

УДК 681.518:622.248:004.94

ЗАГАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ПІДХОДІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО ОЦІНЮВАННЯ РОБОТОЗДАТНОСТІ ПОРОДОРУЙНІВНОГО ІНСТРУМЕНТУ

Л.Я. Чигур

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

Запропоновано метод автоматизованого контролю відпрацювання доліт для виявлення їх критичного зношування на завершальному етапі роботи інтелектуальними засобами оперативної ідентифікації, що дає змогу підвищити надійність управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту, знизити аварійність процесу буріння.

Удосконалено підхід до автоматизації процесу управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту в умовах апріорної і поточної невизначеності щодо структури і параметрів об'єкта шляхом доповнень існуючих локальних систем автоматизованого керування режимами буріння, підсистемою нейромережевої ідентифікації, створеної на основі мережі Кохонена та мережі прямого поширення. Використання цих нейромереж дає змогу періодично контролювати роботу долота на вибої свердловини і розпізнавати його основні стани як «працездатний», «непрацездатний», «передаварійний», «невизначений», а на завершальному етапі роботи визначати ступінь зношення долота.

На основі проаналізованих моделей і методів запропоновано удосконалити структуру системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту, для підвищення надійності і вірогідності процесу прийняття рішень, яка може бути реалізована на базі сучасних промислових систем контролю і керування процесом буріння нафтових і газових свердловин.

Ключові слова: автоматизований контроль, роботоздатність породоруйнівного інструменту, моніторингові системи, буріння.

Предложен метод автоматизированного контроля отработки долот с целью выявления их критического износа на завершающем этапе работы интеллектуальными средствами оперативной идентификации, что позволяет повысить надежность управления отработкой породоразрушающего инструмента, снизить аварийность бурения.

Усовершенствован подход к автоматизации процесса управления отработкой породоразрушающего инструмента в условиях априорной и текущей неопределенности относительно структуры и параметров объекта путем дополнения существующих локальных систем автоматизированного управления режимами бурения, подсистемой нейросетевой идентификации, созданной на основе сети Кохонена и сети прямого распространения. Использование этих нейронных сетей позволяет периодически контролировать работу долота на забое скважины и распознавать его основные состояния как «трудоспособный», «нетрудоспособный», «передаварийный», «неопределенный», а на завершающем этапе работы определять степень износа долота.

На основе проанализированных моделей и методов предлагается усовершенствовать структуру системы интеллектуальной поддержки принятия решений для управления отработкой породоразрушающего инструмента, для повышения надежности и достоверности процесса принятия решений, которая может быть реализована на базе современных промышленных систем контроля и управления процессом бурения нефтяных и газовых скважин.

Ключевые слова: автоматизированный контроль, работоспособность породоразрушающего инструмента, мониторинговые системы, бурение.

The authors developed a method for automatic drilling bits wear control to identify their critical wear at the final operation stage with the help of the intelligent rapid identification tools that allows to increase the reliability of rock cutting tool wear control and reduce the drilling process accident rate.

The scientists also improved the approach to the rock cutting tool wear control automation in conditions of prior and current uncertainty concerning the structure and parameters of the object by supplementing the available local systems for automatic drilling modes control and subsystem for neural network identification that was developed on the basis of the Kohonen network and feedforward network. Utilization of these neural networks allows to periodically control the drill bit operation at the bottomhole and identify its basic states as “operable”, “inoperable”, “pre-emergency”, and “unknown”, as well as to determine the degree of its wear at the final stage of operation.

Based on the analyzed models and methods, it is suggested to improve the structure of the decision-making intelligent support system to control the rock cutting tool wear, increase reliability and probability of the decision-making process that can be carried out on the basis of the modern industrial systems for monitoring and control of the oil and gas wells drilling process.

Keywords: automatic control, rock cutting tool operability, monitoring systems, drilling.

Вступ

Як і будь-який технологічний процес, процес буріння нафтових і газових свердловин є керованим і кількість керувальних параметрів залежить від способу буріння, що дає змогу стверджувати про його багатомірність [1, 2]. Отже, процес буріння характеризується відповідними вхідними і вихідними параметрами та збурюючими впливами, що діють на нього.

Характерною особливістю процесу буріння є відсутність серійних приладів для контролю режимних параметрів безпосередньо на вибої свердловини, що значною мірою зумовлює унікальність процесу буріння нафтових і газових свердловин [2, 5].

Це призводить до необхідності використовувати такі природні канали зв'язку як колона бурильних труб, стовп промивальної рідини і оцінювати режимні параметри за показниками наземних приладів. Дослідження свідчать, що природні канали зв'язку породжують адитивні шуми, які у загальному випадку є нестационарними [2, 6, 7]. Прямого вимірюванню доступна лише проходка долота $h(t)$. Тому про технічний стан долота можна судити лише опосередковано за механічною швидкістю буріння [2, 5].

