

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОБУРОМ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ПІД ЧАС БУРІННЯ ТВЕРДИХ МЕНІЛІТІВ

*І.В.Гладь, М.Й.Федорів*

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

*e-mail: epeo@nimg.edu.ua*

*Показаны преимущества электробурения. Описана система автоматического контроля энергетических параметров электробура, разработанная на базе технологии виртуальных приборов. Показаны результаты исследований потребления электробуром активной мощности при бурении.*

*The advantages of electrodrilling are shown. The system of an automatic control of power parameters of the electric drill, developed on the basis of technology of virtual instruments is described. Results of researches of consumption by an electric drill of active power at drilling are shown.*

Інтенсифікація видобування нафти і газу в Україні в умовах їх дефіциту є актуальним завданням. Буріння нафтових і газових свердловин в цьому процесі займає важливе місце. Типова бурова установка складається з лебідки, що піднімає і опускає колону бурильних труб (КБТ) з долотом унизу; ротора, який обертає КБТ під час допоміжних операцій; бурових насосів, які прокачують через КБТ і свердловину промивальну рідину для винесення частинок розбуреної породи на поверхню, та допоміжного обладнання. Під час електробуріння долото обертається вибієним трифазним високовольтним наповненим маслом електричним двигуном – електробуром, який з долотом розташований внизу нерухомої КБТ (рис. 1).

З поверхні електроенергія передається до електробура трифазним струмом напругою 1850...2270 В від регульовального знижувального трансформатора по струмопідводу за системою “два провідники-труба”. Струмопідвід складається з відрізків двожильних кабельних секцій, які змонтовані всередині бурильних труб. Дві фази підводяться кабельними секціями, а третьою фазою є КБТ [1].

Головними перевагами електробуріння є жорстка механічна характеристика електробура, нечутливість до параметрів промивальної рідини, відсутність втрат потужності на обертання КБТ, можливість вимірювання траєкторії похило-спрямованої свердловини та опосередкованого контролю обертового моменту на долоті.

Однак електробуріння ускладнюється на глибині від 2 до 3 км у нафтогазоносних районах з пластами твердих менілітів, особливо з похилим горизонтом (наприклад, Стрийське родовище). Механічна швидкість буріння твердих менілітів електробуром Е164-8М є низькою і становить близько 1 м/год, спостерігається швидке зношування озброєння шарошкового долота. Час активного буріння глибокої свердловини до моменту повного зносу долота не перевищує 3 год. Решта часу витрачається на спуско-підйомні операції та встановлення циркуляції промивальної рідини.

Рівень надійності електробура описується статистичними моделями розподілу часу безвідмовної роботи, які відображають імовірнісні процеси функціонування його вузлів. Напрацювання на відмову вузлів електробура характеризується законом розподілу Вейбула-Гнеденко, щільність розподілу якого визначається такою функцією:

$$f(t) = \alpha_i \cdot \beta_i \cdot t \cdot \exp\left(-(\alpha_i \cdot t)^{\beta_i}\right), \quad (1)$$

де:  $\alpha_i$  – параметр масштабу розподілу для  $i$ -го

вузла електробура,  $\alpha_i = \left(\frac{1}{a_i}\right)^{\beta_i}$ ;

$\beta_i$  – параметр форми розподілу для  $i$ -го вузла електробура [2].

Оскільки вузли електробура з точки зору надійності мають послідовне логічне з'єднання, то відмова електробура настає при відмові хоча б одного вузла. Тому розподіл часу безвідмовної роботи електробура в цілому при кількості основних вузлів  $k \leq 8$ , що мають розподіл часу напрацювання на відмову за законом Вейбула-Гнеденко, також підпорядковуються цьому закону з такими параметрами:

