



УДК 681.527:2:622.24

ANALYSIS OF THE PROPERTIES OF OUTPUT SIGNALS OF AUTOMATED ACTIVE POWER CONTROL OF ELECTRIC DRILL ENGINES

АНАЛІЗ ВЛАСТИВОСТЕЙ ВИХІДНИХ СИГНАЛІВ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ АКТИВНОЇ ПОТУЖНОСТІ ДВИГУНІВ ЕЛЕКТРОБУРІВ

Dmytryk T.V. / Дмитрик Т.В.

Shavranskyi M.V. / Шавранський М.В.

ORCID: 0000-0001-6636-1069

Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas,

Ivano-Frankivsk, Karpatskaya, 15,76019

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

Івано-Франківськ, вул.Карпатська,15,76019

Анотація. У роботі буде проведено комплексний аналіз параметрів вихідних сигналів, включаючи частоту, амплітуду, часові характеристики та інші ключові показники. Результати цього дослідження сприятимуть подальшому вдосконаленню систем автоматизованого контролю, забезпечуючи надійність та точність вимірювань активної потужності електробурів.

Ключові слова: електробур, частотне регулювання, потужність, амплітудна характеристика, закон розподілу, показник Херста.

Вступ.

Дослідження проходження сигналів в системах контролю активної потужності електробурів є актуальною науково-практичною задачею у зв'язку з необхідністю створення енергоощадних технологій буріння похило скерованих і горизонтальних нафтових і газових свердловин та впровадженням комп'ютерно-інтегрованих технологій в галузі.

Проте аналіз літературних джерел (наприклад, [1, 2 та ін.]) показує недостатній об'єм проведених досліджень у цьому напрямку. Насамперед, недостатньо глибоко вивчені закони розподілу активної потужності, джерела невизначеності процесу, наявність хаотичних явищ. Тому метою даної роботи є аналіз властивостей стохастичних вихідних сигналів засобів контролю активної потужності, яку споживають двигуни електробурів в процесі поглиблення свердловин.

Основний текст.

Для опису роботи реальних засобів контролю використовується модель динамічних систем з випадковими параметрами. Ця модель враховує властивості інерції, обмеження швидкості протікання процесів в системі і наявності випадкових параметрів. Прикладом таких задач, для рішення яких необхідно застосовувати модель системи з випадковими параметрами, є дослідження проходження сигналів в каналах контролю активної потужності двигунів електробурів. Можлива й комбінована модель – коли мають місце як випадкові величини, так і випадкові параметри збурення. Отже оператор кожної конкретної системи є реалізацією випадкового оператора системи. Якщо вважати, що оператор одномірної нелінійної системи є випадковим, то вихідну випадкову



функцію $Y(t)$ можна представити через вхідну випадкову функцію $X(\tau)$ у такому вигляді

$$Y(t) = A_{\tau}[t, X(\tau)], \quad (1)$$

де A_{τ} – випадковий оператор.

Якщо система лінійна і одномірна, то тоді вихідну змінну можна представити у вигляді

$$Y(t) = A_{\tau}(t), X(\tau). \quad (2)$$

Розглянемо властивості стохастичних вихідних сигналів та приклади нелінійної одномірної системи контролю активної потужності двигуна електробура, яка є складовою багатопараметричного засобу контролю крутного моменту на долоті [1,2]. Для створення цього каналу контролю використали серійний давач потужності типу Е-80 з основною похибкою вимірювання $\pm 1,5\%$, який приєднаний до системи електроспоживання "два проводи-труба" за допомогою серійних трансформаторів струму (кл.1,5) і напруги (кл.1,5), і реєструючий пристрій КСП-3 (кл. 0,5). Експериментальні дослідження проведені на свердловині Долинського УБР при бурінні електробуром Е240-8 ($N=210$ кВт, $U=1736$ В, $I_{\text{роб.}}=144$ А, $I_{\text{нх}}=107$ А, $n=690$ об/хв, $\text{ККД}=75\%$, $\cos\varphi=0,66$) в породах поляницької світи на глибині 2080-2089 м, долотом типу 295,3, ЗСЗ-ГВ з вставним твердосплавним оснащенням з осьовим навантаженням на долото $F=200$ кН.