Для визначення моменту підйому долота для заміни складаються режимні карти. Проте фактичні результати відпрацювання доліт суттєво відхиляються від рекомендацій, що наведені в режимних картах, які складені для деяких усереднених умов. Це викликано тим, що зміна фізико-механічних властивостей гірських порід носить випадковий характер.

Помилки при визначенні моменту підйому долота для заміни викликають аварії, на ліквідацію яких витрачаються значні кошти. Тому велике значення має перехід від суб'єктивних методів керування відпрацюванням доліт до методів, що базуються на отриманні і обробці інформації за допомогою сучасних комп'ютерних засобів контролю і систем керування. Особливо актуально це для відпрацювання полікристалічних доліт нового покоління, вартість яких становить десятки, а деколи і сотні тисяч доларів США. Як правило, бурильник приймає рішення щодо керування роботою долота оперативним, тобто в ході процесу буріння [2, 3, 4, 5].

Цілі статті

Метою даної наукової роботи є підвищення ефективності процесу буріння нафтових і газових свердловин за рахунок оптимального відпрацювання доліт на вибої свердловини, що досягається вдосконаленням системи інтелектуальної підтримки прийняття рішень для управління відпрацюванням породоруйнівного інструменту в умовах невизначеності процесу буріння.

Досягнення поставленої мети здійснюється розв'язанням таких основних задач:

- комплексний аналіз сучасних методів управління відпрацюванням доліт і вибір стру-

ктури моделі, методу і критерію оцінювання, призначених для вирішення задачі ідентифікації та контролю відпрацювання бурових доліт за умов невизначеності процесу буріння;

- удосконалення підходу до автоматизації процесів управління відпрацюванням доліт на базі нейромережевого методу і вибір архітектури нейромережі для визначення ступеня зносу долота в реальному часі.

Аналіз сучасних закордонних і вітчизняних досліджень, публікацій

На сьогодні з існуючих наукових досліджень відомі розробки адаптивних систем керування процесом буріння з одною керувальною дією [2, 3, 5 та ін.], яка визначається шляхом пошуку екстремуму вибраної цільової функції безпосередньо на об'єкті. Для цього система реалізує таку послідовність дій: формування функції нев'язки з метою ідентифікації параметрів математичної моделі; прогнозування значення вибраного термінального критерію оптимальності і визначення часу буріння; виявлення меж пластів та пошук термінального критерію безпосередньо на об'єкті.

Усі алгоритми реалізації функції такої системи об'єднані організуючим алгоритмом функціонування, який забезпечує розв'язок задачі в масштабі реального часу.

Недоліками цього методу і системи керування відпрацюванням долота є те, що вони розроблені для традиційних шарошkových доліт і дають змогу визначити лише прогнозований час роботи долота. Проте, для алмазних доліт головною задачею є виявлення початку завершального періоду роботи і визначення точного моменту логічного завершення рейсу долота, на базі інформації про зношення його полікристалічного озброєння.

Слід зазначити, що алмазні покоління і трьохшарошкові долота містять різні критичні структури. Якщо для алмазних доліт критичною структурою є різучі кромки або полікристалічні алмазні вставки, то для шарошkových доліт роль критичної структури виконує підшипник або механізм, що забезпечує ковзне переміщення шарошок. Проте, для множини критичних структур бурових доліт єдиною метою автоматизованого контролю є запобігання катастрофічного зношення і катастрофічної відмови бура.

Впровадження сучасних методів контролю за технічним станом породоруйнівного інструменту в процесі буріння свердловини веде, без сумніву, до отримання двох головних результатів: покращення продуктивності буріння і створення можливості керувати процесом на основі повної і вірогідної інформації про нього. Ці фактори впливають як на собівартість буріння свердловини, так і на ефективність керування цим процесом.

Найбільш точними з точки зору оцінки зношення породоруйнівного інструменту є прямі методи, які базуються на безпосередньому вимірюванні зношення окремих елементів

Таблиця 1 – Аналіз методів і систем автоматизованого оцінювання роботоздатності породоруйнівного інструменту на базі штучного інтелекту

Література	Бази правил	Фаззі логіка	Нейромережа «Багато-шаровий перцептрон»	Нейромережа «Карта Кохонена»	Нейромережа прямого розповсюдження	Нейромережа адаптивної резонансної теорії
[21]	X					
[22]						X
[23]		X				
[24]					X	
[25]				X		
[26]		X				
[27]					X	
[28]			X			
[29, 30]			X			
[31]			X			
[32]	X					
[33-35]	X					

породоруйнівного інструменту. Однак ці методи неможливо застосувати для оцінки зношення безпосередньо в процесі буріння свердловини. Розрахункові методи визначення параметрів, що є ознаками закінчення рейсу долота дають змогу тільки наближено оцінити стан породоруйнівного інструменту на вибої свердловини, тому їхня ефективність досить незначна.

