

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ МОДЕЛІ ВИКРИВЛЕННЯ СВЕРДЛОВИНИ № 2 НОВОМИХАЙЛІВСЬКОЇ СВІТИ

М.В.Шавранський, І.І.Чигур, А.М.Шавранська, Г.Я.Процюк

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 40089,
e-mail: a t p @ n u n g . e d u . u a

Наведено теоретичний опис побудови різних математичних моделей і їх ідентифікації за експериментальними даними. На основі експериментальних даних свердловини № 2 Новомихайлівської світи побудовано реальні моделі викривлення свердловини, а саме: кореляційна, спектральна і вісім параметричних, а також проведено їх ідентифікацію. За числовими оцінками середньоквадратичного розузгодження керуючих рішень визначена оптимальна модель вигляду **arx 321**. В програмному середовищі *Matlab* побудовано різні характеристики розроблених моделей: перехідні, імпульсні, частотні і спектральні.

Ключові слова: викривлення, модель, характеристика, ідентифікація, свердловина, система керування, буріння, параметри.

Приводится теоретическое описание построения разных математических моделей и их идентификации согласно экспериментальным данным. По экспериментальным данным скважины №2 Новомихайловской свиты построены реальные модели искривления скважины: корреляционная, спектральная и восемь параметрических, а также проведена их идентификация. По числовым оценкам среднеквадратичного рассогласования управляющих решений определена оптимальная модель вида **arx 321**. В программной среде *Matlab* построены различные характеристики разработанных моделей: переходные, импульсные, частотные и спектральные.

Ключевые слова: искривление, модель, характеристика, идентификация, скважина, система управления, бурение, параметры.

Theoretical description of construction of different mathematical models and their authentication is resulted in obedience to experimental information. On the basis of experimental information of mining hole №2 Novomikhaylivskoy of retinue is built the real models of curvature of mining hole, namely: cross-correlation, spectral, and also eight self-reactance and their authentication is conducted. After the numerical estimations of среднеквадратичного рассогласования of managing decisions, the optimum model of type of **arx 321** is certain. Different descriptions are built in obedience to the developed models: transitional, impulsive, frequency and spectral in a software environment *Matlab*.

Keywords: curvature, model, description, authentication, mining hole, control the system, boring drilling, parameters

У процесі буріння всі свердловини з різних причин тією чи іншою мірою відхиляються від початкового напрямку. Цей процес називається викривленням. Ненавмисне викривлення називається природним, а викривлення свердловин за допомогою різних технологічних і технічних прийомів – штучним.

Викривлення свердловин супроводжується ускладненнями, до яких належать інтенсивніше зношування бурильних труб, підвищена витрата потужності, ускладнення під час проведення спуско-піднімальних операцій, обвалювання стінок свердловини тощо. Проте у деяких випадках викривлення свердловин дає змогу значно знизити витрати засобів і часу розробки родовищ нафти і газу. Таким чином, якщо викривлення свердловини небажане, його намагаються попередити, а якщо воно необхідне, – його розвивають. Цей процес називається спрямованим бурінням, яке може бути визначене як буріння свердловин з використанням закономірностей природного викривлення, і за допомогою технологічних прийомів і технічних засобів для виведення свердловини в задану точку. При цьому викривлення свердловин обов'язково піддається контролю і керуванню.

У процесі буріння спрямованої свердловини необхідно знати положення кожної її точки в просторі. Для цього визначаються координати її гирла і параметри траси, до яких відносяться зенітний кут, азимут свердловини та її довжина.

Зенітний кут – це кут між віссю свердловини (або дотичної до неї) і вертикаллю. Азимут – це кут між напрямом на північ і горизонтальною проекцією дотичної до осі свердловини, вимірний за годинниковою стрілкою. Довжина свердловини – це відстань між гирлом і забоем вздовж осі.

При вирівнюванні свердловини з горизонталлю відбувається збільшення зенітного кута (буріння з підйомом кута), а з вертикаллю – зменшення (буріння з падінням кута). При викривленні свердловини вліво азимут її зменшується, а вправо – збільшується [1].

Відхилення свердловин від проектного положення може відбуватися унаслідок неправильного зіставлення осі свердловини при забурюванні або викривлення в процесі буріння. У першому випадку існують причини суб'єктивного характеру, які можуть бути легко усунені. Для цього необхідно забезпечити співвісь літара вежі, прохідного отвору ротора і осі

Таблиця 1 – Параметри промивної рідини

Верх	Низ	Густина, г/см ³	Густина г/см ³ max	Умовна в'язкість min	Умовна в'язкість max	Фільтрат мл/30 хв min	Фільтрат мл/30 хв max	Вміст піску, % min	Вміст піску, % max	СНС min	СНС max
	881	1,160	1,180	55	80	6,0	8,0	1,5	2,0	35-40	70-100
881	2231	1,120	1,140	22	25	6,0	6,0	1,0	1,0	10-20	20-30
2231	2936	1,140	1,160	22	25	5,0	6,0	1,0	1,0	10-20	20-30

свердловини; горизонтальність стола ротора, прямолінійності провідної труби, бурильних труб і обважнених бурильних труб (ОБТ) згідно з технічними умовами.

