

Енергетика, контроль та діагностика об'єктів нафтогазового комплексу

УДК 681.518:622.248:004.94

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНА ПІДТРИМКА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ ВІДПРАЦЮВАННЯМ АЛМАЗНИХ ДОЛІТ

Г. Н. Семенцов, Л. Я. Чигур

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 46067,
e-mail: kafatp@ukr.net

Розглядається можливість удосконалення методів підтримки прийняття рішень при управлінні відпрацюванням алмазних доліт в процесі буріння нафтових і газових свердловин шляхом дослідження та застосування динамічного інтелектуального аналізу інформативних параметрів.

На основі аналізу сучасних методів та систем підтримки прийняття рішень щодо відпрацювання доліт в процесі буріння нафтових і газових свердловин проведено теоретичні дослідження щодо удосконалення методу підтримки прийняття рішень під час керування процесом відпрацювання алмазних доліт нового покоління. Розвинуто теоретичні основи динамічного інтелектуального аналізу даних та ідентифікації процесу відпрацювання алмазних доліт, що функціонують за умов апріорі невідомих збурень, з метою підвищення ефективності процесу буріння нафтових і газових свердловин за рахунок більш ефективної послідовної обробки нестационарних масивів інформації про відпрацювання доліт. Розроблено архітектуру нейросистеми підтримки прийняття рішень, що дозволило підвищити якість розв'язання задачі динамічного інтелектуального аналізу даних про нестационарний нелінійний процес відпрацювання алмазних доліт за умов апріорної та поточної невизначеності. Здійснено імітаційне моделювання та проведено порівняльний аналіз різних підходів і розроблено структуру системи підтримки прийняття рішень для керування процесом відпрацювання алмазних доліт.

Ключові слова: автоматизоване управління, інформаційна модель, система прийняття рішень, гібридна нейромережа, відпрацювання доліт, алгоритм ідентифікації, буріння.

Рассматривается возможность усовершенствования методов поддержки принятия решений при управлении отработкой алмазных долот в процессе бурения нефтяных и газовых скважин путем исследования и применения динамического интеллектуального анализа информативных параметров. На основе анализа современных методов и систем поддержки принятия решений по отработке долот в процессе бурения нефтяных и газовых скважин проведены теоретические исследования по совершенствованию метода поддержки принятия решений при управлении процессом отработки алмазных долот нового поколения. Развита теоретические основы динамического интеллектуального анализа данных и идентификации процесса отработки алмазных буровых долот, функционирующей в условиях априори неизвестных возмущений, с целью повышения эффективности процесса бурения нефтяных и газовых скважин за счет более эффективной последовательной обработки нестационарных массивов информации об отработке долот. Разработана архитектура нейросистемы поддержки принятия решений, что позволило повысить качество решения задачи динамического интеллектуального анализа данных о нестационарном нелинейном процессе отработки алмазных долот в условиях априорной и текущей неопределенности. Осуществлено имитационное моделирование и проведен сравнительный анализ различных подходов и разработана структура системы поддержки принятия решений для управления процессом отработки алмазных долот нового поколения.

Ключевые слова: автоматизированное управление, информационная модель, система принятия решений, гибридная нейросеть, отработка долот, алгоритм идентификации, бурение.

The thesis is devoted to the improvement of decision support methods while controlling of diamond bit wear in the process of drilling for oil and gas through the investigation and application of dynamic intellectual analysis of informative parameters. On the basis of analysis of modern methods and decision support systems on bits wear in the process of drilling for oil and gas, theoretical research on the improvement of methods for decision support

during the process control on new diamond bits testing was conducted. There were developed theoretical foundations for dynamic intellectual data analysis and identification of bits wear process, which operate under a priori unknown disturbances, in order to enhance the effectiveness of oil and gas wells drilling due to more effectual serial processing of non-stationary array of information about bits wear. A neuro-architecture of decision-making support is developed, thus improving the quality of the problem solution of dynamic intellectual data analysis on non-stationary non-linear process of diamond bits wear under the priori and current uncertainty. The simulation and comparative analysis of different approaches is carried out, and the structure of decision support system for process control of diamond bits wear is developed.

Keywords: automated control, information model, system of decision-making, Hybrid Neural Network, drill bits wear, identification algorithm, drilling.

Вступ. Задача управління відпрацюванням доліт є підзадачею загальної проблеми оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин, зокрема долотами нового покоління стираючої дії – полікристалічними алмазними долотами типу PDC (Polycrystalline Diamond Cutter). Переваги цих доліт пояснюються тим, що проходка на одне таке долото досягає 6000 м., в результаті чого одним долотом розбурюється декілька шарів різнорідних гірських порід. Проте невирішеною залишається задача визначення моменту підймання долота для заміни на завершальному етапі його відпрацювання. Це зумовлено тим, що процес відпрацювання доліт PDC відбувається під впливом різного типу завод за умов дефіциту апріорної та поточної інформації щодо параметрів об'єкта керування та його структури, а сам процес буріння є невідтворюваним нелінійним стохастичним й таким, що розвивається в часі.

На зміни закономірностей показників відпрацювання доліт PDC в часі впливають усі фактори, що складають систему «долото-вибій», параметри режиму буріння, а також складне поєднання усіх видів його зношення – абразивного, теплового, корозійного та ін. Контактними методами ці показники визначити неможливо. Методи непрямого визначення показників відпрацювання озброєння доліт, попри свою перспективність, не отримали належного розвитку в автоматизованих системах керування процесом буріння свердловин у зв'язку із складністю динамічного аналізу даних із великою входною розмірністю та невизначеністю за умов послідовного надходження спостережень.

У зв'язку з цим актуальною є науково-прикладна задача розробки системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень про управління процесом відпрацювання доліт стираючої дії типу PDC в складі автоматизованої системи керування режимами буріння на основі методу динамічного інтелектуального аналізу нестаціонарних сигналів про процес відпрацювання полікристалічних доліт з використанням штучних нейронних мереж, здатних функціонувати за умов апріорної та поточної невизначеності щодо структури та параметрів об'єкта та забезпечувати ефективну обробку часових рядів.

Постановка завдання. Завданням цієї наукової роботи є підвищення ефективності процесу буріння нафтових і газових свердловин за рахунок оптимального відпрацювання доліт на вибій свердловини, що досягається розробленою системою інтелектуальної підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням

породоруйнівного інструменту стираючої дії в умовах невизначеності процесу буріння.