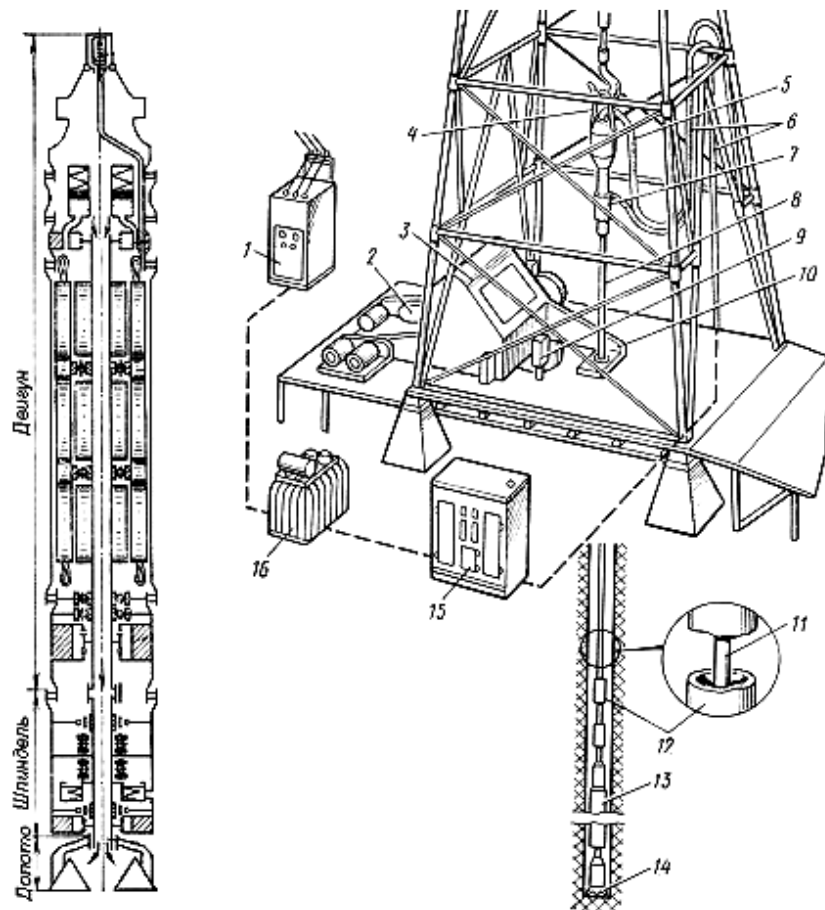
$$\alpha_{\text{ЗЕД}} = \sum_{i=1}^k \alpha_i, \quad (2)$$

$$\beta_{\text{ЗЕД}} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \beta_i \left(1 + \sqrt{\frac{4}{k}} \cdot v_{\beta}\right), \quad (3)$$

де  $v_{\beta}$  – коефіцієнт варіації параметрів  $\beta_i$ .

На основі статистичних даних при типових для Прикарпатського управління бурових робіт умовах експлуатації електробурового обладнання визначено, що  $\alpha_{\text{ЗЕД}} = 132$ ,  $\beta_{\text{ЗЕД}} = 1,55$  при середньому напрацюванні на відмову 127,2 год, що свідчить про низький рівень надійності електробура.

Буріння більшості свердловин здійснюється шляхом ручного (рідше автоматичного) підтримування осевого навантаження на долото за допомогою поверхневого сенсора ваги КБТ. Але в глибоких горизонтально розгалужених та похило спрямованих свердловин має місце зна-



1 – високовольтний розподільний пристрій; 2 – автоматичний регулятор подачі долота; 3 – бурова лебідка; 4 – вертлюг; 5 – нагінтальний шланг; 6 – зовнішній кабель; 7 – струмоприймач; 8 – ведуча труба; 9 – пульт керування; 10 – ротор; 11 – кабельна секція; 12 – бурильна труба; 13 – електробур; 14 – долото; 15 – шафа керування; 16 – трансформатор

Рисунок 1 — Схема установки для буріння свердловин електробуром

чне тертя КБТ об стінки свердловини внаслідок її вигинів. Це зменшує ефективність буріння з використанням зворотного зв'язку за вагою КБТ, оскільки фактичне осьове навантаження долота буде відрізнятися від показів сенсора ваги.