Аналіз викривлення свердловин свідчить, що цей процес описується певними закономірностями, але для різних родовищ вони різні і можуть істотно відрізнятись.

В процесі буріння необхідний постійний контроль за положенням осі свердловини в просторі. Тільки в цьому випадку можна побудувати геологічний розріз і визначити дійсні глибини залягання продуктивних пластів, визначити положення вибою свердловини і забезпечити попадання його в задану проектом точку. Для цього необхідно знати zenітні і азимутні кути свердловини і глибини їх вимірювань. Такі виміри проводяться за допомогою спеціальних приладів, що називаються інклінометрами.

За вимірами zenітних кутів і азимутів свердловини в окремих точках здійснюється побудова фактичного профілю і плану свердловини. Фактична траса свердловини зіставляється з проектною, на підставі чого робиться висновок про можливість попадання свердловини в задане коло допуску. У випадку, якщо це попадання неможливе, ухвалюється рішення про застосування спеціальних технічних засобів спрямованого буріння з метою виведення свердловини на проектну трасу.

Вибір необхідної інтенсивності викривлення стовбура проводиться з урахуванням декількох чинників. Очевидно, що за значної інтенсивності викривлення погіршуються умови експлуатації всього устаткування і інструменту, при опусканні бурильних і обсадних колон можливі посадки і утворення жолобів. Проте довжина інтервалу викривлення в цьому випадку скорочується, що призводить до зменшення додаткових витрат часу на буріння з відхилювачем. За малої інтенсивності викривлення витрати за рахунок збільшення довжини інтервалу буріння з відхилювачем істотно вищі.

За раніше пробуреними на родовищі свердловинах визначаються закономірності викривлення і вплив на нього різних чинників. Ці дані дають змогу визначити інтенсивність природного викривлення на окремих інтервалах. [2]

Експериментальні дані свердловини №2 Новомихайлівської світи: проектна глибина – 2936 м; глибина свердловини по вертикалі – 2654 м; максимальний кут – 32 град., проектні горизонти АС 11-2; мета буріння – видобуван-

ня; магнітний азимут – 179,94; зміщення – 1095,4м; альтитуда ротора – 54,36 м; категорія свердловини – II. Параметри промивальної рідини наведено в таблиці 1.

Свердловина бурилася з 15.05.2009 по 29.05.2009 року. Нам відома база даних по цій свердловині, а саме: zenіт, азимут, глибина по вертикалі, відхід, відхилення, азимут до вершини круга, азимут до центру круга, азимут до низу круга, zenіт на дальній край, zenіт на центр круга, zenіт на ближній край залежно від глибини проходження свердловини.

Обробку експериментальних даних (вибір-ка складає 144 позиції) проводимо в програмному середовищі Matlab (System Identification Toolbox (SIT)). Цей інструментарій дає можливість будувати і досліджувати різні типи моделей (кореляційну, спектральну, параметричні з різними параметрами «вхідних» і «вихідних» даних) [3].

Моделі є математичним записом перетворення вхідного і вихідного сигналу системи.

Насправді, в будь-якій реальній системі на вихідні параметри впливають тією чи іншою мірою безліч чинників. Ці чинники можуть мати природу перешкод (шуму), а можуть бути параметрами, про які ми не маємо уяви. До першої категорії можна віднести технічні об'єкти. У них, як правило, можна виділити вхідні дії і вихідні параметри. До другої – економічні і фінансові процеси. На рис. 1 зображено класичне представлення динамічної системи.

На об'єкт діють вхідні сигнали u , випадкові дії e та вихідні параметри y , що є векторами довільної розмірності.

Схема ідентифікованої системи має вигляд, зображений на рис. 1, б). Нам відомі значення вхідних і вихідних параметрів, виміряні з певним інтервалом часу. Отже, вхідним і вихідним сигналами є дискретні функції, тобто вхід – $u(t)$; $t = 1, 2, \dots, N$; вихід – $y(t)$; $t = 1, 2, \dots, N$.