Діаграми зміни потужності в часі $N(t)$ були використані для досліджень статистичних характеристик потоку сигналу від системи контролю. Діаграми обробляли за методикою викладеною в [2]. Довжина реалізації і частота дискретизації діаграм вибрана з умов:

$$T \geq (10 \div 20) T_{\text{нч}}, \quad \Delta t \leq 0,5 T_{\text{вч}},$$

де $T_{\text{нч}}$, $T_{\text{вч}}$ – періоди низькочастотних і високочастотних коливань сигналу, які визначені безпосередньо на діаграмі $N(t)$.

Для встановлення закону розподілу значень досліджуваного параметру була взята вибірка об'ємом 122 значень із діаграми $N(t)$ на ділянці стаціонарності. Весь проміжок між максимальним $N_{\text{max}}=240,1$ кВт і мінімальним $N_{\text{min}}=209,1$ кВт розділений на 9 інтервалів величиною

$$\Delta N = \frac{N_{\text{max}} - N_{\text{min}}}{1 + 3.322 \lg n} = 1,215 \text{ кВт.}$$

Визначили середні інтервали, на які розбита зона розсіювання, і частота m в цифрах для кожного інтервалу (табл.1).

Для графічного зображення емпіричного розподілу потужностей побудували гістограму (рис.1), яка зображає диференціальний закон розподілу випадкової величини $N(t)$.

Оскільки значення випадкової величини N_i задані тризначними цифрами і об'єм вибірки більше 25, розрахунки параметрів розподілу провели шляхом введення нової випадкової величини

$$N'_i = \frac{N_i - N_0}{\Delta N}, \quad (3)$$



де ΔN – величина інтервалу, кВт; N'_i – нова випадкова величина; N_0 – деяке початкове значення, за яке прийняли середину середніх значень N .

Таблиця 1 – Експериментальні дані побудови емпіричного розподілу

Частоти m для кожного інтервала	Нижня межа інтервалу	Верхня межа інтервалу
5	229,20	230,41
11	230,41	231,62
16	231,62	232,83
20	232,83	234,04
26	234,34	235,85
17	235,25	236,46
11	236,46	237,67

Авторська розробка

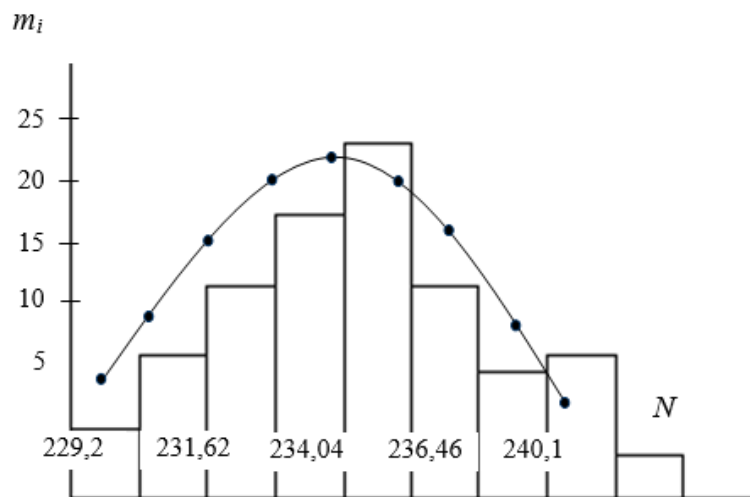


Рисунок 1 – Гістограма розподілу активної потужності електробура E240-8.

Джерело: [2]

Були обчислені початкові (q_1, q_2, q_3, q_4) і центральні моменти (m_2, m_3, m_4), які дорівнюють: $q_1 = -0,089$; $q_2 = 4,106$; $q_3 = -0,431$; $q_4 = 38,35$; $m_2 = q_2 - q_1^2 = 4,1$; $m_3 = q_3 - 3 q_1 q_2 + 2 q_1^3 = 0,67$; $m_4 = q_4 - 4 q_1 q_3 + 6 q_1^2 q_2^2 - 3 q_1^4 = 38,39$.

Визначена оцінка математичного сподівання

$$m_N = N_0 + q_1 \cdot \Delta N = 234,54 \text{ кВт};$$

емпіричне середнє квадратичне відхилення

$$S = \Delta N \left(q_2 - q_1^2 \right)^{1/2} = 2,45 \text{ кВт};$$

показники асиметрії

$$A = \frac{m_3}{\sqrt{m_2^3}} = 0,08$$



і ексцесу
$$E = \left(\frac{m_4}{m_2^2} \right) - 3 = -0,71 ,$$

розмах $R = N_{max} - N_{min} = 10.9$ кВт,
а також відношення розмаху R до середньоквадратичного відхилення S