Об'єктом дослідження є технологічний процес буріння нафтових і газових свердловин породоруйнівним інструментом стираючої дії, що функціонує за умов апріорі невідомих збурень.

Предметом дослідження є методи підтримки прийняття рішень під час управління процесом відпрацювання породоруйнівного інструменту стираючої дії типу PDC на засадах штучного інтелекту.

Методологічну основу досліджень становлять: теорія спектрально-кореляційного аналізу і обробки сигналів – для аналізу закономірностей і залежностей між коефіцієнтом ефективності долота і показниками процесу буріння; методи ідентифікації систем – для моделювання об'єкта керування на основі вхідних і вихідних даних про процес відпрацювання доліт; методи системного аналізу – для структурної декомпозиції системи; теорія штучних нейронних мереж – для синтезу методу виявлення відпрацювання доліт типу PDC в реальному часі; методи теорії автоматичного керування – для розробки системи та алгоритму її функціонування; методи імітаційного моделювання – для тестування розробленої системи на ЕОМ.

Результати

Значний внесок у вирішення науково-технічних завдань управління відпрацюванням доліт на основі поточної інформації здійснили М. І. Горбійчук, Л. М. Заміховський, М. А. Мислюк, М. Б. Сігніков, Є. І. Стетюха та ін. [1, 2, 4, 5, 9].

Проте аналіз літературних джерел вказує на недостатній об'єм проведених досліджень у цьому напрямку. Аналіз системи керування режимами буріння нафтових і газових свердловин (рис. 1) та інтелектуальних технологій керування показав, що для підвищення ефективності управління процесом відпрацювання безопорних полікристалічних доліт нового покоління типу PDC доцільно застосувати нейромережі з архітектурами, здатними до відновлення стохастичних характеристик і навчання в реальному часі в темпі надходження інформації з об'єкта керування [10].

Процес буріння як об'єкт керування формалізований у вигляді багатовимірної системи (рис. 2) однонаправленого перетворення

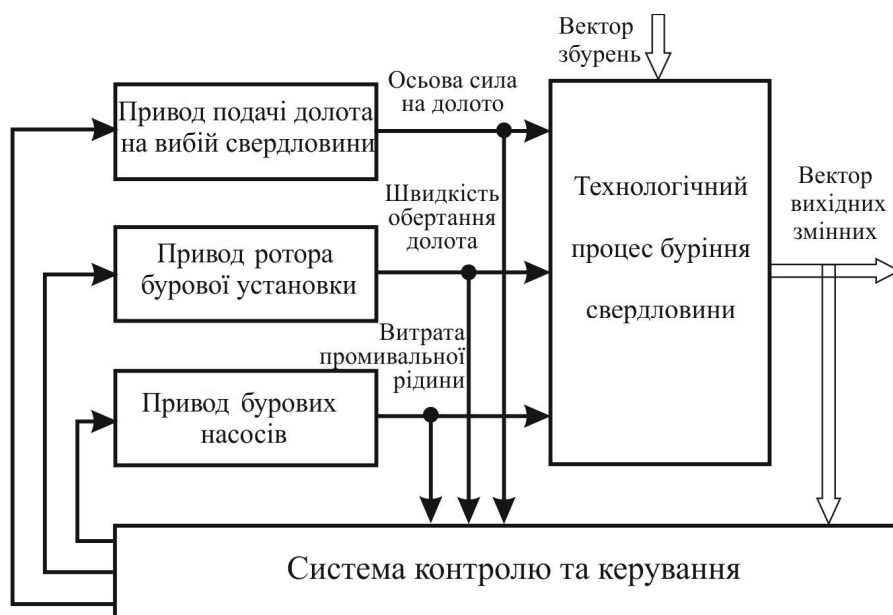
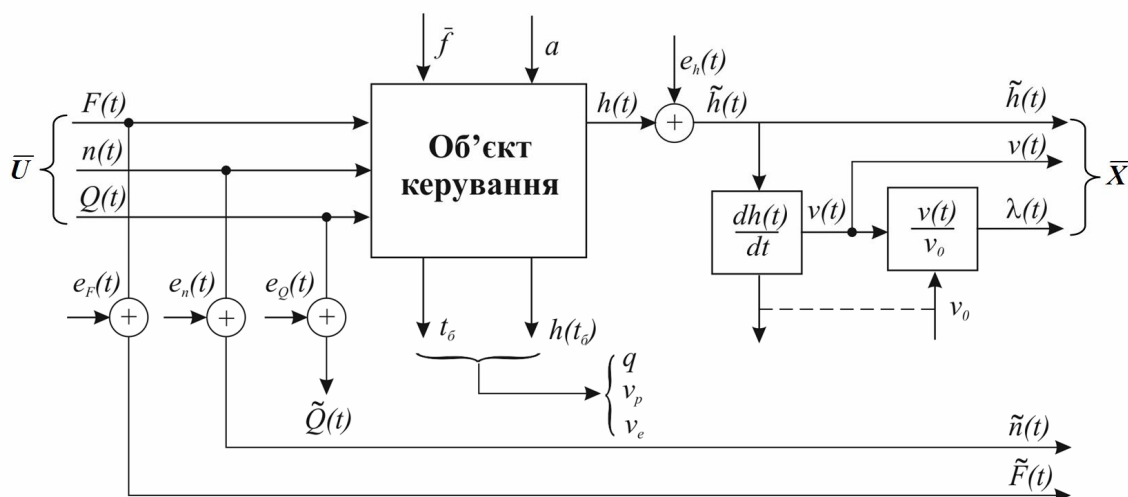


Рисунок 1 – Система керування режимами буріння нафтових і газових свердловин



$F(t)$ – осьова сила на долото; $n(t)$ – швидкість обертання долота; $Q(t)$ – об'ємна витрата бурового розчину, що подається в свердловину; \bar{f} – вектор збурень, який характеризує взаємодію об'єкта з навколишнім середовищем; a – апіорна інформація, яку отримують на основі інформації про раніше пробурені свердловини та досвіду спеціалістів; $e_F(t), e_n(t), e_Q(t), e_h(t)$ – адитивні шуми в вимірювальних каналах; t_δ – час буріння; $h(t_\delta)$ – проходка на долото; q – собівартість метра проходки; v_p – рейсова швидкість буріння; v_e – економічна швидкість буріння; v_0 – початкова механічна швидкість буріння; $\tilde{h}(t) = h(t) + e_h(t)$ – дійсне переміщення долота $h(t)$ на вибої свердловини; $t \in T$ – неперервний час; T – тривалість інтервалу спостереження протягом рейсу долота

Рисунок 2 – Структура загальної інформаційної моделі об'єкта керування

вхідних керувальних координат \bar{U} (осьової сили на долото F , швидкості його обертання n , витрати промивальної рідини Q), а також вхідних контрольованих і неконтрольованих збурень \bar{f} (міцність, твердість, абразивність, буристість, пластичність та інші властивості гірських порід; пластові тиски, тертя колони бурильних труб в свердловині) у реакції об'єкта керування

\bar{X} (проходка долота h , показник $\lambda(t)$ – коефіцієнт механічної ефективності долота та механічна швидкість буріння v , що характеризують технічний стан озброєння долота).