Припустимо, що сигнали пов'язані системою лінійно, тоді перетворення “вхід-вихід” може бути записане у вигляді

$$y(t) = G(q)u(t) + v(t), \quad (1)$$

де q – оператор зсуву;

$$G(q)u(t) = \sum_{k=1}^{\infty} g(k)u(t-k); \quad (2)$$

$$G(q) = \sum_{k=1}^{\infty} g(k)q^{-k}; \quad q^{-1}u(t) = u(t-1). \quad (3)$$

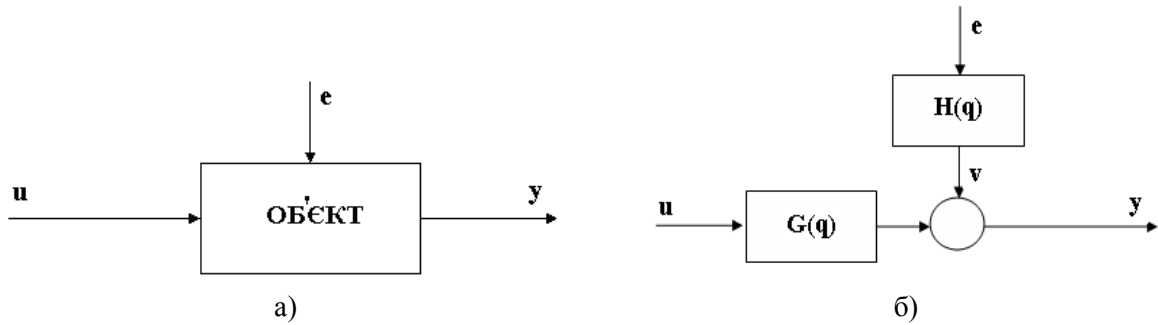


Рисунок 1 – Загальна модель системи

Числа $\{g(k)\}$ називаються імпульсною передавальною функцією системи. Зрозуміло, що $g(k)$ є виходом системи в час k , якщо в початковий момент часу на вхід системи подається імпульс. Функція $G(q)$ називається передавальною функцією системи. Ця функція, визначена на одиничному крузі ($q = e^{j\omega}$), дає частотну передавальну функцію

$$G(e^{j\omega}). \quad (4)$$

У (1) $v(t)$ – додаткова функція, що є шумом (перешкодами). Його характеристикою може бути спектральна щільність (спектр)

$$\Phi_v(\omega) \quad (5)$$

і визначається як

$$\Phi_v(\omega) = \sum_{\tau=-\infty}^{\infty} R_v(\tau) e^{-j\omega\tau}, \quad (6)$$

де $R_v(\tau)$ – коваріаційна функція шуму $v(t)$,

$$R_v(\tau) = M\{v(t)v(t-\tau)\}; \quad (7)$$

M – символ математичного очікування. Альтернативно перешкода може бути описана як відфільтровані білі шуми

$$v(t) = H(q)e(t), \quad (8)$$

де $H(q)$ – білі шуми з параметром λ і

$$\Phi_v(\omega) = \lambda |H(e^{j\omega})|^2. \quad (9)$$

Всі наведені вище рівняння (1) – (9) разом дають опис часової області системи

$$y(t) = G(q)u(t) + H(q)e(t), \quad (10)$$

де G – передавальна функція системи. Рівняння (4) і (5) складають опис частотної області:

$$G(e^{j\omega}); \Phi_v(\omega)$$

Імпульсна передавальна функція (3) і частотні характеристики (4-10) називаються непараметричними моделями, оскільки вони не визначені в термінах кінцевого числа параметрів.

Основний опис (10) може використовуватися за наявності безлічі змінних; тобто, коли система має декілька вхідних (nu) і вихідних (ny) сигналів. В такому разі $G(q)$ є матрицею розмірністю $ny \times nu$, а $H(q)$ $\Phi_v(\omega)$ – матрицями розмірністю $ny \times ny$.

Функції G і H можуть бути описані як раціональні функції від q^{-1} .

Однією з включених до системи ідентифікації (SIT) є модель ARX (рис. 2), яка має вигляд

$$G(q) = q^{-nk} \cdot \frac{B(q)}{A(q)}; \quad (11)$$

$$H(q) = \frac{1}{A(q)}, \quad (12)$$

де B і A – многочлен в операторі затримки q^{-1} :

$$A(q) = a_1 + a_2 q^{-1} + \dots + a_{na} q^{-na+1}, \quad (13)$$

$$B(q) = b_1 + b_2 q^{-1} + \dots + b_{nb} q^{-nb+1}.$$

Тут, числа na і nb – порядки відповідних поліномів, nk – число затримок від введення (входу) до виходу. Модель зазвичай записується у вигляді:

$$A(q)y(t) = B(q)u(t - nk) + e(t) \quad (14)$$

або явно

$$\begin{aligned} y(t) + a_1 y(t-1) + \dots + a_{na} y(t-na) = \\ = b_1 u(t-nk) + b_2 u(t-nk-1) + \dots + \\ + b_{nb} u(t-nk-nb+1) + e(t). \end{aligned} \quad (15)$$

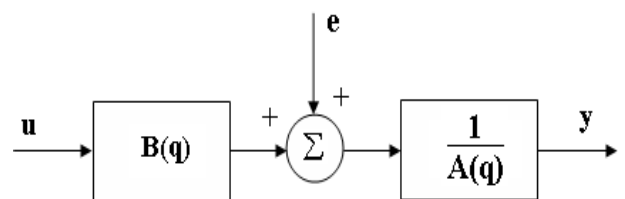


Рисунок 2 – Загальний вигляд ARX-моделі

Вирази (14) – (15) можуть бути узагальнені для випадку з багатьма змінними. Тоді $A(q)$ стане матрицею розмірністю $ny \times ny$, а $B(q)$ – матрицею розмірністю $ny \times nu$.

