

681.518 (043)  
4-58

Міністерство освіти і науки України  
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу

ЧИГУР ЛЮДМИЛА ЯРОСЛАВІВНА

УДК 681.518:622.24 ~~6804.94~~

+004.8(043)

4-58

**СИСТЕМА ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ  
ВІДПРАЦЮВАННЯМ ПОРОДУРІЙНИВНОГО ІНСТРУМЕНТУ  
СТИРАЮЧОЇ ДІЇ В ПРОЦЕСІ БУРІННЯ**

Спеціальність 05.13.07 – автоматизація процесів керування

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук



Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу Міністерства освіти і науки України

**Науковий керівник:**

доктор технічних наук, професор

**Семенцов Георгій Никифорович**

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,

завідувач кафедри автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології.

**Офіційні опоненти:**

доктор технічних наук, професор

**Мещеряков Леонід Іванович**

Дніпропетровський національний гірничий університет, завідувач кафедри програмного забезпечення комп'ютеризованих систем;

доктор технічних наук, професор

**Тодорцев Юрій Костянтинович**

Одеський національний політехнічний університет, професор кафедри автоматизації теплоенергетичних процесів.

Захист відбудеться 28 травня 2013 р. о 13<sup>00</sup> годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15).

Автореферат розісланий «23» квітня 2013 р.

Вчений секретар

спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03,  
кандидат технічних наук, професор

М. М. Дранчук



an2368

## АГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

*Актуальність теми.* Задача управління відпрацюванням бурових доліт є підзадачею загальної проблеми оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин, зокрема буровими 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 підйому 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 сполучення 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 бурових 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.

*Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.* Дисертаційна робота виконана у відповідності з основним науковим напрямком діяльності кафедри автоматизації технологічних процесів та моніторингу в екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ). Тематика роботи є частиною планових науково-дослідних робіт із розвитку нафтогазового комплексу України та базується на результатах держбюджетних тем Д4-01-Ф «Наукові основи контролю, управління і екологічного моніторингу об'єктами нафтового комплексу України» (ДР №0101U001664), «Автоматизоване управління технологічними процесами буріння, видобування, транспортування, збереження і переробки нафти і газу» (затв. Науковою радою ІФНТУНГ 04.10.2004, пр №8), «Синтез комп'ютерних систем та розробка програмного забезпечення для об'єктів нафтогазового комплексу» (ДР №0111U005890).

an 2368 - an 2368

У рамках зазначених тем автором безпосередньо було виконано розділи робіт із розроблення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту стираючої дії.

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є підвищення ефективності процесу буріння нафтових і газових свердловин за рахунок оптимального відпрацювання доліт на вибої свердловини, що досягається розробкою системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту стираючої дії в умовах невизначеності процесу буріння.

Досягнення поставленої мети здійснюється розв'язанням таких основних задач:

- комплексний аналіз сучасних методів управління відпрацюванням доліт і вибір структури моделі, методу і критерію оцінювання, призначених для вирішення задачі ідентифікації та контролю відпрацювання бурових доліт за умов невизначеності процесу буріння;
- встановлення взаємозв'язків коефіцієнта механічної ефективності долота як показника відпрацювання доліт з керувальними діями та розробка інтелектуального методу і алгоритму оперативної ідентифікації відпрацювання бурових доліт стираючої дії типу PDC на завершальному етапі їх роботи;
- дослідження статистичних характеристик коефіцієнту механічної ефективності долота як часової послідовності, що спостерігається в процесі буріння свердловини;
- встановлення періодичності контролю відхилення коефіцієнта механічної ефективності долота та зв'язків її з шириною зони нормальних значень для різних ймовірностей виходу контрольованого параметру з цієї зони;
- удосконалення підходу до автоматизації процесів управління відпрацюванням доліт на базі нейромережевого методу і вибір архітектури для відновлення коефіцієнта механічної ефективності долота в реальному часі, проведення імітаційного моделювання розроблених моделей і методів;
- удосконалення структури системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту стираючої дії типу PDC в процесі буріння на основі запропонованих моделей і методів.

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

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

**Методи дослідження:** 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 EOM.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Вперше:

- на основі встановлених зв'язків коефіцієнта механічної ефективності долота з керувальними діями процесу буріння нафтових і газових свердловин як об'єкта керування, розроблено метод автоматизованого контролю відпрацювання доліт для виявлення їх критичного зносу на завершальному етапі роботи інтелектуальними методами оперативної ідентифікації, що дозволяє підвищити надійність управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту стираючої дії, знизити аварійність процесу буріння;
- на основі аналізу статистичних характеристик коефіцієнту механічної ефективності долота доведено, що контрольований процес є стаціонарним, ергодичним і має нормальний закон розподілу на стадії нормальної експлуатації долота, що дає змогу на початку катастрофічного зношення долота, коли контрольований процес змінює свої характеристики, забезпечити з використанням розробленої інформаційної моделі діагностування даного об'єкта в процесі його функціонування, запобігти його передчасному підйому і перетримці та забезпечити безаварійну провідку свердловини і підвищити техніко-економічні показники буріння;
- встановлено зв'язки періодичності оперативного контролю відпрацювання бурових доліт типу PDC з шириною зони нормальних значень і ймовірністю виходу контрольованого параметру з цієї зони, що дало змогу розробити ефективний критерій, а на його основі – алгоритм автоматизованого контролю відпрацювання доліт типу PDC в реальному часі і дозволяє вибрати оптимальний період автоматизованого дискретного контролю.