Поряд з описаними вище інтерес викликають методи, що дають змогу визначити технічний стан долота за непрямыми показниками його зношення в будь-який момент часу. Як показники зношення використовують частоту і амплітуду вібрації бурильної колони, гранулометричний склад шламу, ультразвукові коливання, добуток різних параметрів і показник режиму буріння, характеристику зміни механічної швидкості проходки в часі буріння з постійними параметрами режиму, критерії технічного стану доліт.

Аналіз відомих непрямих методів контролю зношення породоруйнівного інструменту свідчить, що найпростішими методами є методи, що базуються на наперед визначених обмеженнях. Тобто, якщо певний контрольований параметр, або група параметрів досягне певної верхньої або нижньої межі, то це є показником відмови або зношення долота. Такі підходи часто використовуються бурильником-оператором, а також використовуються у моніторингових системах і формують базис експертних систем, що базуються на правилах [8-11].

Критерії відпрацювання представляють собою певні правила з наперед заданими обмеженнями. Наприклад, метою розв'язку задачі раціонального відпрацювання бурових доліт є визначення такого часу буріння t_{σ} , щоб критерії $v_p \rightarrow \max$, $q \rightarrow \min$ і $v_e \rightarrow \max$ набули свого екстремального значення [2, 4, 5, 6]. Було проведено математичний аналіз цих критеріїв, виходячи із наступних основних принципів:

долото використовується для буріння в ізотропних породах, властивості яких протягом рейсу долота незмінні; долото експлуатується з незмінним сполученням значень параметрів режиму буріння, кожен з яких зафіксований на певному рівні; миттєві значення механічної швидкості проходки залежать лише від поточного зношення озброєння долота [15,21]. Визначено достатні умови, за яких критерії відпрацювання досягають максимального (мінімального) значення. Відомо, що функція змінної t досягає екстремуму в точці t_{σ} . В цій точці функція має мінімум, якщо друга похідна додатна, і максимум, якщо друга похідна від'ємна. Виходячи з цього, визначені достатні умови для критеріїв відпрацювання доліт [15]. Аналіз достатніх умов свідчить, що для розглянутих критеріїв існують нерівності, які визначають область існування екстремумів. Ці умови визначаються темпом зменшення механічної швидкості v_t і об'ємом спуско-підймальних операцій t_{cn} .

Однак, найбільш перспективними є методи, принцип роботи яких базується на відстеженні і аналізованні тенденцій зміни контрольованих параметрів, а не тільки на перевірці їх абсолютних значень. Головною причиною цього є те, що у багатьох випадках існують зовнішні фактори, які впливають на абсолютне значення контрольованого параметру, і ці фактори ніяк не пов'язані із зміною технічного стану породоруйнівного інструменту на вибої свердловини (наприклад, зміна швидкості проходки через зміну фізико-механічних властивостей розбурюваної породи).

Загальний аналіз методів і систем автоматизованого оцінювання роботоздатності породоруйнівного інструменту на базі штучного інтелекту зведено у таблицю 1.

Системи, що базуються на фаззілогіці, оперують обмеженнями, які є нечіткими, тобто

вони не є точно визначеними [23, 26]. Ступінь "нечіткості" таких обмежень, зазвичай, визначається на основі формалізації нечіткої (якісної і кількісної) інформації про процес контролю.

Система має два вхідних параметри, якими є навантаження на долото і крутний момент, а зношення долота в цій системі є кластеризованим на чотири стани зношення: «початкове», «мале», «середнє» і «значне» [26]. Підхід є нечітким, тобто нечіткі обмеження визначені, з використанням фаззи алгоритмів. Метод працює з наперед заданими даними, які були використані при налаштуванні обмежень. Однак, ефективність даного методу обмежується однорідними умовами буріння.

Розглянута експертна система, на базі правил, складається з кількох модулів: відбір та аналіз даних, дерево несправностей, дерево ознак, синтезатор правил і захист від помилок та несправностей [33-35]. Система може бути сконфігурована користувачем через графічний інтерфейс. Запит даних відбувається через AD-карту, використовуючи кілька вимірювальних датчиків такі як вібрації, акустичної емісії і т.д. Аналіз сигналів базується на використанні статистичних параметрів і функцій на основі швидкого перетворення Фур'є. Всі дані зберігаються в базі даних. Правила контролю системи пишуться автоматично через використання модулів дерева несправностей та дерева ознак. Основна ідея зробити систему досить гнучкою настільки, щоб вона могла бути використана для всіх режимів буріння і з усіма типами доліт.