Іншою головною, і більш загальною моделлю є ARMAX структура (рис.3)

$$A(q)y(t) = B(q)u(t - nk) + C(q)e(t), \quad (16)$$

де $A(q)$ і $B(q)$ визначаються згідно з (13), а

$$C(q) = 1 + c_1 q^{-1} + \dots + c_{nc} q^{-nc}.$$

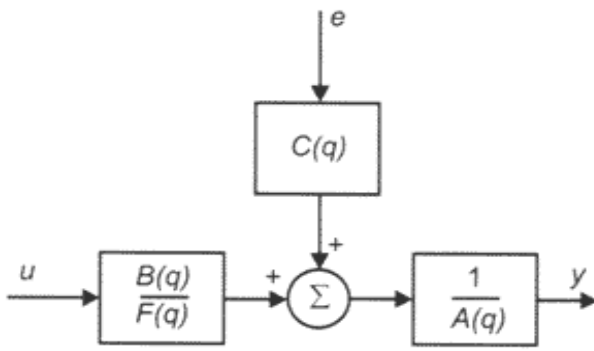


Рисунок 3 – Загальний вигляд ARMAX-моделі

Структура моделі помилки вихідної величини (ПВВ) отримана як

$$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}u(t - nk) + e(t) \quad (17)$$

з

$$F(q) = 1 + f_1q^{-1} + \dots + f_{nf}q^{-nf}.$$

Так звана модель Бокса-Джекинса (БД) має вигляд

$$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}u(t - nk) + \frac{C(q)}{D(q)}e(t), \quad (18)$$

де

$$D(q) = 1 + d_1q^{-1} + \dots + d_{nd}q^{-nd}.$$

Всі ці моделі – окремі випадки загальної параметричної моделі:

$$A(q)y(t) = \frac{B(q)}{F(q)}u(t - nk) + \frac{C(q)}{D(q)}e(t). \quad (19)$$

Параметри білого шуму $\{e(t)\}$ прийняті за 1.

В межах структури (19), можуть бути фактично отримані всі лінійні моделі систем типу “чорного ящика”. Так, модель ARX очевидно отримана при $nc = nd = nf = 0$. Структура ARMAX відповідає $nc = nf = 0$. Модель ПВВ отримана для $na = nc = nd = 0$, тоді як модель БД переписується з $nd = na = nf = 0$.

Той же тип моделей може бути визначений для систем з довільним числом входів. Вони мають форму

$$A(q)y(t) = \frac{B_1(q)}{F_1(q)}u_1(t - nk_1) + \dots + \frac{B_{nu}(q)}{F_{nu}(q)}u_{nu}(t - nk_{nu}) + \frac{C(q)}{D(q)}e(t). \quad (20)$$

Загальний підхід до опису лінійних систем полягає в тому, щоб використовувати моделі в просторі станів:

$$\begin{aligned} x(t+1) &= Ax(t) + Bu(t); \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t) + v(t). \end{aligned} \quad (21)$$

Тут залежність між входом і виходом визначається через nx -мірний вектор станів. У

формі (21) передавальна функція переписується у вигляді

$$G(q) = C(qI_{nx} - A)^{-1}B + D, \quad (22)$$

де I_{nx} – одинична матриця розмірністю nx .

Зрозуміло, що (21) може розглядатися як один із способів параметризації передавальної функції. За (22) $G(q)$ стає функцією матриць $A, B, C, i D$.

У SIT використовується така модель в просторі станів:

$$\begin{aligned} x(t+1) &= Ax(t) + Bu(t) + Ke(t); \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t) + e(t). \end{aligned} \quad (23)$$

Використання цих виразів дає змогу враховувати шуми і знаходити лінеаризовані рівняння нелінійних об'єктів.

У разі (23) $G(q)$ визначається за формулою (22), а $H(q)$ –

$$H(q) = C(qI_{nx} - A)^{-1}K + I_{ny}, \quad (24)$$

де ny розмірність $y(t)$ і $e(t)$.

Часто можна встановити опис системи одразу в (23). У інших випадках бажано описати спочатку шуми, які діють на систему. Це призводить до стохастичної моделі простору станів:

$$\begin{aligned} x(t+1) &= Ax(t) + Bu(t) + w(t); \\ y(t) &= Cx(t) + Du(t) + e(t), \end{aligned} \quad (25)$$

де $w(t)$ і $e(t)$ – стохастичні процеси з деякою мірою корельованості. В умовах стаціонарності і залежно від виду перетворення “вхід-вихід”, можна записати (25) еквівалентно (23). Тоді матриця K вибирається як фільтр Кальмана.