Електробуріння з автоматичним підтриманням постійної потужності, яка передається долоту, є ефективнішим. Оскільки механічну характеристику електробура на її робочій ділянці в першому наближенні можна вважати жорсткою, то при усталеній швидкості обертання долота його механічна потужність пропорційна електричній активній потужності споживання системою "струмопідвід-електробур". Автоматичне підтримання заданого значення потужності на долоті в даний час реалізується аналоговими регуляторами, які при зменшенні електричної активної потужності видають сигнал на плавне опускання КБТ, а при збільшенні припиняють опускання або припіднімають КБТ. Оскільки аналогові регулятори мають низьку швидкодію, можливість виникнення автоколивань, то з урахуванням сучасного рівня розвитку цифрових пристроїв доцільною є перехід на комп'ютеризовані системи автоматичного

управління процесом електробуріння свердловин [3].

При роботі двигуна електробура із ковзанням, яке знаходиться у діапазоні від режиму неробочого ходу до критичного навантаження, можливим є визначення обертового моменту на долоті на основі методу енергетичних діаграм, вихідні дані для якого містяться у розробленому методі двох фаз. Метод двох фаз призначений для опосередкованого вимірювання діючих значень фазних напруг на затискачах електробура та струмів у його фазах [4].

З наведеного вище випливає доцільність дослідження споживання електробуром активної потужності під час буріння твердих менілів. Для цього авторами використано вдосконалений варіант розробленої раніше комп'ютерної інформаційно-вимірювальної системи (ІВС).

Вдосконалена ІВС забезпечує вимірювання та індикацію в реальному масштабі часу фазних струмів і напруг на затискачах електробура, його електричної активної потужності, механічної потужності на долоті та архівування значень цих величин у базу даних. В основу функціонування ІВС покладені методи прямих та опосередкованих вимірювань, методи циф-

