_{\text{дв}}$ – опір обмотки двигуна, Ом;
 $P_{\text{нх}}$ – втрати потужності неробочого ходу, кВт.

Система допоміжних вимірювань реалізується за допомогою таких елементів, як «первинний перетворювач», «квадратор», «суматор», пристрій «множення».

Запропонована блок-схема давача активної потужності на валу занурного електродвигуна зображена на рис. 3.

Блок-схема давача (рис. 3) реалізує алгоритм (1) і працює таким чином: від трансформаторів струму ТА і напруги ТУ системи живлення занурного двигуна електробура напруга і струм подаються на вхід давача активної потужності 1. На виході отримується напруга U_1 в межах від 0 до 10 В, що пропорційна активній потужності, яка підводиться до системи «два проводи – труба – занурний двигун» на поверхні, тобто:

$$U_1 = k_1 \cdot P_1, \text{ В}, \quad (3)$$

де k_1 – коефіцієнт пропорційності.

Одночасно від трансформатора струму ТА струм I подається на вхід квадратора 2, на виході якого отримується напруга U_2 , що пропорційна квадрату активного струму, тобто:

$$U_2 = k_2 \cdot I^2, \text{ В}, \quad (4)$$

де k_2 – коефіцієнт пропорційності.

Вихідний сигнал U_2 подається на вхід елементів множення 3 і 4, в яких здійснюється операція множення струму I^2 на поточне значення активного опору струмовідводу r_{cn} , що змінюється із глибиною свердловини L , та активний опір $r_{\text{дв}}$ занурного електродвигуна. На виході елементів множення 3,4 отримуються напруги U_3, U_4 , що пропорційні втратам потужності у струмопроводі та занурному двигуні, тобто:

$$U_3 = k_3 \cdot I^2 \cdot r_{cn}; \quad (5)$$

$$U_4 = k_4 \cdot I^2 \cdot r_{\text{дв}}, \quad (6)$$

де k_3, k_4 – відповідні коефіцієнти пропорційності.

Вихідні сигнали напруги від елементів 1,3 та 4 подаються на вхід суматора 5. В елементі 5 здійснюється операція сумування та віднімання згідно алгоритму (2). Для віднімання втрат потужності неробочого ходу $\Delta P_{\text{нх}}$ виконується така операція. Після увімкнення занурного електродвигуна на повну напругу в момент часу,

коли долото ще не торкнулось вибою свердловини, на виході елемента 5 з'являється сигнал напруги, пропорційний втратам неробочого ходу. Якщо за допомогою нескладного пристрою вихідний сигнал елемента 5 встановити в нульове положення, то можна вважати, що втрати неробочого ходу електробура відраховані.

Отже на виході елемента 5 отримуємо напругу, що пропорційна потужності на валу занурного двигуна електробура, тобто:

$$U5 = U1 - U3 - U4 - U_{HX}; \quad (7)$$

або

$$U5 = k_5 \cdot P_B, \quad (8)$$

де: k_5 – коефіцієнт пропорційності;

U_{HX} – напруга, що пропорційна втратам неробочого ходу занурного електродвигуна, В.

Аналоговий вихідний сигнал елемента 5 подається на вхід аналогово-цифрового перетворювача 6, який з'єднаний із цифровим приладом P_B , що дає змогу оператору здійснювати контроль за поточним значенням потужності на валу занурного двигуна. Одночасно вихідний сигнал від елемента 5 подається на шини даних мікропроцесорної системи, яка задіяна у системі стабілізації потужності на валу занурного електродвигуна. Шляхом контролювання цього параметра можна забезпечити підвищення ефективності процесу буріння нафтових і газових свердловин електробурами, збільшити проходку на долото .

Висновки

- встановлено, що правильний вибір потужності занурного електродвигуна, яка відповідає характеру його навантаження, дає змогу значно зменшити електроспоживання, підвищити ККД та поліпшити інші енергетичні параметри;

- обґрунтовано і доведено, що впровадження високовольтного частотно-регульованого занурного електропривода дає змогу зменшити витрати на конструктивні елементи системи струмопідводу, зменшити втрати потужності у струмопідводі, реалізувати системи автоматизованого керування занурним приводом, забезпечити енергозаощадження під час електробуріння;

- запропоновано методику визначення та засоби контролю енергетичних параметрів, що дає змогу отримати інформацію про потужність на валу занурного електродвигуна у реальному часі і використати цю інформацію для створення системи стабілізації електроспоживання під час електробуріння, та заощадити електроенергію шляхом більш повного використання потужності двигуна і зменшення кількості спуско-підймальних операцій.

Література

- 1 Бунчак О., Дудар О., Кекот О., Турянський О. Електробур. Парадокси і реальність // Електроінформ. Енергетика, електротехніка, електроніка. – 2003. – №4. – С. 8-11.
- 2 Василенко Ю. Управление асинхронных двигателей // Мир автоматизации. – 2007. – №5. – С. 38-43.
- 3 Семенцова А.О. Автоматизованый електропривод в нафтогазовій промисловості: Навчальний посібник. – Івано-Франківськ: Факел, 2001. – 173 с.
- 4 Семенцова А.О. Автоматичне частотне регулювання швидкості асинхронного двигуна електробура // Академический вестник. – 2007. – №19. – С. 59-62.
- 5 Лазарев Г. Высоковольтные преобразователи для частотно-регулируемого электропривода // Новости электротехники. – 2005. – №2. – С. 11-15.