Часто простіше описати систему у вигляді неперервної динамічної моделі. Причина полягає в тому, що, як правило, фізичними законами є диференціальні рівняння. Тому моделювання фізичних явищ зазвичай веде до описів простору станів

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Fx(t) + Gu(t); \\ y(t) &= Hx(t) + Du(t) + v(t). \end{aligned} \quad (26)$$

Тут, $\dot{x}_{kT} \leq t \leq (k+1)T$, тоді залежність між $u[k]=u(kT)$ і $y[k]=y(kT)$ може бути точно виражена (21), причому

$$A = e^{FT}; \quad B = \int_0^T e^{F\tau} G d\tau. \quad (27)$$

Неперервна динамічна модель простору станів в SIT –

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= Fx(t) + Gu(t) + \tilde{K}e(t); \\ y(t) &= Hx(t) + Du(t) + e(t). \end{aligned} \quad (28)$$

Відповідність між \tilde{K} і K здійснюється на основі виразу

$$K = \int_0^T e^{F\tau} \tilde{K} d\tau. \quad (29)$$

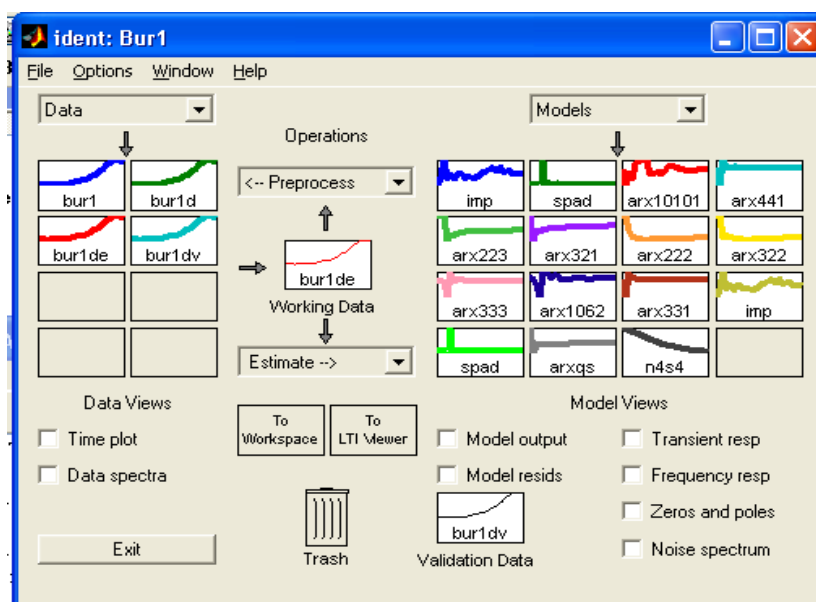


Рисунок 4 – Діалогове вікно редактора ідентифікації після формування вибірок

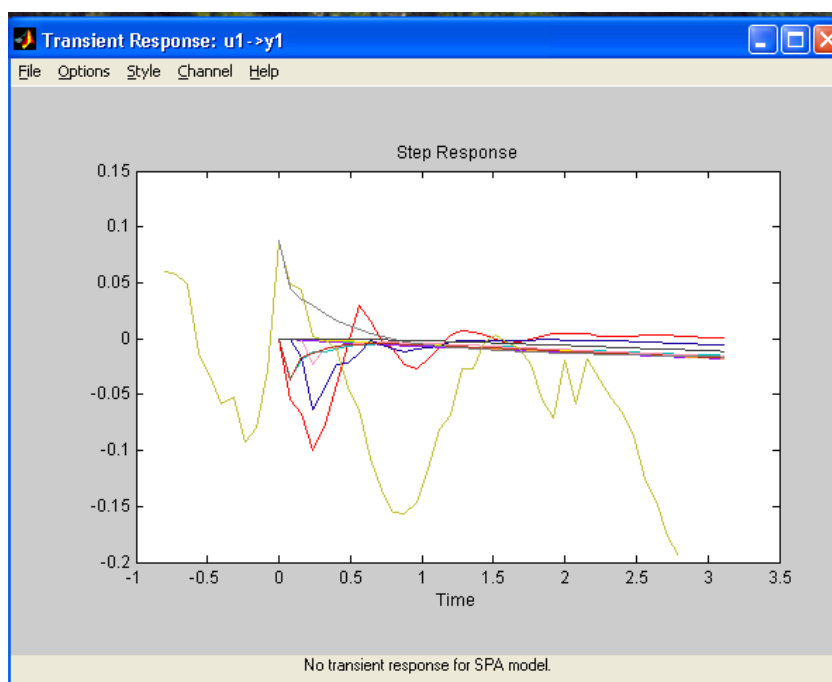


Рисунок 5 – Оцінки знайдених перехідних функцій

Для побудови кореляційної моделі в програмному середовищі SIT, вибираємо варіант Correlation Model із списку Estimate (оцінювання). В області Model Views з'являється знак з іменем **imp** (рис. 4), що означає отримання результату ідентифікації у вигляді такої моделі:

$$A_0 \cdot y(t) + A_1 \cdot y(t-T) + \dots + A_n \cdot y(t-nT) =$$

$$B_0 \cdot u(t) + B_1 \cdot u(t-T) + \dots + B_m \cdot u(t-nT) + e(t)$$

з параметрами A_n B_m . Значення параметрів відображаються в командному вікні Matlab [4]. Перехідну характеристику досліджуваної кореляційної моделі зображено на рисунку 5, а імпульсну характеристику – на рисунку 6.

Повторюємо оцінювання параметрів для іншого варіанту, а саме для спектральної моделі. В результаті отримаємо оцінку системи у вигляді частотних характеристик (рис. 7).

Перейдемо тепер до ідентифікації за допомогою параметричних моделей. В результаті налаштування параметрів і їх оцінки отримаємо характеристику з іменем **arx 10101** (рис. 1). Це означає побудову моделі з 10-ма параметрами «вхідних» даних, 10-ма параметрами «вихідних» даних і 1-м кроком затримки (пам'яті) системи керування.

Для проведення оцінки і порівняння побудуємо ще декілька параметричних моделей (**arx 441**, **arx 223**, **arx 321**, **arx 222**, **arx 322**, **arx 333**, **arx 1062**, **arx 331**, **arxqs**), що зображено на рис. 4.