**Удосконалено:**

- підхід до автоматизації процесу управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту стираючої дії в умовах апріорної і поточної невизначеності щодо структури і параметрів об'єкта шляхом доповнень існуючих локальних систем автоматизованого керування режимами буріння підсистемою нейромережевої ідентифікації, побудованої на основі мережі Кохонена та мережі прямого поширення, які дозволяють періодично контролювати технічний стан долота і розпізнавати його основні стани – «працездатний», «непрацездатний», «передаварійний», «невизначений»;
- на основі запропонованих моделей і методів структуру системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту стираючої дії типу PDC, яка підвищує надійність і вірогідність процесу прийняття рішень і може бути реалізована на базі сучасних промислових систем контролю і керування процесом буріння нафтових і газових свердловин.

**Практичне значення одержаних результатів.** Розроблені в дисертаційній роботі моделі, метод, а також алгоритмічне забезпечення дають змогу вирішувати задачу підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням бурових доліт

типу PDC в процесі буріння нафтових і газових свердловин. Одержані результати є базою для розробки технічних рішень, спрямованих на підвищення ефективності автоматизованого керування процесом буріння, які прийняті до впровадження в Прикарпатському УБР ПАТ «Укрнафта» (акт впровадження від 03.12.2012р.).

Окремі розділи дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі ІФНТУНГ на кафедрі автоматизації технологічних процесів і моніторингу в екології при підготовці і читанні курсу «Автоматизація технологічних процесів в нафтовій і газовій промисловості» для студентів спеціальності 7.050202 – автоматизоване управління технологічними процесами (акт впровадження від 03.12.2012р.).

**Особистий внесок здобувача.** Всі наукові результати та положення дисертаційної роботи одержані автором особисто. У роботах, написаних із співавторами, здобувачеві належать такі результати: здійснено аналіз і обґрунтування прийняття рішень про момент логічного завершення рейсу долота PDC [3]; розроблено математичну модель процесу буріння нафтових і газових свердловин долотами нового покоління [4]; розроблено інформаційну модель для ідентифікації та контролю технічного стану озброєння доліт нового покоління [5]; розроблено методологію нечіткого контролю технічного стану алмазних доліт при бурінні свердловин електробурами [7]; запропоновано ідею використання нейромережі для оцінки технічного стану породоруйнівного інструменту [8]; запропоновано методологію підходу до структурного синтезу пристрою контролю технічного стану бурових доліт нового покоління типу [13]; розроблено загальну структуру адаптивної системи оптимального керування процесом буріння нафтових і газових свердловин [16]; розроблено структуру мультиплікативної математичної моделі процесу буріння свердловини полікристалічними долотами нового покоління [18]; побудовано формальний підхід до автоматизованого контролю технічного стану алмазного породоруйнівного інструменту при бурінні свердловин на нафту і газ [21]; обґрунтовано формально-логічний підхід при використанні нейронної мережі Хеммінга для розпізнавання образів у бурінні [24].

**Апробація результатів дисертації.** Основні теоретичні та практичні результати дисертаційної роботи доповідалися і обговорювалися на: розширеному науковому семінарі кафедри автоматизації технологічних процесів та моніторингу в екології Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (2012 р.); міжнародній конференції «Автоматика - 2012», (Київ, 2012); міжнародній конференції «Vedecky prumysl evropskeho kontinentu - 2011», (Прага, 2011); міжнародній науково-практичній конференції «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2011», (Одеса, 2011); міжнародній конференції «Наукові дослідження та їх практичне застосування. Сучасний стан та їх шляхи розвитку 2010», (Одеса, 2010); міжнародній науково-практичній конференції «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2010», (Одеса, 2010); міжнародній конференції з автоматичного управління «Автоматика - 2010», (Харків, 2010); міжнародній науково-практичній конференції «Современные направления теоретических и прикладных исследований 2010», (Одеса, 2010); міжнародній науково-практичній конференції «Naukowa mysl

інформаційного віку - 2010», (Перемишль, 2009); міжнародній науково-практичній конференції «Динаміка наукових досліджень 2004», (Дніпропетровськ, 2004); міжнародні конференції «Fuzzy Colloquium 2004», (Цітай, 2004); міжнародній науково-практичній конференції «Інтелектуальні системи прийняття рішень та інформаційні технології», (Чернівці, 2004); міжнародній науково-практичній конференції «Наука і освіта 2004», (Дніпропетровськ, 2004); міжнародній науково-практичній конференції «Україна наукова 2003», (Дніпропетровськ, 2003).

**Публікації.** Основні положення дисертаційної роботи викладено у 24 публікаціях, у тому числі у 9 статтях (із них 2 одноосібних) у фахових наукових виданнях України та 15 публікаціях (із них 2 одноосібних) за матеріалами Міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається із вступу, 4 розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел. Повний обсяг дисертації складає 187 сторінок, із них 135 сторінок основного тексту, що містить 42 рисунки і 8 таблиць та 2 додатки на 37 сторінках. Список використаних джерел із 135 найменувань на 15 сторінках.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У *вступі* обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та визначено задачі дослідження, наведено наукову новизну та практичне значення отриманих результатів, розглянуто особистий внесок здобувача та наведено відомості про апробацію основних положень роботи.

У *першому розділі* здійснено аналіз літературних джерел, окреслено основні етапи розвитку наукової думки щодо існуючих підходів до проблеми керування відпрацюванням доліт в процесі буріння нафтових і газових свердловин. Критично висвітлено роботи попередників, що дозволило окреслити питання, які потребують подальшого вирішення. Подано характеристику процесу буріння як об'єкта керування, відображено його структурну схему, що дало змогу виявити інформаційні ознаки, що характеризують стан долота на вибої свердловини. Наведено класифікацію полікристалічних бурових доліт нового покоління, та проаналізовано показники їхньої роботи.