Для вирішення задачі автоматичного контролю відпрацювання озброєння безопорних доліт типу PDC математичну модель процесу буріння запропоновано створювати у просторі станів [3].

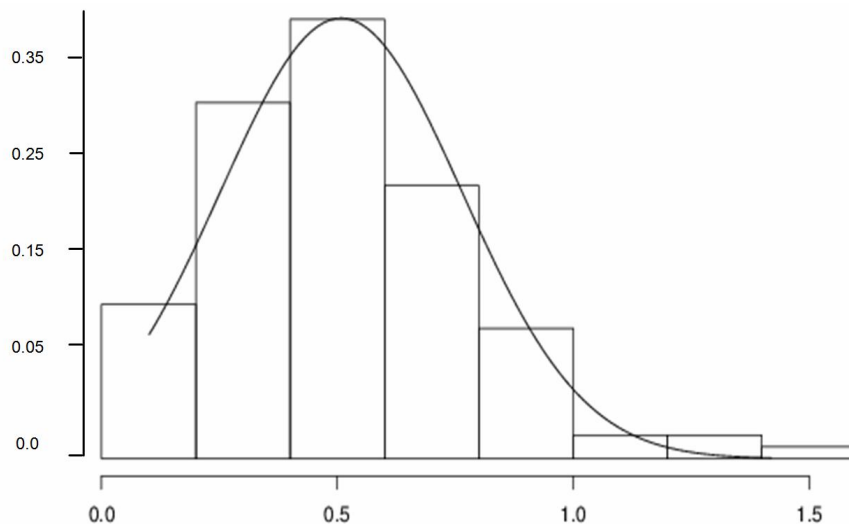


Рисунок 3 – Гістограма і закон розподілу показника механічної ефективності долота $\lambda(t)$

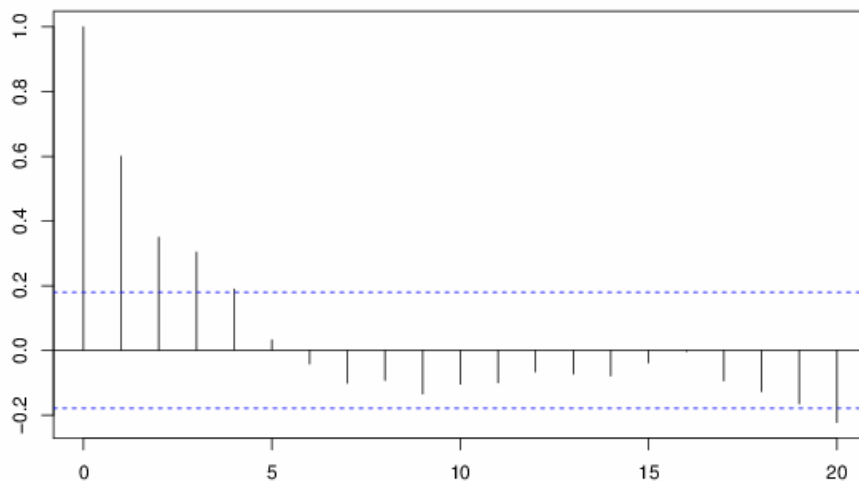


Рисунок 4 – Нормована автокореляційна функція для показника механічної ефективності долота $\lambda(t)$

Як джерело інформації про стан долота на вибої свердловини запропоновано використати коефіцієнт механічної ефективності долота $\lambda(t)$:

$$\lambda(t) = \frac{v(t)}{v_0} \quad (1)$$

На стан об'єкта керування покладено технологічні обмеження

$$F \in \{F_{min}, F_{max}\}; n \in \{n_{min}, n_{max}\}; Q = const \quad (2)$$

На початку рейсу долота

$$h(0) = 0; \lambda(0) = 1 \text{ при } t = 0,$$

а в кінці рейсу –

$$h(t) \geq 0; 0 \leq \lambda(t) \leq 1 \text{ при } t = t_0. \quad (3)$$

На основі аналізу часових рядів коефіцієнта механічної ефективності долота $\lambda(t)$, отриманих під час буріння на Прикарпатті свердловини № 814 долотом вітчизняного виробництва з озброєнням із надтвердих матеріалів ІНМ, були визначені статистичні характеристики

цього процесу з використанням програмного середовища Matlab. Встановлено, що процес $\lambda(t)$ підпорядковується нормальному закону розподілу (перевірку здійснили за критерієм

Пірсона χ^2) (рис. 3) і має:

середнє арифметичне

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,508;$$

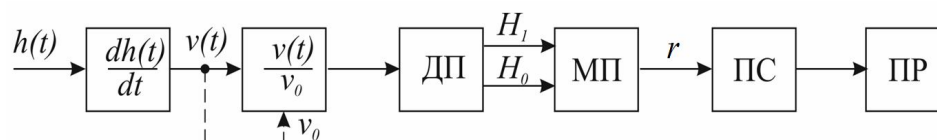
незміщену оцінку дисперсії

$$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\lambda_i - m)^2 = 0,066;$$

асиметрію $A=0,978$;

ексцес $E=1,502$ ($n=118$ – кількість вимірних значень з кроком $\Delta t = 14$ хв.).

Для аналізу інтенсивності зміни випадкового сигналу $\lambda(t)$ в часі визначили оцінку нормованої автокореляційної функції $R_{\lambda\lambda}(t)$ (рис. 4) за допомогою пакету Matlab і її рівняння за допомогою пакету Curve Expert.