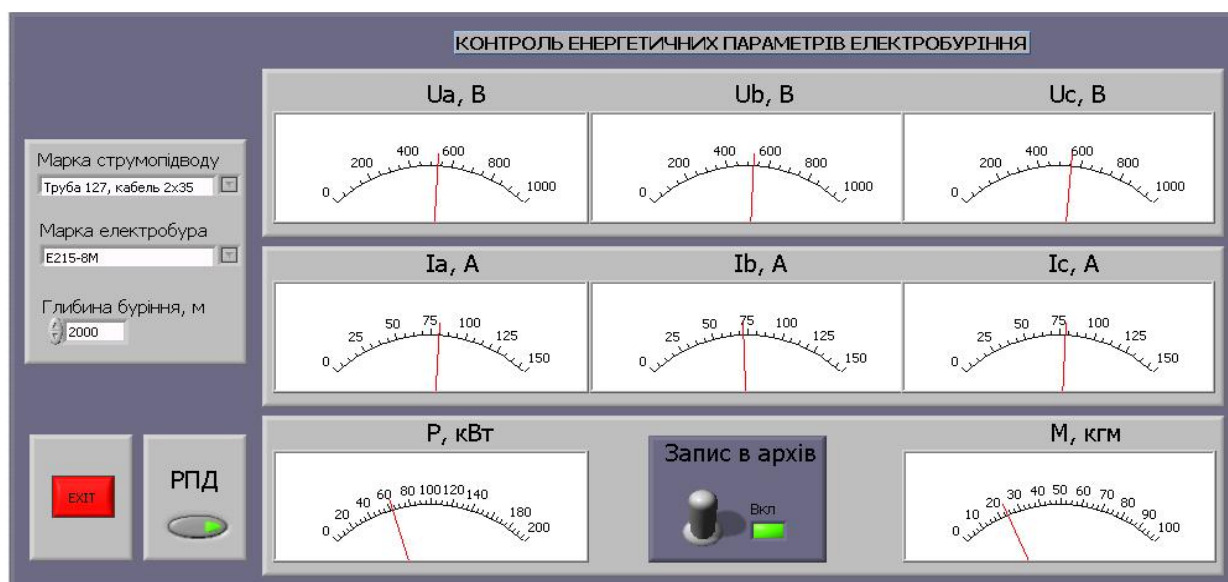


Рисунок 2 — Віртуальний прилад вдосконаленої ІВС

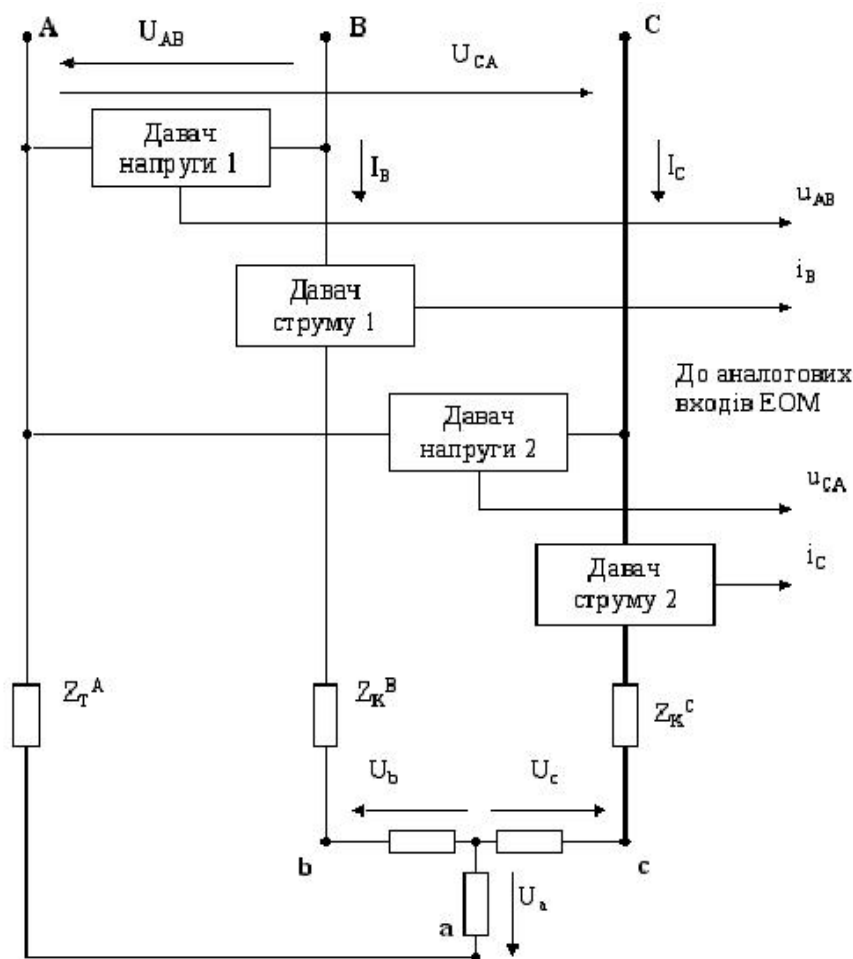


Рисунок 3 — Схема приєднання давачів напруги і струму

рової обробки сигналів та технологія віртуальних приладів (ВП).

До складу ІВС входять сенсори напруги та струму, нормалізатори сигналів, універсальний пристрій вводу-виводу аналогових та цифрових сигналів в ЕОМ USB-6009 з USB-інтерфейсом, ЕОМ з розробленою авторами програмою –

віртуальним приладом (рис. 2), та установленим драйвером АЦП.

Через графічний інтерфейс ВП оператор спілкується з ІВС, вводячи марку електробура, дані струмопідводу та значення глибини буріння. Після запуску програми на виконання ЕОМ починає приймати оцифровану інформацію з

сенсорів напруги та струму, опрацьовує її та видає значення енергетичних параметрів на екран. Покази екрана поновлюються один раз за секунду.

Звичайно, ВП без пристрою вводу-виводу аналогових та цифрових сигналів функціонувати не буде. Від цього пристрою залежить похибка вимірювання і швидкодія. Застосовано 14-розрядний 4-канальний АЦП з частотою дискретизації 2 кГц на канал (40 виборок на період промислової частоти). Сенсорами струму і напруги є розташовані в шафі керування і захисту трансформатори струму та напруги.