Значний внесок у вирішення науково-технічних завдань управління відпрацюванням доліт на основі поточної інформації здійснили М. Б. Барєєв, В. Г. Бєліков, Н. А. Бондаренко, М. І. Горбійчук, Е. Р. Джамалов, А. Н. Жуковський, Л. М. Заміховський, С. Ф. Кукурудз, В. Б. Марін, В. А. Мечнік, І. П. Петров, Ю. Ф. Потапов, В. І. Самсоненко, В. А. Саркісов, М. Б. Сітніков, Г. Н. Семенцов, Є. І. Стєтюха та ін.

Розглянуто і проаналізовано систему керування режимами буріння нафтових і газових свердловин (рис. 1).

Показано, що для підвищення ефективності управління процесом відпрацювання безпорних полікристалічних доліт нового покоління типу РДС доцільно застосувати неймережі з архітектурами, здатними до відновлення стохастичних характеристик і навчання в реальному часі в темпі надходження інформації з об'єкта керування.

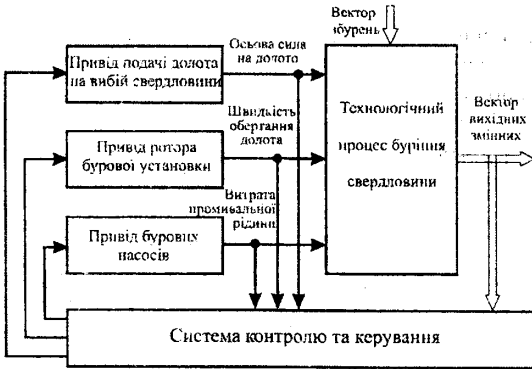


Рисунок 1 – Система керування режимами буріння нафтових і газових свердловин

*Другий розділ* присвячено теоретичному обґрунтуванню методу автоматизованого керування відпрацюванням безопорних бурових доліт типу PDC. Розроблено інформаційну модель контролю відпрацювання бурових доліт типу PDC: теоретично обґрунтовано математичну модель для адекватної ідентифікації взаємозв'язків параметрів режиму з показниками процесу буріння нафтових і газових свердловин, визначено метод розпізнавання образів для ідентифікації зношення долота.

Проведено аналіз процесу буріння як об'єкта керування, що є нелінійним нестационарним невідтворюваним багатофакторним стохастичним об'єктом, та функціонує за умов апіорної та поточної невизначеності щодо структури та параметрів і перебуває під впливом зовнішніх завад.

Процес буріння як об'єкт керування формалізований у вигляді багатовимірної системи (рис.2) однонаправленого перетворення вхідних керувальних координат: осьової сили на долото  $F(t)$ , швидкості його обертання  $n(t)$ , витрати промивальної рідини  $Q(t)$ , а також вхідних контрольованих і неконтрольованих збурень  $\vec{f}$  (міцність, твердість, абразивність, буримість, пластичність та ін. гірських порід; пластові тиски, тертя колони бурильних труб в свердловині) у реакції об'єкта керування проходка долота  $h(t)$ , показник, що характеризує технічний стан озброєння долота  $\lambda(t)$ ,  $a$  – апіорна інформація, яку отримують на основі інформації про раніше пробурені свердловини та досвіду спеціалістів;  $e_r(t)$ ,  $e_n(t)$ ,  $e_q(t)$ ,  $e_h(t)$  – адитивні шуми в вимірювальних каналах;  $t_b$  – час буріння;  $h(t_i)$  – проходка на долото;  $q$  – собівартість метра проходки;  $v_p$  – рейсова швидкість буріння;  $v_e$  – економічна швидкість буріння;  $v_0$  – початкова механічна швидкість буріння;  $\vec{h}(t) = h(t) + e_h(t)$  – дійсне переміщення долота на вибої свердловини;  $\vec{Q}(t)$ ,  $\vec{F}(t)$ ,  $\vec{n}(t)$  – дійсні значення параметрів режиму буріння;  $t \in T$  – неперервний час;  $T$  – тривалість інтервалу спостереження протягом рейсу долота.

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



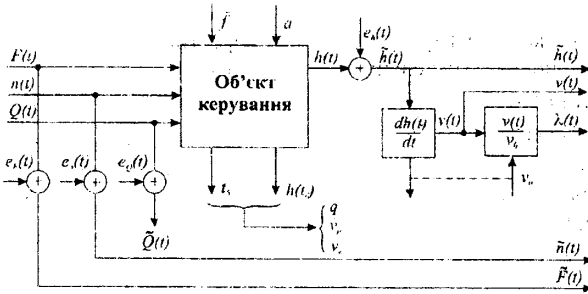


Рисунок 2 – Структура загальної інформаційної моделі об'єкта керування

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

$$F \in \{F_{\min}, F_{\max}\},$$

$$n \in \{n_{\min}, n_{\max}\} Q = \text{const.} \quad (2)$$

На початку рейсу долота

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

На основі аналізу часових рядів коефіцієнта механічної ефективності долота  $\lambda(t)$ , отриманих під час буріння на Прикарпатті свердловини № 814 долотом вітчизняного виробництва з озброєнням з надтвердих матеріалів, були визначені статистичні характеристики цього процесу з використанням програмного середовища Matlab. Визначили, що процес  $\lambda(t)$  підпорядковується нормальному закону розподілу (перевірку здійснили за критерієм Пірсона  $\chi^2$ ) (рис.3) має середнє

арифметичне  $m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,508$ , не зміщену оцінку дисперсії

$D = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\lambda_i - m)^2 = 0,066$ , асиметрію  $A=0,978$  і ексцес  $E=1,502$  ( $n=118$  – кількість виміряних 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.