ДП – джерело повідомлень; МП – ймовірнісний механізм переходу; ПС – простір спостережень; ПР – правило рішень; r – результат спостережень

Рисунок 5 – Елементи задачі розпізнавання станів долота

Статистичні властивості коефіцієнта механічної ефективності долота характеризуються такою нормованою автокореляційною функцією

$$R_{\lambda\lambda}(\tau) = 0,065 \cdot e^{-0,303(\tau)} \cdot \cos 0,288\tau \quad (4)$$

Отже доведено, що досліджуваний процес $\lambda(t)$ є стаціонарним і ергодичним, має нормальний закон розподілу, коли стан озброєння долота задовільний. Для розв'язання задачі розпізнавання станів долота запропоновано створити послідовну структуру, яку наведено на рис. 5.

Первинний вимірювальний перетворювач створює деяку вихідну величину

$$\lambda(t) = \frac{v(t)}{v_0},$$

яка є оцінкою технічного стану озброєння долота, і вхідною величиною для наступного елемента системи – джерела повідомлень. У випадку визначення критичного стану долота джерело повідомлень ДП є результатом вибору із двох можливих значень $\lambda_1 = 1$ і $\lambda_0 = 0$, які називатимемо гіпотезами і для нашого випадку двох можливих гіпотез позначимо їх H_1 і H_0 . Гіпотеза H_1 відповідає відсутності зношення долота, а H_0 – тому, що долото повністю зношене.

Для створення правила рішень було використано критерій Байєса.

Доведено, що незалежно від розмірності простору спостереження, простір рішень є одновимірним. Сформульовано і розв'язано задачу виявлення зміни оцінки $\lambda(t)$, що дозволило отримати критерій відношення правдоподібності у такому вигляді:

$$\sum_{i=1}^N R_i \frac{H_1}{H_0} \leq \frac{\sigma^2}{m} \ln \eta + \frac{Nm}{2}, \quad (5)$$

де N – кількість результатів спостережень;

R_i – значення ризику;

σ^2 – дисперсія похибки вимірювань;

η – поріг випробовування.

Отже, основною задачею пристрою обробки інформації є підсумовування результатів спостережень і порівнювання їх з деяким порогом η .

Проведено теоретичне обґрунтування математичної моделі для адекватної ідентифікації взаємозв'язків параметрів режиму з показниками процесу буріння нафтових і газових свердловин.

За основний критерій оптимальності процесу буріння прийнято максимум механічної швидкості буріння

$$v_M(x) \xrightarrow{x \in S} \max$$

з обмеженнями

$$S = \left\{ (F_i, n_i)_{i=1, \dots, N^*}; F_{\min} \leq F_i \leq F_{\max}; \right. \\ \left. n_{\min} \leq n_i \leq n_{\max}; \sum_{i=1}^{N^*} h_i = H; h_i > 0 \right\},$$

де $H = \text{const}$ – проектна глибина свердловини, яка може бути розділена на N^* рівнів,

h_i – проходка в i -му рейсі долота.

Для підвищення рівня вірогідності і надійності оцінювання технічного стану алмазного долота запропоновано використати надлишкові вимірювання оцінки сумарної витрати енергії на руйнування породи долотом

$$W = \sum M_i n_i \Delta t_i, \quad (6)$$

де M_i , n_i – крутний момент на долоті і швидкість його обертання на i -й ділянці зміни властивостей розбурюваної породи;

Δt_i – час розбурювання i -го шару породи;

W – величина, яка характеризує зносостійкість долота та задається заздалегідь.

Граничне значення енергії W визначається шляхом інтегральної оцінки енергетичних витрат для кожного типу долота по факту його відпрацювання на вже пробурених свердловинах. Якщо буріння здійснюється в однорідній породі, тоді M і n постійні і умова (6) набуває вигляду

$$\sum \Delta t_i = T_0 = \frac{W}{Mn}, \quad (7)$$

де T_0 – час відпрацювання долота.

Під час переходу долота в породу з іншими властивостями змінюється механічна швидкість буріння і система управління переходить в режим роботи з новими керувальними діями. При цьому продовжується відлік суми добутку $\sum M_i n_i \Delta t_i$ до тих пір, поки не буде виконано умов

$$\sum M_i n_i \Delta t_i = W,$$

що свідчить про завершення відпрацювання долота і необхідність підйому його для заміни.

Проте, внаслідок апріорної та поточної невизначеності процесу буріння ця інформація має недостатню вірогідність і може статися так,

що долото може бути підняте із свердловини для заміни, коли воно ще є працездатним. Тому потрібна додаткова інформація про фактичний стан долота на завершальному етапі його роботи. Для подолання інформаційної невизначеності цього процесу запропоновано використати теорію розпізнавання образів, яка дозволяє розпізнавати стани контрольованого об'єкта шляхом віднесення конкретної технологічної ситуації, що виникла, до тієї або іншої заздалегідь визначеної категорії. Використано методику розпізнавання образів з метою оцінювання ситуацій для передбачення можливого характеру протікання процесу та прийняття рішення про вибір керувальних дій для ефективного відпрацювання доліт [11].

Задачу виявлення початку катастрофічного зношення озброєння долота типу PDC запропоновано вирішити за допомогою аналізу зміни показника механічної ефективності долота $\lambda(t)$ з використанням методів аналізу часових рядів. Виходячи з природи явища зношення полікристалічного озброєння доліт типу PDC, спостерігаючи за процесом буріння, запропоновано виміряти значення показника $\lambda(t)$ в різні моменти часу t_1, t_2, \dots, t_n і отримати дискретний часовий ряд $\lambda_{t_1}, \lambda_{t_2}, \dots, \lambda_{t_n}$. Цей часовий ряд є вибіркою спостережень із однієї реалізації випадкового процесу. На основі аналізу цієї вибірки запропоновано робити певні висновки стосовно характеру процесу зношення озброєння долота.

Запропоновано модель, у якій прогнозована величина λ явно виражається через інші параметри моделі у загальному вигляді:

$$\bar{\lambda} = f(\bar{a}, \bar{x}) + \varphi(\bar{b}, \bar{x})\xi, \quad (8)$$

де $f(\bar{a}, \bar{x})$, $\varphi(\bar{b}, \bar{x})$ – деякі детерміновані функції;

\bar{x} – вектор відомих параметрів, однією із складових якого є дискретний час $k=1, 2, \dots, \dots$;

\bar{a}, \bar{b} – вектори невідомих параметрів моделі, що підлягають ідентифікації;

ξ – випадковий процес (завада) з нульовим математичним сподіванням.