Враховуючи особливості конструкції системи електропостачання електробура, яка являє собою трифазну систему з ізольованою нейтраллю та заземленою однією фазою (КБТ), доцільним є вимірювання миттєвих значень напруг  $u_{AB}$ ,  $u_{CA}$  та струмів  $i_A$ ,  $i_C$  у жилах кабеля (рис. 3).

Миттєві значення напруги між жилами кабеля та струму у КБТ обчислюються так:

$$\begin{aligned} u_{BC} &= u_{AB} - u_{CA}, \\ i_A &= -i_B - i_C. \end{aligned} \quad (4)$$

Ці залежності чинні також при наявності вищих гармонік у трифазному електричному колі з ізольованою нейтраллю.

Для реалізації методу двох фаз потрібно тільки чотири вимірювальні канали замість шести, що здешевлює апаратну частину ІВС. Методами цифрової обробки сигналів обчислюються діючі значення струмів та напруг, а також середнє значення потужності споживання системи "струмопідвід-електробур".

Обертючий момент на долоті

$$M_{\text{ДОЛ}} = \frac{30 \cdot P_{\text{ДОЛ}}}{\pi \cdot n_{\text{ДОЛ}}}, \quad (5)$$

де:  $P_{\text{ДОЛ}}$  – потужність на долоті;  $n_{\text{ДОЛ}}$  – номінальна швидкість обертання долота.

Потужність на долоті визначається як різниця між активною потужністю споживання двигуном  $P_D$  і сумарними втратами потужності

$$\Delta P_{\text{СУМ}} \quad P_{\text{ДОЛ}} = P_D - \Delta P_{\text{СУМ}}. \quad (6)$$

Сумарні втрати потужності включають втрати потужності у двигуні електробура і механічні втрати потужності на обертання шпінделя. Активна потужність двигуна визначається як різниця між активною потужністю споживання на поверхні системою "струмопідвід-електробур"  $P$ , що виміряна за схемою Арона, і втратами потужності у фазах струмопідводу

$$\Delta P_C \quad P_D = P - \Delta P_C. \quad (7)$$

Втрати потужності у фазах струмопідводу обчислюються через діючі значення струмів фаз і значення активних опорів фаз  $R_T$ ,  $R_K^B$  та  $R_K^C$ , пропорційних глибині буріння (довжині КБТ)

$$\Delta P_C = I_A^2 \cdot R_T + I_B^2 \cdot R_K^B + I_C^2 \cdot R_K^C. \quad (8)$$

На рис. 4 зображено графік залежностей енергетичних параметрів електробура Е240-8 від часу при бурінні свердловини на глибині 1600 м і ручній подачі долота, отриманий за допомогою ІВС.