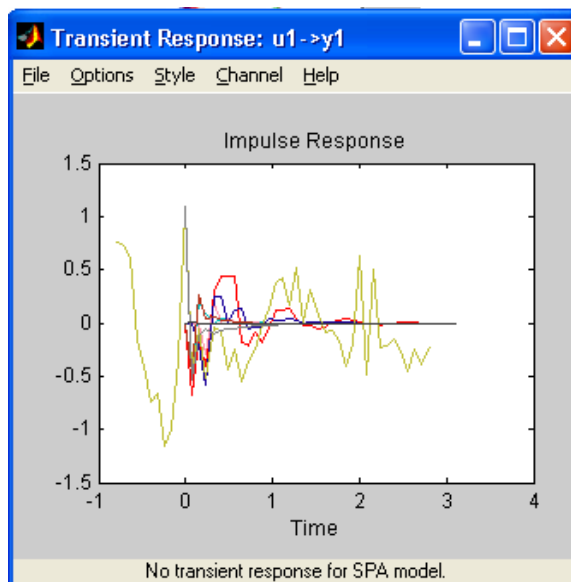


Рисунок 6 – Вікно графіків імпульсних характеристик системи

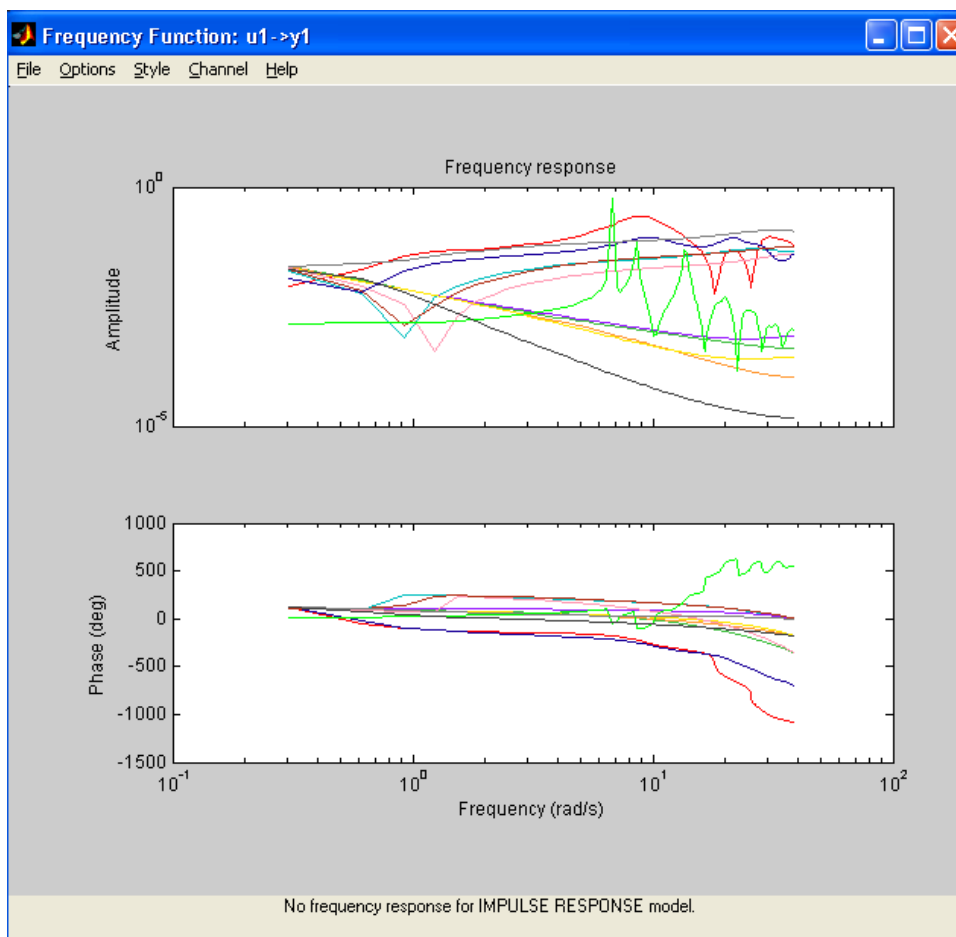


Рисунок 7 – Вікно оцінки системи у вигляді частотних характеристик

Всі характеристики і функції відповідно зображено на рисунках 5 – 9.

Виникає питання: яку з отриманих моделей прийняти в якості оптимального керуючого рішення? Для відповіді порівнюємо отримані моделі вивівши результати і рекомендації порівняння рішень (рис. 10).

Як видно за числовими оцінками середньоквадратичного розузгодження керуючих рішень, що представлені в правому вікні (рис.10), оптимальною є модель вигляду **арх 321**, рівняння якої наведено в командному вікні (рис. 11).