Оскільки в моделі (8) використовується дискретний час $k=1, 2, \dots, \dots$, то виникла необхідність у визначенні частоти контролю технологічних параметрів процесу буріння. Показано, що швидкість зміни параметрів залежить не тільки від ступеня зношеності озброєння долота, типорозміру долота, особливостей геологічного розрізу, витрати промивальної рідини, але й багатьох інших факторів, що важко піддаються обліку. Тому для визначення періодичності контролю замість часу Δt запропоновано використати час ексцесу t_e , тобто час, за який сигнал відхиляється від заданого і досягає допустимого для даного параметра значення. Умова своєчасного виявлення контрольованого параметра сформульована у такому вигляді:

$$t_e = t_0 \cdot m \rightarrow \min, \quad (9)$$

де t_0 – час обслуговування, тобто час, який потрібен системі контролю для порівняння поточного значення сигналу з границями аварійної зони;

m – кількість давачів в системі контролю процесу відпрацювання долота.

Наведено результати аналізу залежностей частоти дискретного контролю відхилень технологічних параметрів процесу буріння за межі норми від ширини зони нормальних значень і ймовірності виходу контрольованого параметра із цієї зони. Цю задачу розглянуто на прикладі контролю показника механічної ефективності долота

$$\lambda = v_t v_0^{-1},$$

який отримано в результаті експерименту на свердловині №522 ГС Прикарпатського УБР при бурінні буровим верстатом «Уралмаш-4Е-76» (проектна глибина 2200 м). Показано, що показник $\lambda(t)$ може набувати значень з двох можливих областей: область допустимих значень, яка відповідає нормальному технічному стану озброєння долота; область значень, яка відповідає критичному стану озброєння долота (рис. 6).

Верхню і нижню межу середніх значень λ запропоновано визначати, користуючись оцінками математичного сподівання $\bar{\lambda}_0$ і дисперсії σ_λ^2 :

$$K_{\bar{\lambda}_n} = \bar{\lambda}_0 - \left(\frac{S_\lambda}{\sqrt{\tilde{N}}/2} \right) t_{q_{1/2}}, \quad (10)$$

$$K_{\bar{\lambda}_g} = \bar{\lambda}_0 + \left(\frac{S_\lambda}{\sqrt{\tilde{N}}/2} \right) t_{q_{1/2}},$$

де $\bar{\lambda}_n, \bar{\lambda}_g$ – середні значення проведених вимірювань λ ;

S – середнє квадратичне відхилення;

\tilde{N} – кількість послідовних вимірювань $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$;

q_1 – вибраний рівень значущості;

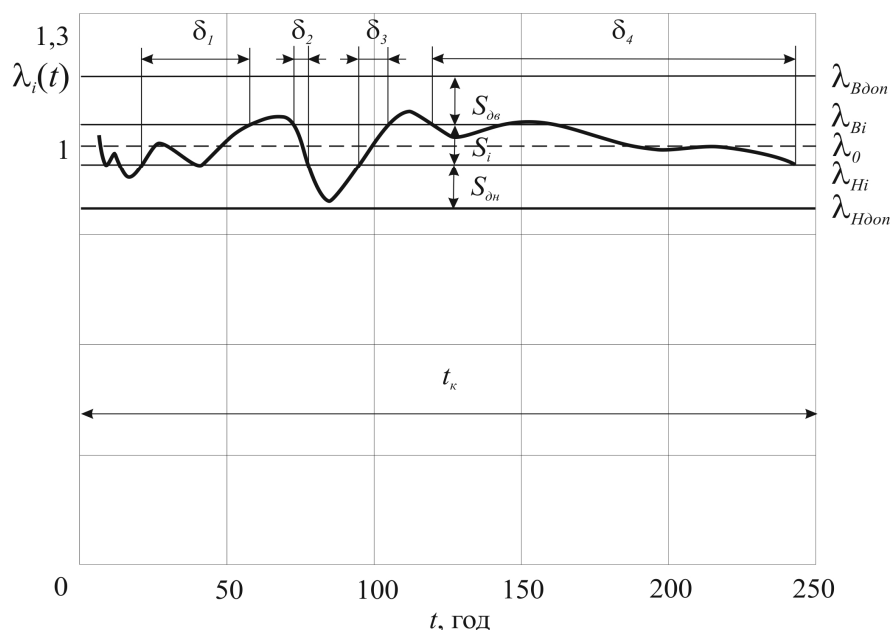
$t_{q_{1/2}}$ – взято з таблиць для рівня значущості

$q = q_{1/2}$ і числа ступенів вільності $\nu = \tilde{N} - 1$.

Враховуючи сказане, середня частота операцій контролю збігається з середньою частотою знаходження параметра λ в зоні P_i і може бути визначена за формулою

$$f_k = \frac{\tilde{N}_{cep}}{\sum_{j=1}^n \delta_j}. \quad (11)$$

За формулою (11) розраховано частоти дискретного контролю показника $\lambda(t)$ для поглиблення свердловини долотами типу PDC і побудовано графіки залежностей $f_k(S_i)$ для різних значень ймовірностей P_i виходу параметра із зони P_i (рис. 7).



$\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$ – відрізки існування сигналу в зоні нормальних значень;
 $S_{дв}, S_{дн}$ – зони допустимих відхилень від верхніх λ_{Bi} і нижніх λ_{Hi} границь;
 $\lambda_{в доп}, \lambda_{н доп}$ – верхня і нижня межа допустимих відхилень, t_k – повний час контролю

Рисунок 6 – Графік контролю відхилень показника $\lambda_i(t)$ від норми

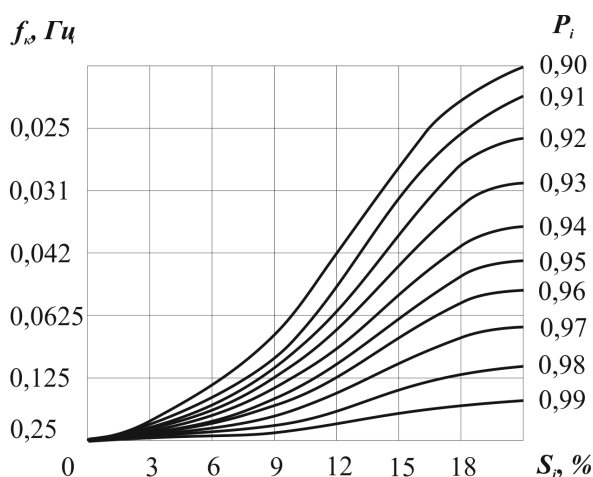


Рисунок 7 – Графіки залежностей частоти контролю показника $\lambda(t)$ від ширини зони нормальних значень P_i для різних значень ймовірностей P_i виходу параметра $\lambda(t)$ із зони P_i

На основі експертних оцінок критеріїв відпрацювання алмазних доліт встановлено, що перевагу слід надавати чотирьом алгоритмам, які забезпечують підвищену точність виявлення початку катастрофічного зношення полікристалічного озброєння доліт.