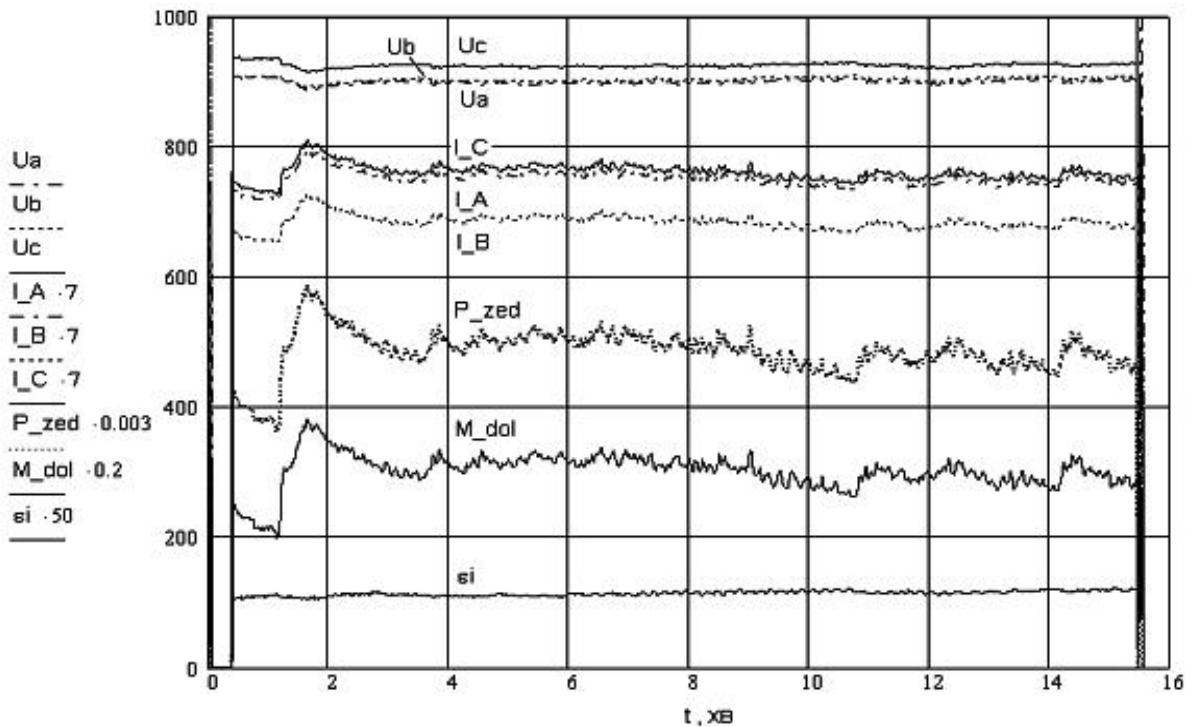


Рисунок 4 — Динаміка енергетичних параметрів електробура Е240-8

У діапазоні часу від 0 до 1 хв. відбувається приробіток нового долота, далі триває процес буріння. Середнє значення активної потужності електробура при бурінні становить 167 кВт.

З даного графіка можна зробити висновок про більшу відносну зміну значення активної потужності електробура при збільшенні осьового навантаження на долото після початку буріння свердловини (друга хвилина), ніж відносну зміну струму. Також спостерігається значна кількість піків кривої, яка відтворює динаміку активної потужності електробура під час буріння твердих менілітів. При граничному зносі долота амплітуда піків і частота їх появи різко зростають.

### ВИСНОВКИ

В результаті експериментального дослідження споживання електробуром активної потужності удосконалена ІВС в польових умовах функціонувала згідно із вимогами технічного завдання.

Отримано експериментальні дані, які характеризують функціонування електробура Е240-8 під час буріння твердих менілітів на глибині 1600 м шарошковим долотом. За результатами аналізу експериментальних даних виявлено явище значного коливання активної потужності електробура.

Застосування розробленої ІВС забезпечує бурильника додатковою інформацією про процес активного буріння, уможливорює автоматизацію досліджень буримості гірських порід.

Перспективою подальших досліджень є удосконалення відомих ефективних алгоритмів автоматичного регулювання подачі долота, діагностування ступеня зносу долота та їх застосування в автоматичній системі управління технологічним процесом електробуріння свердловин.

### Література

1. Гладь І.В., Федорів М.Й. Підвищення надійності та ефективності електробура // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2003. – № 6 (64). – С. 69–75.

2. Гладь І.В., Федорів М.Й. Аналіз надійності роботи електрообладнання системи електропостачання електробурів // Збірник наукових праць 4-ї МНПК "Ефективність та якість електропостачання промислових підприємств". – Маріуполь, 2000. – С. 94-97.

3. Гладь І.В., Федорів М.Й. Інформаційно-вимірвальна система для автоматичного контролю енергетичних параметрів електробуріння // Матеріали XIII МНПК "Автоматика-2006". – Вінниця, 2006. – С. 120.

4. Гладь І.В. Підвищення достовірності контролю напруги на затискачах занурюваного електродвигуна електробура в промислових умовах // Методи та прилади контролю якості. – 2004. – № 12. – С. 104–107.