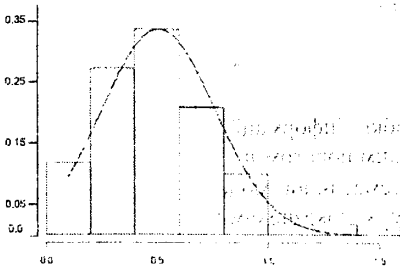


Рисунок 3 – Гістограма і нормальний закон розподілу показника механічної ефективності долота  $\lambda(t)$

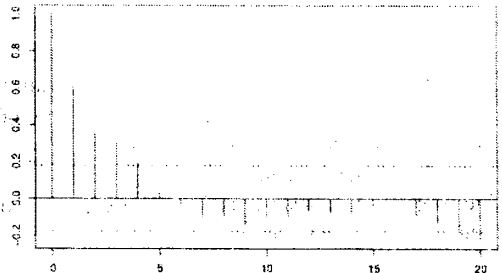
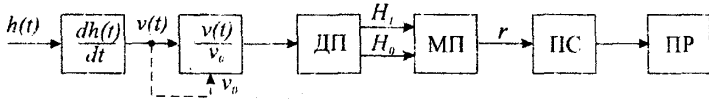


Рисунок 4 – Нормована автокореляційна функція для показника механічної ефективності долота  $\lambda(t)$

Статистичні властивості коефіцієнту 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 вирішення задачі розпізнавання станів долота запропоновано створити послідовну структуру, яку наведено на рис. 5.



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

Рисунок 5 – Елементи задачі розпізнавання станів долота

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 елементу системи – джерела повідомлень. У випадку визначення критичного стану бурового долота джерело повідомлень ДП являє собою результат 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 Байеса.

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 наступному вигляді:

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

де  $N$  – кількість результатів спостережень;  $R_i$  – значення ризику,  $\sigma^2$  – дисперсія похибки вимірювань;  $\eta$  – поріг випробовування.

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

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

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

де  $H = const$  – проектна глибина свердловини, яка може бути розділена на  $N^*$  рівнів,  $h_i$  – проходка в  $i$ -му рейсі долота.

Для підвищення рівня вірогідності та 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;  $\Delta t_i$  – час розбурювання  $i$ -го шару породи;  $W$  – величина, яка характеризує зносостійкість долота та задається заздалегідь. Гранічне 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) приймає вигляд

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

де  $T_0$  – час відпрацювання долота.

Під час переходу долота в породу з іншими властивостями змінюється механічна швидкість буріння і система управління переходить на 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 умову  $\sum M_i n_i \Delta t_i = W$ , 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'єкту 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.

**У третьому розділі** проведено теоретичні дослідження щодо розроблення нового методу ідентифікації та контролю відпрацювання доліт типу PDC в процесі буріння нафтових і газових свердловини. Обрано метод аналізу часових рядів для вирішення задачі контролю відпрацювання доліт типу PDC, визначено частоту контролю технологічних параметрів за динамічними характеристиками процесу буріння, проведено аналіз залежності частоти дискретного контролю відхилень технологічних параметрів, процесу буріння за межі норми від ширини зони нормальних значень і ймовірність виходу контрольованого параметра із цієї зони, обґрунтовано вибір контрольованих параметрів для захисту долота PDC від технічних відмов, синтезовано критичний закон ідентифікації, контролю і керування процесом відпрацювання доліт типу PDC.

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  $\lambda$  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  $k = 1, 2, \dots, m$ ;  $\bar{a}, \bar{b}$  – вектори невідомих параметрів моделі, що підлягають ідентифікації;  $\xi$  – випадковий процес (завада) з нульовим математичним сподіванням. Оскільки в моделі (8) використовується дискретний час  $k = 1, 2, \dots, m$ , то виникла необхідність у визначенні частоти контролю технологічних параметрів процесу буріння. Показано, що швидкість зміни параметрів залежить не тільки від ступеня зносу озброєння долота, типорозміру долота, особливостей геологічного розрізу, витрати промивної рідини, але й багатьох інших факторів, що важко піддаються обліку. Тому для визначення періодичності контролю замість часу  $\Delta t$  запропоновано використати час ексцесу  $t_e$ , тобто час, за який сигнал відхиляється від заданого і досягає допустимого для даного параметру значення. Умова своєчасного виявлення контрольованого параметра сформульована у наступному 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 параметру із цієї зони. Цю задачу розглянуто на прикладі контролю показника механічної ефективності долота  $\lambda = v/v_0^{-1}$ , який отримано в результаті експерименту на експлуатаційній свердловині №522 ГС Прикарпатського УБР при бурінні буровим верстатом «Уралмаш-4Е-76» (проектна глибина 2200 м). Показано, що показник  $\lambda(t)$  може приймати значення з двох можливих областей: область допустимих значень, яка відповідає нормальному технічному стану озброєння долота; область значень, яка відповідає критичному стану озброєння долота (рис. 6), де  $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$  – відрізки існування сигналу в зоні нормальних значень;  $S_{on}, S_{off}$  – зони допустимих відхилень від верхніх  $\lambda_{on}$  і нижніх  $\lambda_{off}$  границь;  $\lambda_{s\ on}, \lambda_{s\ off}$  – верхня і

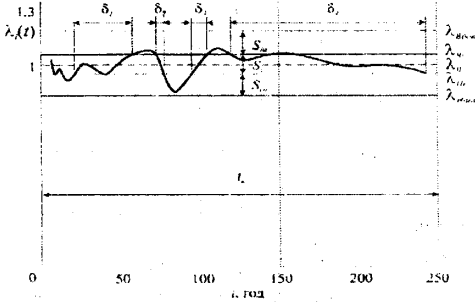
нижня межа допустимих відхилень,  $t_k$  – повний час контролю. Верхню і нижню межу середніх значень  $\lambda$  запропоновано визначати, користуючись оцінками математичного сподівання  $\bar{\lambda}_0$  і дисперсії  $\sigma_\lambda^2$ :

$$K_{\lambda_k} = \bar{\lambda}_0 \pm \left( \frac{S_\lambda}{\sqrt{N}} \right) t_{q/2}, \quad (10)$$

