

КОНТРОЛЬ, АВТОМАТИКА ТА ЕЛЕКТРОТЕХНІКА

УДК 681.513.6:622.24

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ХАОТИЧНИХ ЧАСОВИХ ПОСЛІДОВНОСТЕЙ ЗА ДОПОМОГОЮ ПОКАЗНИКА ХЕРСТА

Г.Н.Семенцов, О.В.Фадєєва

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел.(03422) 46067

e-mail: kafatp@ac.nung.edu.ua

Рассмотрена актуальная научная и техническая задача идентификации хаотического поведения параметров и показателей процесса бурения нефтяных и газовых скважин на основе вычисления характеристического показателя Херста. Показано, что в качестве модели объекта управления наиболее целесообразно использовать нейросетевые архитектуры, способные к восстановлению хаотических и стохастических характеристик и обучению в реальном времени в темпе с поступлением информации с объекта.

Питання автоматизованого управління технологічним процесом буріння нафтових і газових свердловин як складним нелінійним об'єктом, що функціонує за умов апріорної та поточної невизначеності щодо структури та параметрів і перебуває під впливом зовнішніх завад, є одним з найактуальніших, оскільки процес буріння відноситься до складу слабо визначених стохастичних об'єктів, що розвиваються в часі. В таких умовах існуючі способи управління технологічним процесом буріння, що базуються на принципах класичної теорії автоматичного керування і теорії адаптивних систем, стають малоефективними, оскільки ґрунтуються на ідеї лінеаризації керованого об'єкта. Для практичного застосування таких принципів потрібні математичні моделі. Однак, якщо і вдається побудувати математичну модель, яка адекватно відображає зв'язки між входами і виходами керованого об'єкта, то вона нерідко є непридатною для цілей управління. Практичне застосування можуть знайти лише моделі з низькою чутливістю відносно параметрів, що досить складно забезпечити для нелінійних об'єктів і систем [1].

Проте, аналіз літературних джерел (наприклад, [2, 3 та ін.]) засвідчує недостатній обсяг проведених досліджень в напрямку розв'язання задач моделювання, ідентифікації та контролю технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин на основі сучасних методів,

The scientific and technical problem of development methods for nonlinear dynamic stochastic plants modeling based on chaos-dynamic technologies is considered (method for Hurst exponent). It is shown that neuroemulators are suitable for the reconstruction of chaotic and stochastic characteristics in real time.

що засновані на апараті обчислювального інтелекту – штучних нейронних мережах, системах нечіткого виведення та гібридних системах. Найбільш широке розповсюдження в задачах управління процесом буріння нафтових і газових свердловин отримали диференціальні моделі і адаптивне управління [2] завдяки своїй простоті і можливості перевірки на адекватність шляхом експериментальних досліджень.

Недоліками таких моделей є недостатня точність і відсутність у деяких змінних, що використовуються, фізичного сенсу. Крім цього, при змінах в об'єкті управління (збільшення довжини колони бурильних труб, типорозміру долота та ін.) або в зовнішніх умовах (зміна фізико-механічних властивостей гірських порід та ін.) виникає потреба переналаштовувати модель і визначити для неї новий закон управління. Отже, треба постійно вручну визначати адекватність математичної моделі процесу поглиблення свердловин. Проблема ускладнюється тим, що тип нелінійностей (наприклад, сумісної механічної характеристики долота і привода) апріорі невідомий, а її характер змінюється з часом. Крім цього, можливе виникнення коливань режимів. Збурення також можуть мати нетрадиційний стохастичний характер, тобто спостерігаються квазіперіодичні і хаотичні сигнали, які досить важко відрізнити від випадкових.

Альтернативою існуючим моделям процесу буріння і системам управління ним є штучні нейронні мережі. У цьому випадку прийнятним математичним апаратом є теорія нейродинаміки, в основі якої лежать методи теорії хаосу, штучних нейронних мереж та фракталів. В загальному випадку процес буріння нафтових і газових свердловин в чистому вигляді не виявляє свою хаотичну поведінку, тому що, як правило, на хаотичний сигнал накладається стохастична компонента. При цьому найчастіше неможливо відрізнити, де в сигналі хаотична компонента, а де стохастична.

Хаотичну поведінку часових послідовностей вивчали Devaney (D-chaotic), Li та York (L/Y-chaotic), проф. А.Н.Шарковский (1964р., Україна), М. Wagenknecht (ФРН), О. Соколов (2005р., Україна). Проте, практично невирішеною залишилась кількісна оцінка хаосу. Вирішенню цієї проблеми допомагає використання показника Херста, який дає можливість кількісно оцінити прояви хаотичної поведінки об'єкта [4].

Тому метою даної роботи є ідентифікація хаотичних послідовностей за допомогою показника Херста (Hurst) (на прикладі параметрів і показників процесу буріння), виявлення яких є достатнім для обґрунтування застосування математичного апарату теорії нейродинаміки при створенні систем контролю і управління. Дослідження стохастичних характеристик часових послідовностей проведена за допомогою показника Херста на базі результатів досліджень параметрів режиму і показників процесу буріння, проведених на свердловинах Прикарпаття.