$$\frac{R}{S} = \frac{10,9}{2,45} = 4,449 ,$$

яке є підставою для визначення показника Херста H_e , який дозволяє кількісно оцінити наявність хаотичної поведінки сигналу $N(t)$:

$$H_e = \ln 4,449 = 1,42.$$

Оскільки показник Херста $H_e > 1$, то можна стверджувати, що випадковий сигнал $N(t)$ має властивості хаосу. Враховуючи, що $A \neq 0$, $E \neq 0$ і розподіл близький до нормального, вирівнювання розподілу здійснено за допомогою нормальної кривої Лапласа-Шарльє. Розрахунок теоретичних значень вирівняних частот провели за формулою:

$$\varphi_{л-ш}(N) = \frac{n}{S} \left[\varphi(N) + A \frac{F_3(N)}{6} + E \frac{F_4(N)}{24} \right], \quad (4)$$

де n – кількість експериментальних точок; S – середнє квадратичне відхилення; $F_3(N), F_4(N)$ – похідні функції нормального розподілу; $\varphi(N)$ – функція нормального розподілу.

Таблиця 2 – Дані для побудови теоретичного розподілу

Кількість інтервалів, n	Частоти для кожного інтервалу	Теоретичні значення розподілу
1	16	14,21
2	16	15,87
3	20	20,34
4	26	22,11
5	17	20,65
6	11	16,04
7	17	12,51

Авторська розробка

Графік теоретичної кривої розподілу за законом Лапласа-Шарльє зображений на рис.1 точками. Проводимо порівняння теоретичної функції розподілу частот з емпіричною, користуючись критерієм узгодження Пірсона χ^2 . При великій кількості спостережень, як це має місце у нашому випадку, критерій χ^2 є найбільш ефективним, тому що він майже завжди відхиляє невірну гупотезу. Перш ніж робити наступні обчислення, об'єднали частоти, які зустрічаються менше 5 разів (табл.2).

Тоді кількість інтервалів порівнюваних частот (об'єднані частоти на кінцях приймаються за одну частоту) дорівнюватиме $n=7$. Аналогічні результати отримані для експериментів, проведених на різних глибинах при бурінні електробурами Е215-8м.



Для організації ефективного каналу контролю потужності на валі двигуна електробура, який функціонує за умов впливу різного типу завад, крім визначеного запасу розподілу Лапласа-Шарльє, треба визначити ще автокореляційну функцію $R_{NN}(k\Delta t)$, щоб мати інформацію про ергодичність сигналу $N(t)$, спектральну густину $S(\omega)$ і амплітудно-фазову функцію формуючого фільтру $W_\Phi(j\omega)$. На рис.2 наведено графік автокореляційної функції $R_{NN}(k\Delta t)$ для $\Delta t=0,84$ с і $k=0\dots 19$.

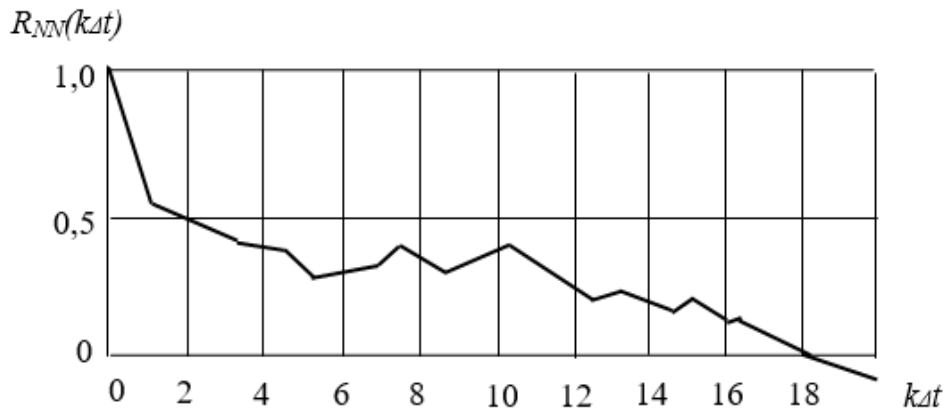


Рисунок 2 – Графік автокореляційної функції сигналу $N(t)$

Джерело: [4]

Бачимо, що автокореляційна функція потужності двигуна електробура $R_{NN}(t)$ має тенденцію до затухання, що характеризує буріння як ергодичний випадковий процес, обумовлений випадковими силами опору з боку розбурюваних порід, а також зміною властивостей гірських порід. Періодична складова характеризує процес буріння як не випадковий процес, обумовлений кінематикою бурового долота, м'якою підвіскою колони бурильних труб тощо.