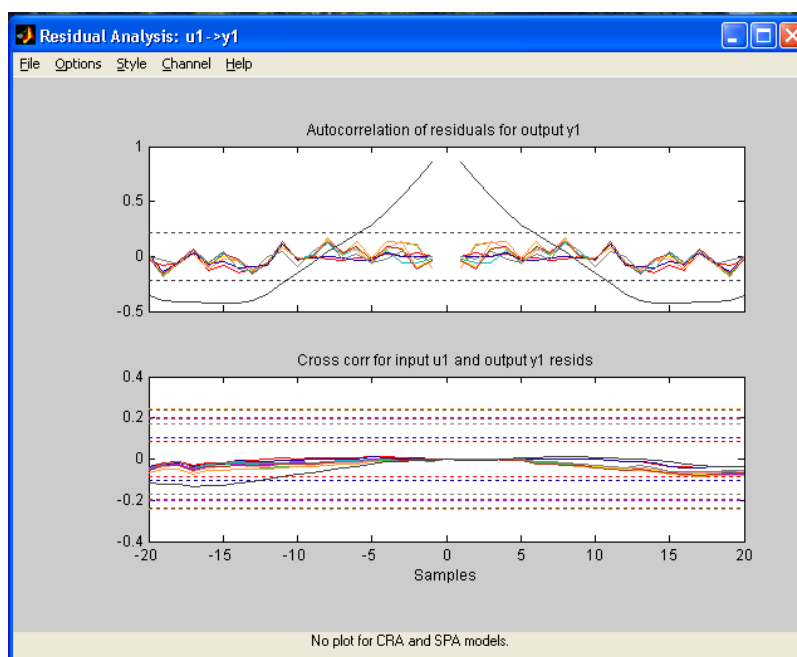


Рисунок 8 – Вікно автокореляційний функцій

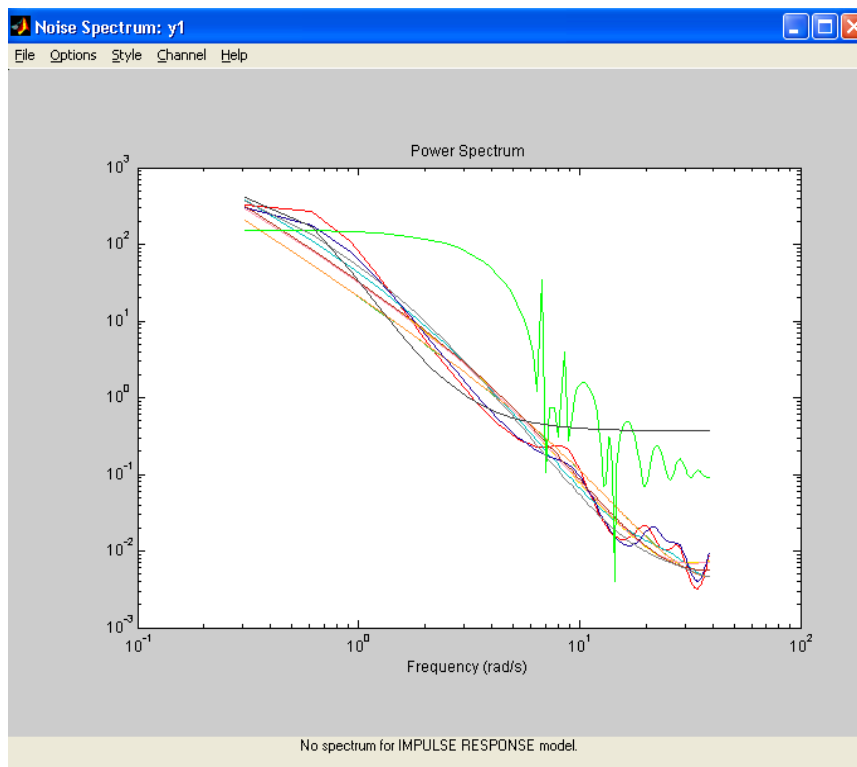


Рисунок 9 – Вікно оцінки спектральних характеристик

Висновки

Наведено теоретичний опис побудови різних математичних моделей та їх ідентифікації згідно з експериментальними даними.

На основі експериментальних даних свердловини №2 Новомихайлівської світи побудовано реальні моделі викривлення свердловини, а саме: *кореляційна, спектральна*, а також *вісім параметричних* і проведено їх ідентифікацію. За числовими оцінками середньоквадратичного

розузгодження керуючих рішень, визначена оптимальна модель вигляду **arx 321**

Побудовано різні характеристики згідно розроблених моделей: перехідні, імпульсні, частотні і спектральні в програмному середовищі Matlab.

Результати розрахунків можуть бути використані при корегуванні режимів буріння нафтових і газових свердловин на базі сучасних мікропроцесорних засобів контролю і управління.

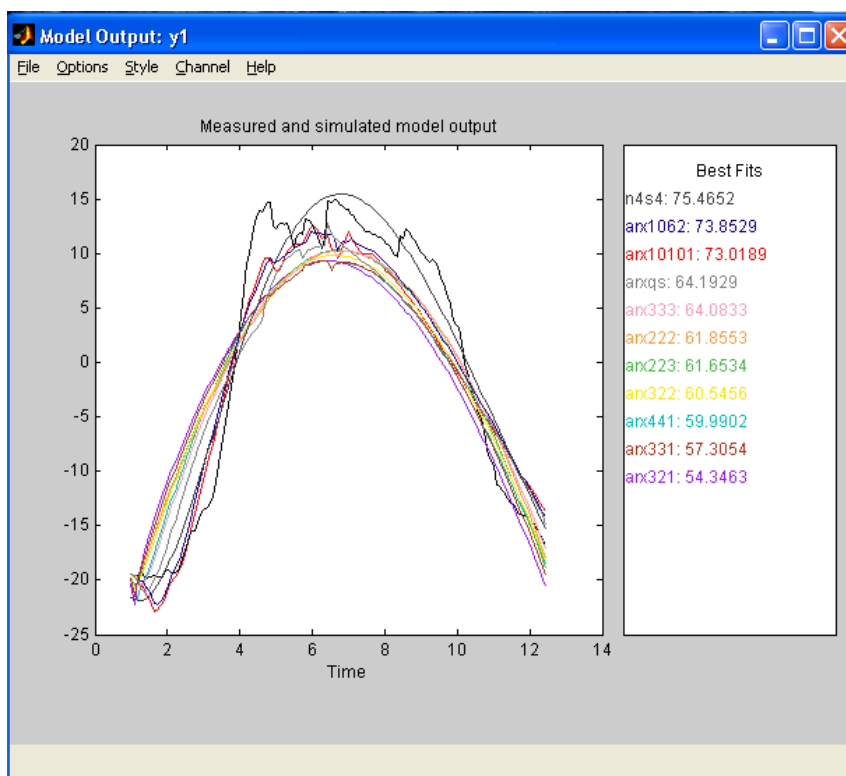


Рисунок 10 – Вікно аналізу отриманих моделей системи керування

Рисунок 11 – ARX 321 (командне вікно)

Література

1 Мислюк М.А. Довідник: Буріння свердловин; у 5 т. / М.А.Мислюк, І.Й.Рибчич, Р.С.Яремійчук. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2002. – Т.5: Ускладнення. Аварії. Екологія. – 2004. – 376 с.

2 Семенцов Г.Н. Автоматизація процесу буріння свердловин: [навчальний посібник]. ч. 3. – Івано-Франківськ: Факел, 1998. – 191 с.

3 Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В.Леоненков // СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 736 с.

4 Шавранський М.В. Фаззи-модельювання для прогнозування прихоплень колони буриньних труб / М.В.Шавранський // Науковий вісник ІФНТУНГ. – № 1. – 2001. – С. 87-90.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
10.02.10
Рекомендована до друку професором
Тимківим Д.Ф.*