Були досліджені часові послідовності $P(t)$, $V(t)$, $N(t)$, $I(t)$, $U(t)$ та ін., де $P(t)$ – осьове навантаження, $V(t)$ – механічна швидкість буріння, $N(t)$ – потужність, $I(t)$ – струм навантаження, $U(t)$ – напруга живлення, що отримані при бурінні долотами 295,3-С3-ГВ; 295,3С-ГВ; 215,9С3-ГВ; 295,3МС-ГВ на глибинах 1317-3700 м роторним способом і електробурами Е240-8.

Для визначення статистичних характеристик і дослідження поведінки параметрів і показників процесу буріння була використана інформаційно-вимірювальна система СКУБ-М1. Вимірювання електричних параметрів здійснювали давачами серії Е з класом точності 1,0.

Попередньо неперервні часові послідовності були перетворені в дискретні часові послідовності з кроком дискретизації $\Delta t = 3\text{с}$, об'єми виборки – від 140 до 550.

У загальному випадку для дискретної часової послідовності $y(1), y(2), \dots, y(i), \dots, y(k)$ обчислювали показник Херста H , користуючись формулою [4]

$$\frac{r(k)}{\sigma(k)} = (ak)^H, \quad (1)$$

де: k – дискретний поточний час;

a – невідомий параметр, що обирається у загальному випадку із сутоемпіричних припущень;

$R(k)$ – розмах, тобто різниця між максимальним і мінімальним значеннями випадкової величини у вибірці;

$S(k)$ – емпіричне середньоквадратичне відхилення.

Логарифмуючи рівняння (1), знайдемо вираз для H

$$H = \log(ak) = \log\left(\frac{r(k)}{\sigma(k)}\right), \quad (2)$$

або

$$H = \frac{\log\left(\frac{r(k)}{\sigma(k)}\right)}{\log(ak)}. \quad (3)$$

Якщо основою логарифмів обрати число $e=2,7182$, то

$$H = \frac{\ln\left(\frac{r(k)}{\sigma(k)}\right)}{\ln ak}. \quad (4)$$

Для обґрунтування числа a розглянемо результати розрахунків розмахів r і середньоквадратичних відхилень σ для декількох параметрів і показників процесу буріння (табл. 1).

Буріння експлуатаційної свердловини здійснювалося установкою Уралмаш-6Е-61 з використанням електробура Е240-8 (потужність 210 кВт, діаметр електробура 240мм, швидкість обертання долота 690 об/хв.) і тришарошкового долота 295,3С-ГВ в інтервалі 2073-2177,6 м, представленому однорідними породами польницької світи п'ятої категорії буримості. Витрата бурового розчину підтримувалася постійною, а осьове навантаження підтримували на мінімальному значенні $P=120$ кН. Вимірювали проходку h , час буріння t_b , потужність, яка підводиться до вибою N , осьове навантаження P на долото, напругу живлення U , струм навантаження I двигуна електробура.

З таблиці видно, що відношення розмаху r до середньоквадратичного відхилення σ має один порядок і коливається в межах $r/\sigma = 3.346 \div 6.31$. Це означає, що для розрахунку показника Херста H зручно використати число $a=e=2,7182$. Тоді вираз (4) спрощується і має такий вигляд:

$$H = \ln\left(\frac{r(k)}{\sigma(k)}\right). \quad (5)$$

Отже, з (5) бачимо, що показник Херста може змінюватися від 0, коли відсутня хаотична поведінка і $r(k)=\sigma(k)$, до 1,8 і більше.

В таблиці 2 наведені результати розрахунків показника Херста H для досліджених параметрів і показників процесу буріння.

В таблицю зведені також результати аналізу таких характеристик як математичне сподівання m , дисперсія m , розмах r і показник Херста H для процесу буріння роторним способом долотом 215,3С3-ГВ на глибині 3683-3700 м (вибірки 5,6), електробуром Е240-8 з долотом 295,3-С3-ГВ на глибині 1317-1327,75 м (вибірка 3); електробуром Е240-8 з долотом 295,3С-ГВ на

Таблиця 1 – Результати статистичної обробки параметрів і показників процесу буріння

Назва параметру або показника процесу буріння	Математичне сподівання m	Середньоквадратичне відхилення σ	Розмах r	r/σ
P , кН	129,10	36,67	181,0	4,93
V , м/год.	2,90	0,30	1,6	5,31
N , кВт	226,36	10,14	64	6,31
I , А	124,7	2,75	12	4,37
U , В	1751,04	29,82	100	3,35

Таблиця 2 – Показники Херста H для параметрів і показників процесу буріння нафтових і газових свердловин