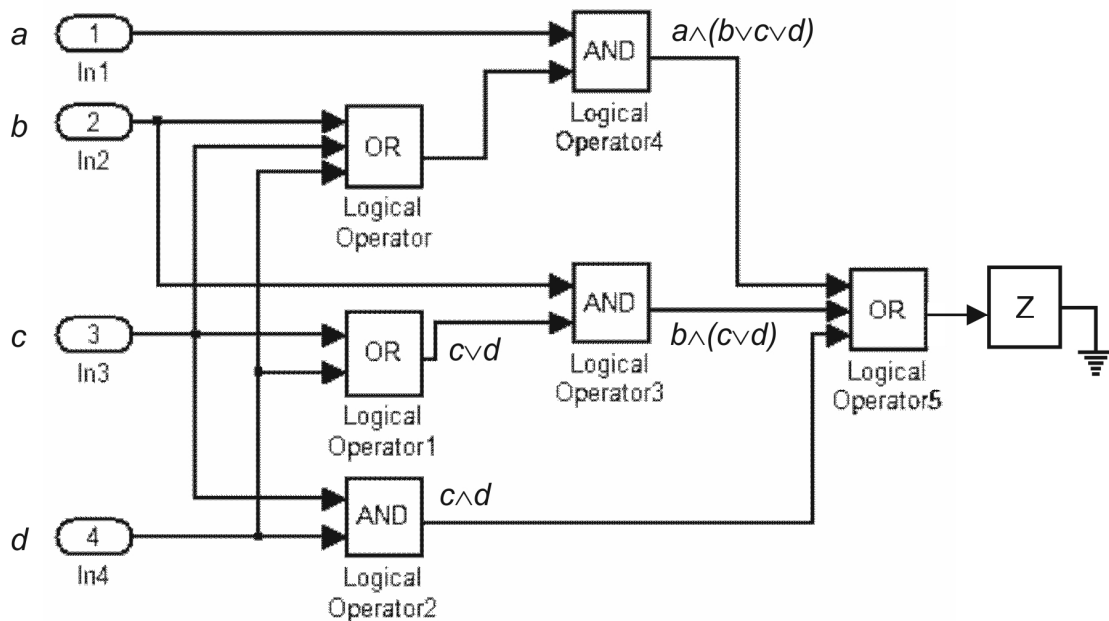
Синтезовано критичний закон ідентифікації відпрацювання доліт типу PDC за умов априорної і поточної невизначеності як щодо параметрів об'єкта, так і діючих на нього збурень, який ґрунтується на використанні надлишкових вимірювальних сигналів.

Це дозволило синтезувати однокантну релейну схему пристрою автоматизованого контролю відпрацювання доліт типу PDC (рис. 8) [6, 7], на основі якої побудована принципова схема пристрою контролю.

Основні стани контрольованого об'єкта ідентифікуються як «працездатний стан долота», «непрацездатний стан долота», «передаварійний стан» (характеризує появу відомих ускладнень та передаварійних ситуацій процесу буріння) та «невизначений стан» (всі інші ситуації, що можуть виникнути в процесі буріння, ідентифікація яких неможлива).

Запропоновано використовувати нейромережевий класифікатор [8], основою якого є шар Кохонена, що складається з деякої кількості n адаптивних лінійних суматорів, які діють паралельно (лінійних формальних нейронів) [12]. Всі вони мають однакову кількість входів m і отримують на свої входи один і той же вектор вхідних сигналів $x = (x_1 \dots x_n)$. Для формування бази класів можливих станів долота як контрольованого об'єкта виконали кластерний аналіз, що розбиває множину станів на класи.

Дані, що подаються на входи шару Кохонена, подають у вигляді вектора діагностичних ознак (станів) у N -вимірному евклідовому просторі, правильно промасштабовані для подальшого їх оброблення. Дискретні значення контрольованих технологічних параметрів подаються на вхід мережі. Ці дані є набором із m точок $\{X^P\}$ в n -вимірному просторі. Необхідно розбити цю множину точок $\{X^P\}$ на k класів, близьких стосовно квадрату евклідової відстані. Для цього необхідно знайти k точок a^l



Z – виконавчий механізм, a, b, c, d – вхідні логічні змінні

Рисунок 8 – Структурна схема логічного пристрою автоматизованого контролю відпрацювання алмазних доліт

таких, що $D = \sum_{l=1}^k \sum_{x \in P_l} \|a^l - x\|$, та мінімальне

$$P_l = \{x : \|a^l - x\| < \|a^q - x\|, \forall q \neq l\}.$$

Розроблено алгоритм, який реалізує задачу класифікації, а також неймережу оцінки зношення долота на вибої свердловини (рис. 9), яка є складовою частиною загальної системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням доліт в умовах невизначеності процесу буріння свердловин.

Особливістю мережі є наявність трьох шарів з прямою передачею сигналу. Кожен формальний нейрон, що входить до мережі, реалізує одну розділюючу пряму або площину, внаслідок чого в сукупності отримуємо досить складну криву або поверхню (поверхні) розділення станів.