де  $\bar{\lambda}_n, \bar{\lambda}_0$  – середні значення проведених вимірювань  $\lambda$ ;  $S$  – середнє квадратичне відхилення;  $\tilde{N}$  – кількість послідовних вимірювань  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_N$ ;  $q_1$  – вибраний рівень значущості;  $t_{q/2}$  – взято з таблиць для рівня значущості  $q = q/2$  і числа степенів вільності  $v = \tilde{N} - 1$ . Враховуючи сказане, середня частота операцій контролю співпадає з середньою частотою знаходження параметру  $\lambda$  в зоні  $P$ ; і може бути визначена за формулою

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

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



Користуючись формулою (11), розраховані частоти дискретного контролю показника  $\lambda(t)$  для поглиблення свердловини долотами нового покоління типу PDC,

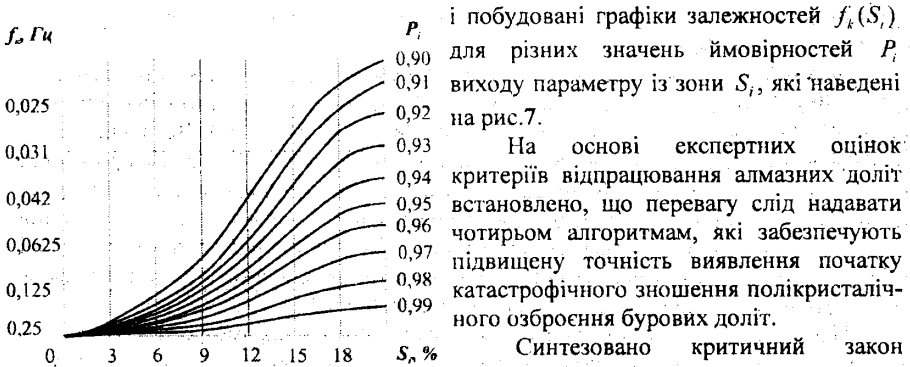


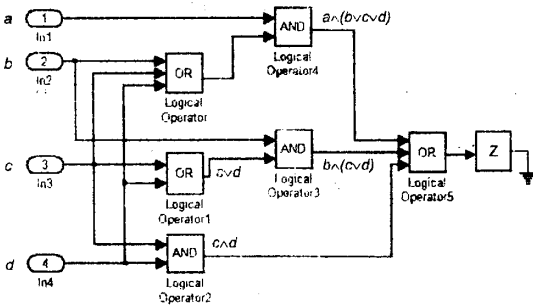
Рисунок 7 – Графіки залежностей частоти контролю показника  $\lambda(t)$  від ширини зони нормальних значень  $S_i$  для різних значень ймовірностей  $P_i$  виходу параметру  $\lambda(t)$  із зони  $S_i$

і побудовані графіки залежностей  $f_k(S_i)$  для різних значень ймовірностей  $P_i$  виходу параметру із зони  $S_i$ , які наведені на рис.7.

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 бурових доліт.

Синтезовано критичний закон ідентифікації відпрацювання бурових доліт типу PDC за умов апіорної і поточної невизначеності як щодо параметрів об'єкта, так і діючих на нього збурень. який базується на використанні надлишкових вимірювальних сигналів. Це дозволило синтезувати однокатнну

релейну схему пристрою автоматизованого контролю відпрацювання доліт типу PDC (рис.8).



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

Рисунок 8 – Структурна схема логічного пристрою автоматизованого контролю відпрацювання доліт типу PDC

леного нейромережевого алгоритму ідентифікації зношення долота, розроблено структуру системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням доліт.

Основні стани контрольованого об'єкту 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 і ідентифікація яких неможлива).

Запропоновано використовувати нейромережевий класифікатор, основою якого є шар Кохонена, що складається з деякої кількості  $n$  адаптивних лінійних суматорів, які діють паралельно (лінійних формальних нейронів). Всі вони мають однакову кількість входів  $m$  і отримують на свої входи один і той же вектор вхідних сигналів  $x = (x_1, \dots, x_m)$ . 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, мають бути у вигляді вектора діагностичних ознак (станів) у  $N$ -вимірному евклідовому просторі, а також правильно промасштабовані для подальшого їх оброблення.

Дискретні значення контрольованих технологічних параметрів подаються на вхід мережі. Ці дані представляють собою набір 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  $a^i$  таких,

що  $D = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in P_i} |a^i - x|^2$ , мінімальне  $P_i = \{x: |a^i - x| < |a^q - x|, \forall q \neq i\}$ .

На основі якої побудована принципова схема пристрою контролю.

У *четвертому розділі* запропоновано для ідентифікації поточного стану зношення долота в умовах інформаційної невизначеності використовувати разом із розробленими в попередніх розділах підходами нейромережний класифікатор на основі гібридної нейромережі, що складається з мережі Кохонена та нейромережі прямого поширення.