Параметри і показники процесу буріння	Математичне сподівання m	Дисперсія m	Розмах r	Показник Херста H
P_1 , кН [E240-8]	129,1	36,669	181	1,595
P_4 , кН [E240-8]	131,85	57,685	174	1,105
P_5 , кН [ротор]	105,6	2,498	15,435	1,819
P_6 , кН [ротор]	104,92	2,574	15,4	1,790
V_1 , м/год [E240-8]	2,90	0,31	1,6	1,669
V_3 , м/год [E240-8]	2,65	0,858	3,05	1,266
V_4 , м/год [E240-8]	2,92	0,952	3,0	1,175
V_5 , м/год [ротор]	0,5468	0,3379	9,298	1,691
N_1 , кВт [E240-8]	226,36	10,14	64	1,842
N_2 , кВт [E240-8]	145,66	7,278	48,6	1,897
N_3 , кВт [E240-8]	167,77	18,513	49	0,973
N_4 , кВт [E240-8]	214,9	11,719	40	1,226
I_1 , А [E240-8]	124,7	2,746	12	1,474
I_2 , А [E240-8]	134,27	7,43	32	1,460
I_3 , А [E240-8]	86,62	3,785	12	1,153
I_4 , А [E240-8]	119,52	6,445	21	1,178
I_6 , А [ротор]	140,4	7,146	33,7	1,552
I_5 , А [ротор]	143,03	7,228	29,9	1,419
U_1 , В [E240-8]	1751,04	29,822	100	1,207

глибині 2049-2060м (вибірка 4); електробуром E240-8 з долотом 295,3С-ГВ на глибині 2073-2177,6м (вибірка 1); електробуром E240-8 з долотом 295,3МС-ГВ на глибині 1602-1610м (вибірка 2).

Як видно з табл. 2, показник Херста H суттєво відрізняється від 0, що свідчить про те, що досліджуваним дискретним часовим послідовностям $P(t)$, $V(t)$, $N(t)$, $I(t)$, $U(t)$ властива хаотична поведінка, а об'єкт керування стосується широкого класу динамічних стохастично-хаотичних об'єктів, що функціонують за умов апріорної та поточної невизначеності щодо структури та параметрів. Ці об'єкти адекватно описуються за допомогою апарата теорії хаос-динаміки, в тому числі штучних нейронних мереж (ШНМ).

В області управління таким складним технологічним процесом як буріння нафтових і газових свердловин ШНМ мають великі перспективи, тому що їм притаманні суттєві переваги перед традиційними системами управління, а саме, можливості:

- навчання будь-яким функціям у зв'язку з тим, що для будь-якого алгоритму існує ШНМ, яка його реалізує;
- уникнення використання складного математичного апарату;
- розв'язання задач контролю і управління з суттєвими нелінійностями при використанні нелінійних функцій активації в нейронних мережах;
- здійснення управління в умовах суттєвих нелінійностей за рахунок самонавчання ШНМ;
- функціонування навіть при пошкодженнях окремих елементів мережі за рахунок архітектури паралельної обробки інформації;
- мати високу продуктивність обчислень, яка зумовлена високим ступенем паралельності ШНМ.

Висновки

1. Експериментально-аналітичним методом доведено, що технологічний процес буріння нафтових і газових свердловин як нелінійний

динамічний об'єкт керування, що функціонує за умов невизначеності щодо своїх параметрів і структури, демонструє як хаотичну поведінку ($H > 0$), що викликана власними характеристиками об'єкта, так і стохастичну, яка викликана наявністю різноманітних зовнішніх збурень. Отже, можна вважати, що технологічний процес буріння глибоких нафтових і газових свердловин є динамічним стохастично-хаотичним об'єктом, що функціонує за умов апріорної та поточної невизначеності щодо його структури та параметрів і розвивається в часі.

2. Контроль і оцінювання показника Херста H в реальному часі за допомогою рекурентного алгоритму дасть можливість вирішувати проблеми раннього виявлення розладів об'єкта і системи керування в умовах структурної і параметричної невизначеності технологічного процесу буріння нафтових і газових свердловин (катастрофічний знос оснащення і опор долота, звуження стовбура свердловини, зони аномально високих пластових тисків, прихоплення бурильного інструменту, обрив колони бурильних труб, обвал стінок свердловини та ін.).

Література

1. Сигеру Омтау. Нейроуправление и его приложение. – М.: НПРЖР, 2000. – Кн. 2. – 272 с.
2. Горбійчук М.І., Семенов Г.Н. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин. – Івано-Франківськ: Нова Зоря, 2006. – 493 с.
3. Гасанов Р.А. Меджидов Г.Н., Алекперов Р.Б., Керимов К.М. Меджидов М.А. Разработка автоматизированной системы для прогнозирования показателей бурения на основе нейронных моделей // Нефтяное хозяйство. – 2001. – №10. – С. 40-42.
4. Королькова Е.Е., Плисс И.П., Шило А.В., Чапланов А.П. Об одном нейросетевом алгоритме вычисления показателя Херста // Вестник национального технического университета "ХПИ". – Харьков: НТУХПИ, 2001. – №8. – С.48-50.
5. Бодянский Е.В. Плисс И.П., Чапланов А.П. Динамическая реконструкция хаотических сигналов на основе нейросетевых технологий // Радиоэлектроника и информатика. – 2002. – №3(20). – С.62-64.