Пред'явлення мережі вхідних параметрів процесу буріння здійснюється у певних проміжках часу – кроках $k = \Delta t$. Вхідними сигналами неймережі є: механічна швидкість буріння $v(k)$, частота обертання породоруйнівного інструменту $n(k)$, момент на породоруйнівному інструменті $M(k)$. Два інших входи $M(k-1)$ і $\lambda(k-1)$ можуть бути визначені з попередніх значень моменту на породоруйнівному інструменті $M(k)$ та оцінки механічної ефективності породоруйнівного інструменту $\lambda(k)$. Запропоновано процес навчання мережі, який здійснюється таким чином: надаються P зразків $\{x^p, d^p\}$ ($p=1, 2, \dots, P$) набору вхідних технологічних параметрів процесу буріння $x^p = [v(k), n(k), M(k), M(k-1), \lambda(k-1)]^p$ та бажаний

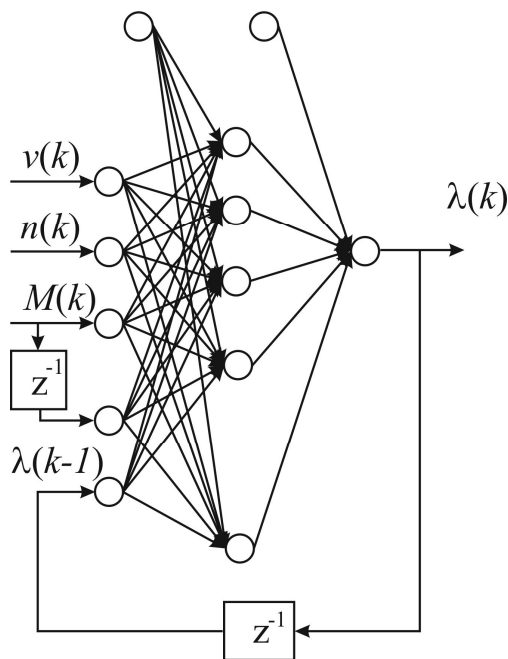


Рисунок 9 – Неймережа прямого поширення для оцінки зношення озброєння долота типу PDC на вибої свердловини

ний вихід $[\lambda(k)]^p$, який характеризує ступінь відпрацювання породоруйнівного інструменту.

Ступінь відпрацювання породоруйнівного інструменту – $[\lambda(k)]^p$ змінюється в межах $[0, 1]$ і визначається в результаті обробки експертної інформації з використанням методів Fuzzy Logic. Для перевірки функціонування розробленого неймережевого алгоритму, змодельоване виникнення ситуації, що характеризує суттєве зношення долота.

На рис. 10 видно, що технологічна ситуація потрапила у верхню праву частину мапи Кохонена, де знаходиться кластер стану, що відповідає зношенню долота.

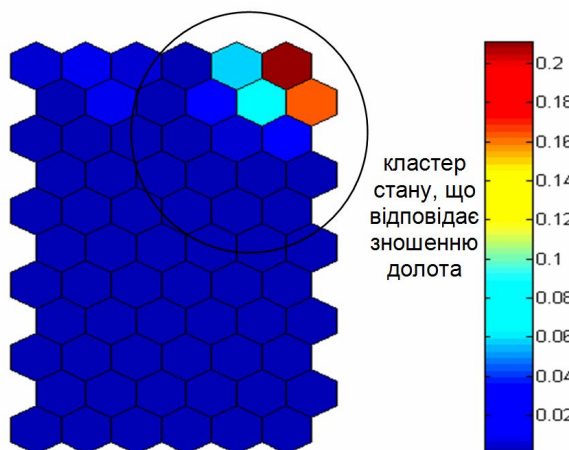


Рисунок 10 – Результати імітаційного моделювання нейромережевого класифікатора

Дана самоорганізувальна мапа (SOM) готова для роботи в реальному часі. При попаданні будь-якої з вище наведених ускладнень на SOM оператор матиме змогу швидко ідентифікувати її тип і прийняти відповідні рішення щодо їх усунення.

Розроблено структуру системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту (рис. 11).

Основним елементом системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень є блок розпізнавання поточного функціонального стану об'єкта керування. Завдання цього блоку полягає у віднесенні поточного стану об'єкта керування (вхідного образу) до одного з можливих заздалегідь визначених станів (класів розпізнавання) або видачі висновку про те, що поточний стан не відомий системі.

Розроблена система інтелектуальної підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту

технічно може бути інтегрована в системи контролю і управління процесом буріння типу СКУБ-М2 або в її зарубіжні аналоги.

Висновки

Проведений аналіз проблеми ідентифікації та контролю відпрацювання доліт типу PDC з метою підвищення ефективності автоматизованого управління процесом буріння свердловин на нафту і газ виявив, що відомі рішення, які базуються на емпіричних моделях, мають обмежене застосування, оскільки в більшості призначені для шарошкових доліт традиційних типів, та не враховують різноманітність геолого-технологічних умов, в яких може перебувати долото під час буріння. Тому на особливу увагу заслуговує ідея застосування для вирішення задачі управління відпрацюванням доліт типу PDC штучного інтелекту.

На основі експериментальних даних досліджено взаємозв'язки коефіцієнта механічної ефективності долота з керувальними діями, аналіз інформаційних властивостей процесу буріння нафтових і газових свердловин долотами типу PDC з врахуванням його нестаціонарності і нелінійності. Показано, що джерелом інформації про стан озброєння долота на вибої свердловини є поточна інформація про процес поглиблення свердловини, який характеризується механічною швидкістю проходки, моментом на долоті, осьовим зусиллям на долото та швидкістю його обертання. Встановлено, що при постійних параметрах режиму буріння зміна основних показників у часі є випадковими ергодичними процесами, а на завершальному етапі роботи долота процес його відпрацювання стає нелінійним нестаціонарним (розвивається в часі) і відбувається за умов апріорної та поточної невизначеності, що дає змогу вирішити задачу ідентифікації та контролю відпрацювання долота інтелектуальними методами оперативної ідентифікації.