Аналітичний вираз автокореляційної функції (рис.2), що отриманий апроксимацією за методом найменших квадратів, має такий вигляд:

$$R_{NN}(k\Delta t) = R_{NN}(x, \alpha, \beta, \gamma) = \exp(-\alpha |x|) \cos(\beta |x|) \cos(\gamma |x|),$$

де $\alpha = 0,15$; $\beta = -6,81 \cdot 10^{-7}$; $\gamma = 0,00025$; $x_k = k\Delta t$; $k = 0 \div 19$; $\Delta t = 0,84$ с.

Параметри рівняння: $\alpha = 0,95$; $\beta = -0,8$; $\gamma = 0,024$, максимальна похибка апроксимації 0,01. Максимальна похибка апроксимації $\delta = 0,094$. Аналогічний вираз для автокореляційної функції отримали для електробура типу Е215-8м з номінальною потужністю 125 кВт.

Враховуючи, що автокореляційна функція $R_{NN}(t)$ і спектральна густина $S_{NN}(\omega)$ вихідного сигналу функціонально зв'язані та те, що $S_{NN}(\omega)$ дорівнює добутку спектральної густини вхідного сигналу $S_{ex}(\omega)$ на квадрат амплітудно-фазової функції $W(j\omega)$ ланки або системи контролю $S_{NN}(\omega) = S_{ex}(\omega) \cdot |W(j\omega)|^2$, можна визначити бажану амплітудно-фазову функцію формуючого фільтру (давача): динамічної ланки, яка перетворює вхідний сигнал у вигляді білого шуму у вихідний сигнал із заданими статистичними характеристиками (рис.3).

Дійсно, якщо вважати, що на вході динамічної ланки діє білий шум з одиничною інтенсивністю, тобто $S_o(\omega)=1$ при всіх значеннях частоти ω , тоді спектральна густина вихідного сигналу на виході формуючого фільтру ФФ буде дорівнювати $S_x(\omega) = 1 \cdot |W_\Phi(j\omega)|^2$. Звідси $W_\Phi(j\omega) = \sqrt{S_x(\omega)}$.

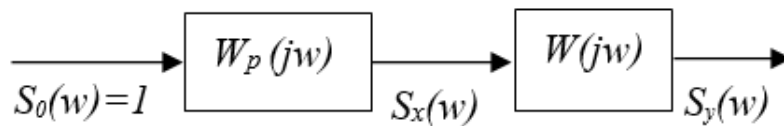


Рисунок 3 – Характеристики вхідних і вихідних сигналів лінійної динамічної ланки

Джерело: [4]

Висновок.

Було отримано бажану амплітудно-фазова функція $W_{\phi}(j\omega)$ формуючого фільтра (давача потужності) визначається як $[W_{\phi}(j\omega)]^2 = S_{NN}(\omega)$. Для одержання на виході формуючого фільтра вихідного сигналу з бажаною спектральною функцією, квадрат амплітудно-фазової функції формуючого фільтра повинен дорівнювати спектральній густині сигналу, який формується з білого шуму.

Література:

1. Бунчак, О. Дудар, О. Кекот, О. Турянський. Електробур, парадокси і реальність// Електроінформ. – 2003. – № 4. – С. 8-11.
2. Семенцова А.О. Автоматизований електропривід в нафтогазовій промисловості. Навч.посібник. – Івано- Франківськ: "Факел". - 2001. - 174 с.
3. ДСТУ 3258-95 (ГОСТ 15880-96). Електробури. Загальні технічні умови. Київ: Держстандарт України. – 2000. – 25 с.
4. Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенцов. – Івано-Франківськ: Нова Зоря, 2003. – 493 с.
5. Електробури. Загальні технічні умови. ДСТУ 3258-12. К.: Держстандарт України, 2012. – 25 с.

Abstract. The paper will carry out a comprehensive analysis of the parameters of the output signals, including frequency, amplitude, time characteristics and other key indicators. The results of this study will contribute to the further improvement of automated control systems, ensuring the reliability and accuracy of measurements of the active power of electric drills. This can have practical applications in the field of mineral extraction, providing optimal operating conditions for electric drills and reducing maintenance costs.

Key words: electric drill, frequency control, power, amplitude characteristic, distribution law, Hurst index

Науковий керівник: к.т.н., доц. Шавранський М.В.

Стаття відправлена: 07.03.2024 г.

© Дмитрик Т.Б., Шавранський М.В.