Наведено результати імітаційного моделювання розроб-

Розроблено алгоритм який реалізує задачу класифікації, а також нейромережу оцінки зношення долота на вибої свердловини (рис. 9), яка є складовою частиною

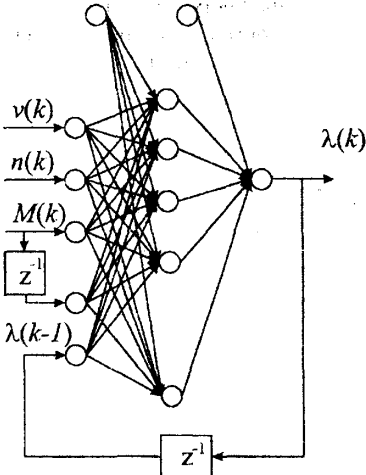


Рисунок 9 – Нейромережа прямого поширення для оцінки зношення озброєння долота типу PDC на вибої свердловини

задача класифікації, а також нейромережу оцінки зношення озброєння долота типу PDC на вибої свердловини  $\lambda(k)$ ;  $z^{-1}$  – зсув параметрів нейромережі. Запропоновано процес навчання мережі, який здійснюється таким чином; пред'являються  $P$  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 вихід  $[d(k)]^p$ , який характеризує ступінь відпрацювання породоруйнівного інструменту.

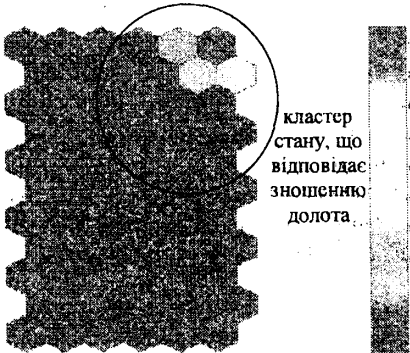


Рисунок 10 – Результати імітаційного моделювання нейромережевого класифікатора

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 у мережу, реалізує одну розділюючу пряму або площину, внаслідок чого в сукупності виходить досить складна крива або поверхня (поверхні) розділення станів.

Пред'явлення мережі вхідних параметрів процесу буріння здійснюється у певних проміжках часу – кроках  $k = \Delta t$ . Вхідними сигналами нейромережі 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

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 нейромережевого 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 бурового долота.

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 для їх усунення.

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

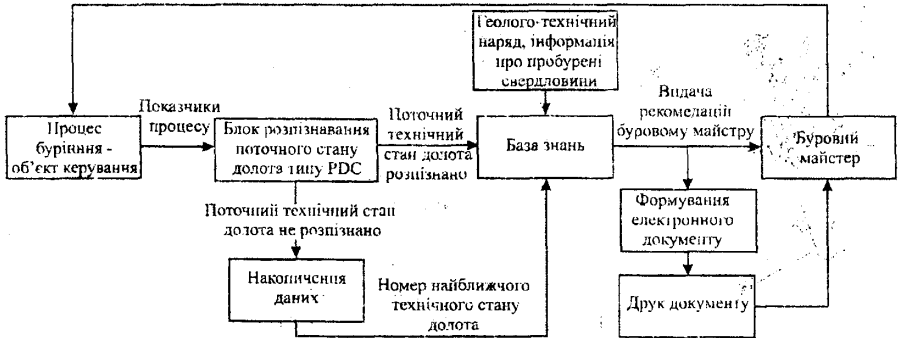


Рисунок 11 – Структурна схема системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту стираючої дії

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

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертації наведено теоретичне узагальнення та нове вирішення науково-прикладної задачі, що полягає у вдосконаленні системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень під час керування відпрацюванням бурових доліт нового покоління типу PDC, яка призначена для оптимізації управління процесом буріння нафтових і газових свердловин з урахуванням збільшення ресурсу бурових доліт нового покоління.

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 особливої уваги заслуговує ідея застосування для вирішення задачі управління відпрацюванням доліт типу PDC обчислювального інтелекту, що базуються на штучних нейронних мережах.

2. На основі експериментальних даних виконано дослідження взаємозв'язків коефіцієнта механічної ефективності долота з керувальними діями, аналіз інформаційних властивостей процесу буріння нафтових і газових свердловин долотами типу PDC з врахуванням його нестационарності 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 в часі є випадковими ергодичними процесами, а на завершальному етапі роботи долота процес його відпрацювання стає нелінійним нестационарним (розвивається в часі) і відбувається за умов апіорної та поточної невизначеності, що дає змогу вирішити задачу ідентифікації та контролю відпрацювання долота інтелектуальними методами оперативної ідентифікації.

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

4. На основі аналізу залежності частоти дискретного контролю відхилення показника механічної ефективності долота за межі норми від ширини зони нормальних значень і ймовірності виходу контрольованого параметру 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 вибирати оптимальну періодичність автоматизованого дискретного контролю в режимі реального часу.

5. Удосконалено підхід до автоматизації процесу управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту стираючої дії в умовах апіорної 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», «передавтарійний», «невизначений».

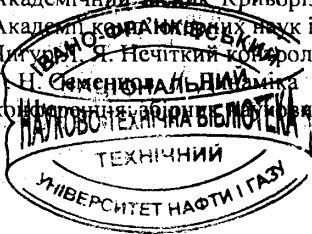
6. Розроблено нову структуру та алгоритм функціонування системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням алмазних доліт типу PDC в процесі поглиблення свердловини на основі процедури нейромережевої ідентифікації, яка реалізована з використанням промислової системи контролю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

Отримані результати прийняті до впровадження Дрикарпатським УБР ПАТ «Укрнафта» НАК «Нафтогаз України», а також застосовуються у навчальному процесі Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу, що підтверджено відповідними актами впровадження.

### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Чигур Л. Я. Методи визначення ефективних керувальних дій для автоматизації процесу керування відпрацюванням доліт / Л. Я. Чигур // Нафтогазова енергетика, №1(17). – 2012. – С.50-59.
2. Чигур Л.Я. Інформаційна модель контролю технічного стану доліт типу PDC та В-критерій прийняття рішень / Л. Я. Чигур // Нафтогазова енергетика, №1(14). – 2011. – С.85-90.
3. Чигур Л.Я. Обґрунтування прийняття рішень про момент логічного завершення рейсу долота PDC / Л. Я. Чигур, Ю. Б. Долішня // Нафтогазова енергетика. №2(13) – 2010. – С.12-14.
4. Чигур Л. Я. Концептуальна математична модель процесу буріння нафтових і газових свердловин долотами нового покоління як об'єкт контролю і керування / Л. Я. Чигур, Г. Н. Семенов // Вісник Хмельницького національного університету. Технічні науки, № 3. – 2010. – С. 72-78.
5. Чигур Л. Я. Синтез інформаційних моделей для ідентифікації та контролю технічного стану озброєння доліт нового покоління / Л. Я. Чигур, Г. Н. Семенов // Нафтогазова енергетика, №1(12). – 2010. – С. 102-105.
6. 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, №1(10). – 2009. – С. 75-77.
7. 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, №3. – 2004. – С. 24-28.
8. Чигур Л. Я. Нейромережева оцінка технічного стану породоруйнівного інструменту / Л. Я. Чигур, Г. Н. Семенов, І. І. Чигур // Вісник технологічного університету Поділля, ч.1., Том 1. – 2004. – С. 196-198.
9. Косило Л. Я. Інформаційна модель автоматизованого контролю густини гірських порід в процесі буріння свердловин / Л. Я. Косило, Г. Н. Семенов, М. І. Горбійчук, І. І. Чигур // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ, № 2(7). – 2003. – С. 106 – 109.

10. Чигур Л. Я. Автоматизація процесу керування відпрацюванням бурових доліт нового покоління / Л. Я. Чигур // Автоматика/Automatics – 2012: XIX міжнародна конференція з автоматичного управління: тези доповідей. – Київ, 2012. – С. 293.
11. Чигур Л. Я. Математичне моделювання буримості гірських порід / Л. Я. Чигур, Г. Н. Семенцов, Н. В. Сабат // Vědecký průmysl evropského kontinentu – 2011: VII mezinárodní vědecko-praktická konference. Technické vědy. Výstaba a architektura: збірник наукових праць. – Praha, 2011. – Р. 65-68.
12. Чигур Л. Я. Узагальнена математична модель буримості гірських порід / Л. Я. Чигур, Г. Н. Семенцов, Н. В. Сабат // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2011: международная научно-практическая конференция: сборник научных трудов по материалам. – Одесса, 2011. – С. 7-12.
13. Чигур Л. Я. Структурний синтез пристрою контролю технічного стану бурових доліт нового покоління типу / Л. Я. Чигур, Г. Н. Семенцов // Наукові дослідження та їх практичне застосування. Сучасний стан та їх шляхи розвитку-2010: міжнародна конференція: тези доповідей. – Одеса, 2010. – 5с.
14. Чигур Л. Я. Вибір частоти дискретного моніторингу відхилень технологічних параметрів за межі норми / Л. Я. Чигур, Г. Н. Семенцов, Л. І. Давиденко // Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте 2010: международная научно-практическая конференция: сборник научных трудов. – Одесса, 2010. – С. 41-44.
15. Чигур Л. Я. Моделювання процесу буріння нафтових і газових свердловин долотами нового покоління як об'єкта контролю і керування / Л. Я. Чигур, Г. Н. Семенцов // Автоматика-2010: 17 міжнародна конференція з автоматичного управління: збірник наукових праць. – Харків, 2010. – С. 283-284.
16. Косило Л. Я. Загальна структура адаптивної системи оптимального керування процесом буріння нафтогазових і газових свердловин / Л. Я. Косило, Г. Н. Семенцов // Современные направления теоретических и прикладных исследований 2010: международная научно-практическая конференция: сборник научных трудов. – Одесса, 2010. – С. 35-37.
17. Чигур Л. Я. Принципи створення автоматизованої системи безконтактного контролю координатних збурень на процес буріння нафтових і газових свердловин/ Л. Я. Чигур, Г. Н. Семенцов, Н. В. Сабат// Naukowa mysl informacyjnego wieku – 2010: miedzynarodowe naukowo-praktyczna konferencja: збірник наукових праць. – Przemysl, 2009 - S. 59-67.
18. Косило Л. Я. Фазі модель і алгоритм оцінювання густини гірських порід в процесі буріння свердловин на нафту і газ / Л. Я. Косило, Г. Н. Семенцов // Академічний вісник Криворізького територіального відділення Міжнародної Академії наук і систем, №13. – 2004 - С. 20-22.
19. Чигур Л. Я. Нечіткий контроль технічного стану алмазних доліт / Л. Я. Чигур, Г. Н. Семенцов // Динаміка наукових досліджень 2004: науково-практична конференція: збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2004. – С. 15-18.



20. Chyгур L. Fuzzy monitoring of technical condition of the diamond bits during electric drilling / L.Chyгур, G. Sementsov, I. Chyгур // 11<sup>th</sup> Zittau Fuzzy Colloquium: збірник наукових праць. – Zittau (Germany), 2004. – P. 36-43.
21. Чигур Л. Я. Автоматизований контроль технічного стану алмазного породоруйнівного інструменту при бурінні свердловин на нафту і газ / Л. Я. Чигур, Г. Н. Семенов // Інтелектуальні системи прийняття рішень та інформаційні технології: міжнародна науково-практична конференція: тези доповідей. – Чернівці, 2004. – С. 197-198.
22. Косило Л. Я. Особливості контролю твердості гірських порід в процесі буріння свердловин на нафту і газ / Л. Я. Косило, Г. Н. Семенов, Т. Я. Кузь // Наука і освіта 2004: міжнародна науково-практична конференція: збірник наукових праць. Дніпропетровськ, 2004. – С. 71-74.
23. Косило Л. Я. Комп'ютерна інформаційно-вимірювальна система для визначення густини гірських порід у масштабі реального часу при бурінні свердловин на нафту і газ / Л. Я. Косило // Україна наукова 2003: міжнародна науково-практична конференція: збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2003 – С. 33-34.
24. Косило Л. Я. Особливості використання нейронної мережі Хеммінга для розпізнавання образів у бурінні / Л. Я. Косило, І. І. Чигур, В. М. Кикляк // Україна наукова 2003: міжнародна науково-практична конференція: збірник наукових праць. – Дніпропетровськ, 2003 – С. 38-41.