Вперше на основі аналізу статистичних характеристик коефіцієнта механічної ефективно-

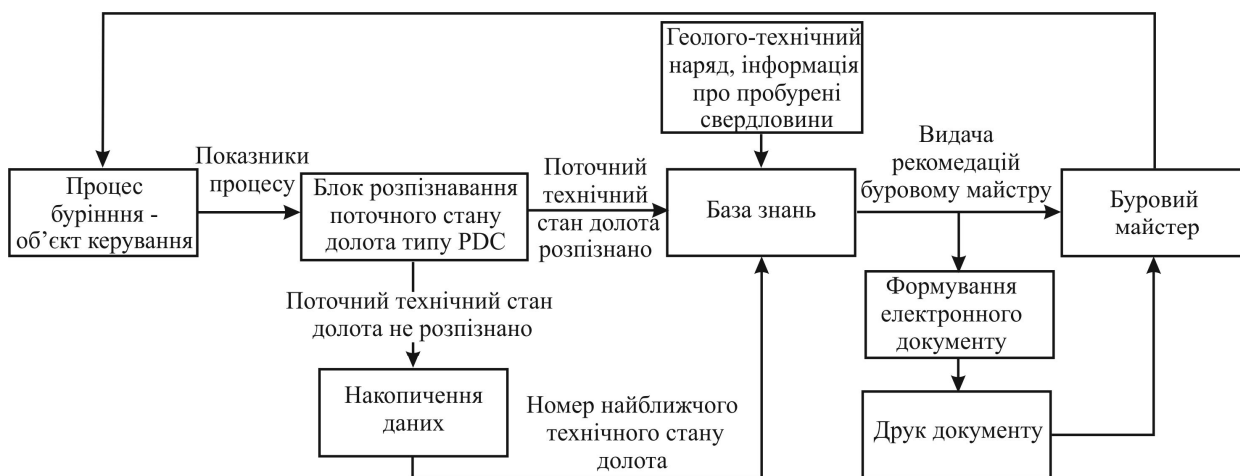


Рисунок 11 – Структурна схема системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту

сті долота розроблено інформаційну модель контролю відпрацювання доліт типу PDC, яка відображає причинно-наслідкові зв'язки технологічних параметрів із змінами технічного стану його озброєння. Це дало змогу сформулювати ефективний критерій контролю зношення долота під час роботи на вибої свердловини, який дозволяє оцінити якість відпрацювання алмазного долота, запобігти його передчасному підйому і перетримці, що забезпечує безаварійну проводку свердловини та підвищує техніко-економічні показники буріння.

На основі аналізу залежності частоти дискретного контролю відхилень показника механічної ефективності долота за межі норми від ширини зони нормальних значень і ймовірності виходу контрольованого параметра із цієї зони встановлено нелінійні взаємозв'язки та побудовано графіки залежностей інтервалів часу дискретного контролю механічної ефективності долота від заданої ймовірності контролю для різних значень показників, що дозволяє вибрати оптимальну періодичність автоматизованого дискретного контролю в режимі реального часу.

Удосконалено підхід до автоматизації процесу управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту стираючої дії в умовах апріорної і поточної невизначеності процесу буріння шляхом доповнення існуючих локальних систем автоматизованого керування режимами буріння підсистемою нейромережевої ідентифікації, побудованої на основі нейромережі Кохонена та мережі прямого поширення, яка дозволяє періодично контролювати технічний стан долота і на основі застосування методів кластерного аналізу розпізнавати основні стани, в яких може працювати долото: «працездатний», «непрацездатний», «передаварійний», «невизначений».

Розроблено нову структуру та алгоритм функціонування системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням алмазних доліт типу PDC в процесі поглиблення свердловини на основі процедури нейромережевої ідентифікації, яка реалізована з використанням промислової системи контролю і управління процесом буріння типу СКУБ-М2, де керувальні дії визначаються як розв'язок задачі оптимізації за узагальненим критерієм, що дає змогу забезпечити високу ефективність процесу прийняття рішень.

Література

1 Горбійчук М.І. Оптимізація процесу буріння глибоких свердловин / М.І. Горбійчук, Г.Н. Семенов. – Івано-Франківськ: Факел, 2003. – 493 с.

2 Заміховський Л.М. Аналітичні дослідження залежності зносу шарошkových доліт від впливових факторів / Л.М. Заміховський // Розвідка і розробка нафтових і газових родовищ. – 1999. – №36 (том 6). – С. 198 – 204. – Серія: Технічна кібернетика та електрифікація об'єктів паливно-енергетичного комплексу.

3 Чигур Л.Я. Інформаційна модель контролю технічного стану доліт типу PDC та В-критерій прийняття рішень / Л. Я. Чигур // Нафтогазова енергетика. – 2011. – №1(14). – С.85-90.

4 Мислюк М. А. Буріння свердловин / М. А. Мислюк., І. Й. Рибчин, Р. С. Яремійчук. – К., 2004. – 376 с.

5 Ситников Н.Б. Влияние износа породоразрушающего инструмента на оптимальные значения режимных параметров при алмазном бурении скважин / Н.Б. Ситников // Изв. вузов. Горный журнал. – 1990. – №7. – С. 67-70.

6 Чигур Л. Я. Синтез інформаційних моделей для ідентифікації та контролю технічного стану озброєння доліт нового покоління / Л. Я. Чигур, Г. Н. Семенов // Нафтогазова енергетика. – 2010. – №1(12). – С. 102-105.

7 Чигур Л. Я. Інтелектуальний пристрій на нечіткій логіці для розпізнавання образів у бурінні / Л. Я. Чигур, Г. Н. Семенов, І. І. Чигур, М. І. Когутяк, Я. Р. Когуч, М. В. Шавранський // Нафтогазова енергетика. – 2009. – №1(10). – С. 75-77.

8 Чигур Л. Я. Нечіткий контроль технічного стану алмазних доліт при бурінні свердловин електробурами / Л. Я. Чигур, Г. Н. Семенов // Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. – 2004. – №3. – С. 24-28.

9 Стетюха Е. И. Моделирование и оптимизация процесса отработки долота / Е. И. Стетюха, А. А. Полев // Автоматизация и телемеханизация в нефтяной промышленности. – М.: ВНИИОЭНГ, 1984. – С. 14–19.

10 Чигур Л. Я. Методи визначення ефективних керувальних дій для автоматизації процесу керування відпрацюванням доліт / Л. Я. Чигур // Нафтогазова енергетика. – 2012. – №1(17). – С.50-59.

11 Чигур Л. Я. Обґрунтування прийняття рішень про момент логічного завершення рейсу долота PDC / Л. Я. Чигур, Ю. Б. Долішня // Нафтогазова енергетика. – 2010. – №2(13). – С.12-14.

12 Чигур Л. Я. Нейромережева оцінка технічного стану породоруйнівного інструменту / Л. Я. Чигур, Г. Н. Семенов, І. І. Чигур // Вісник технологічного університету Поділля. – 2004. – Ч.1., Том 1. – С. 196-198.

*Стаття надійшла до редакційної колегії
23.04.14*

*Рекомендована до друку
професором **Горбійчуком М.І.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
професором **Тодорцевим Ю.К.**
(Одеський національний політехнічний
університет, м. Одеса)*