## АНОТАЦІЯ

**Чигур Л. Я. Система підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту стираючої дії в процесі буріння.** – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Міністерство освіти і науки, Івано-Франківськ, 2013.

Дисертацію присвячено удосконаленню методів підтримки прийняття рішень при управлінні відпрацюванням доліт стираючої дії типу PDC 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 типу PDC. Розвинуто теоретичні основи динамічного інтелектуального аналізу даних та ідентифікації процесу відпрацювання бурових доліт типу PDC, що функціонує за умов апіорі 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 нейро-системи підтримки прийняття рішень, що дозволило підвищити якість розв'язання задачі динамічного

інтелектуального аналізу даних про нестационарний нелінійний процес відпрацювання алмазних доліт нового покоління PDC 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 нового покоління PDC.

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

## АННОТАЦІЯ

**Чигур Л. Я. Система поддержки принятия решений для управления отработкой породоразрушающего инструмента истирающего действия в процессе бурения.** – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.07 – автоматизация процессов управления. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Министерство образования и науки, Ивано-Франковск, 2013.

Диссертация посвящена усовершенствованию методов поддержки принятия решения при управлении отработкой долот истирающего действия типа PDC в процессе бурения нефтяных и газовых скважин.

Анализ современных тенденций развития технологического процесса бурения показал возрастающую роль долот нового поколения типа PDC, которые находят все больше применения при бурении скважин на нефть и газ. Однако до сих пор остается нерешенной задача определения момента подъема долота для замены; особенно на заключительном этапе его отработки.

Разработана информационная модель контроля и критерий принятия решения. с этой целью сформулирована и решена задач распознавания состояний объекта управления - выявление критического состояния вооружения бурового долота типа PDC. Осуществлен анализ закономерностей износа вооружения алмазных долот, а также определены параметры и показатели процесса бурения, необходимые для автоматического контроля отработки долот типа PDC. Доказано, что параметры состояния долота связаны с входящими управляющего воздействия, параметрами объекта и свойствами горных пород функциональной зависимостью.

На основе дифференциального уравнения, описывающего процесс увеличения осевой нагрузки на буровое долото типа PDC, установлены закономерности изменений во времени относительных отклонений механической эффективности долота для различных значений коэффициента самовыравнивания объекта и относительного значения возмущающего воздействия, позволило определить время эксцесса, условия выявления аварийного отклонения контролируемого параметра и частоту переключения коммутатора при опросе датчиков системы контроля.

Проведен анализ зависимостей частоты дискретного контроля отклонений показателя механической эффективности долота за пределы нормы ширины зоны нормальных значений и вероятности выхода контролируемого параметра из этой зоны, который позволил установить нелинейные взаимосвязи и построить графики зависимостей интервалов времени дискретного контроля механической

эффективности долота от заданной вероятности контроля для различных значений показателей, позволяющих выбирать оптимальное время дискретного контроля.

Синтезированы критический закон идентификации и контроля и управления процессом обработки буровых долот типа PDC в условиях априорной и текущей неопределенности как относительно параметров объекта, так и действующих на него возмущений, основанный на использовании избыточных измерительных сигналов. Это позволило синтезировать одноктактную релейную схему устройства автоматизированного контроля обработки долот типа PDC.

Проведен выбор и обоснование нейронной сети Кохонена для реализации алгоритма контроля износа и идентификации состояний в которых находится долото. Разработана нейронная сеть прямого распространения для оценки износа долота на забое скважины, которая дополняет сеть Кохонена и позволяет повысить достоверность контроля. Проведенное имитационное моделирование разработанных алгоритмов в пакете программ Matlab, позволило оценить работоспособность и эффективность предлагаемых решений.

Предложена структура системы поддержки принятия решений для управления обработкой породоразрушающего инструмента.

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

## ABSTRACT

**Chygur L.Y. The decision support system for managing practicing drilling tool abrasive action during drilling process.** – Manuscript.

The thesis for a candidate degree of technical sciences on speciality 05.13.07 - control processes automation. – Ivano-Frankivsk Technical National University of Oil and Gas, Ministry of education and science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2013.

The thesis is devoted to the improvement of support decision methods in the management of practicing bits of abrasive type PDC in drilling oil and gas wells through the investigation and application of dynamic intellectual analysis of informative parameters. Based on analysis of current methods and decision support systems concernig working bits in drilling oil and gas wells theoretical researches which are connected with the improving methods of decision support during the process control testing new generation PDC diamond bits new generation PDC. The theoretical foundations of dynamic analysis and identification process working drill bits such as PDC are developed which operates under a priori unknown disturbances, in order to enhance the process of drilling oil and gas wells due to more effectual sequential trimming of non-stationary array of information about working bits. A neuro-architecture of decision support protest is developed thus improving the quality of the solution of the problem of dynamic data mining of nonstationary nonlinear process testing of diamond bits new generation PDC under a priori and the current uncertainty. The simulation and comparative analysis of different approaches is carried out and the structure of decision support system for process control testing of diamond bits new generation PDC is developed.

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