Використання нейромереж може представитися як спроба автоматизувати процес написання діагностичних правил, тобто якщо достатня кількість потрібних даних існує можливо натренувати мережу так, щоб вона була спроможна визначати технічний стан долота. В принципі нейронні мережі можуть бути натреновані для одночасного визначення технічного стану породоруйнівного інструменту, а також ідентифікації ускладнень, що виникають в процесі буріння свердловини, які вносять невизначеність в результат контролю. Однак, нейромережа такої складної архітектури буде мати певні недоліки, пов'язані зі особливостями її навчання та технічної реалізації. Як альтернатива, може бути розроблена певна кількість окремих моделей, призначених для ідентифікації окремих технологічних ситуацій, пов'язаних із умовами функціонуванням породоруйнівного інструменту.

Досить проста нейромережа була розроблена з двома вхідними параметрами і одним вихідним. Кількість нейронів у внутрішньому (прихованому) прошарку змінювали від чотирьох до дев'яти. Зношення класифікувалося по п'яти категоріях, тобто «початкове», «незначне», «середнє», «значне» і «повне зношення» [31].

Ефективність штучних нейромереж з різною кількістю внутрішніх (прихованих) прошарків нейронів разом з використанням адаптивних активаційних функцій були протестовані під час контролю технічного стану породоруйнівного інструменту [27, 28]. У всіх моде-

лях були використані дев'ять вхідних параметрів, на основі яких формувався вихідний сигнал, що характеризував зношення породоруйнівного інструменту [28]. Кількість нейронів у внутрішньому шарі змінювали від 14 і 22. Зроблено висновок, що збільшення кількості нейронів в штучній нейромережі з адаптивними активаційними функціями призводить зростання швидкості навчання порівняно з традиційною нейромережею прямого розповсюдження.

Штучні нейромережі здатні розпізнавати відмінність між зношеним і придатним для використання породоруйнівним інструментом в режимі on-line з високою вірогідністю, а також точно оцінити середнє зношення навіть при відмінних між собою умовах буріння.

Інша запропонована нейромережа має архітектуру прямого розповсюдження [24]. Це дає змогу нейромережі класифікувати зразки сигналів у реальному часі без будь-яких додаткових дій. Мережу складено із трьох прошарків елементів: вхідний прошарок, внутрішній (прихований) прошарок і вихідний прошарок. Параметричні вектори зразка, який підлягає дослідженню, представляються вхідному прошарку. Елементи вхідного прошарку пов'язані з усіма елементами внутрішнього прошарку. Елементи внутрішнього прошарку зв'язані вибірково з вихідними елементами. Нейромережі даного типу використовують два механізми навчання – контрольоване і неконтрольоване. Мережа даного типу правильно розпізнала ситуації, пов'язані із зношенням породоруйнівного інструменту з точністю вищою, ніж 90 %.

Мережу адаптивного резонансу було випробувано для визначення сильного пошкодження долота при лабораторному дослідженні процесу буріння [22]. Згідно з теорією адаптивного резонансу (TAP), адаптивний резонанс виникає тоді, коли ймовірності входу мережі і зворотного зв'язку співпадають. ART2 – тип нейромереж було розроблено для задач розпізнавання в реальному часі. Нейромережі типу ART2 порівнюють вхідний вектор сигналів з попередніми взірцями, що зустрічались раніше. Якщо вхід є аналогічним до деяких із зразків, він буде поміщений в категорію із подібними взірцями. З іншого боку, якщо вхід не подібний ні до якого з попередньо представлених взірців, то даному входу буде призначено нову категорію. Нейромережі типу ART2 вимагали в два-три рази більше обчислювального часу при класифікації вхідних сигналів, ніж інші нейромережеві методи. Однак, кількість помилок класифікації у них виявилася набагато меншою.

Висвітлення невирішених раніше частин загальної проблеми

Отже, з існуючих наукових досліджень видно, що визначення ефективного часу буріння є актуальною науково-практичною задачею і вирішувати її необхідно для випадків обмеження довговічності алмазного долота, лише стійкістю озброєння з врахування можливого перехо-

ду долотом меж пластів гірських порід і інформаційної невизначеності процесу буріння.

Проте, слід зазначити, що для виявлення моменту підйому долота для заміни доцільно використовувати оперативні методи, які враховують фактичні умови буріння [13,14, 16, 19 та ін.]. Це питання запропоновано вирішувати диференційовано, в залежності від того, який із робочих елементів долота обмежує тривалість буріння.

Аналіз результатів досліджень довів, що на даний момент не існує методу чи системи автоматизованого контролю роботоздатності породоруйнівного інструменту, який би точно ідентифікував передаварійні й невизначені ситуації, що виникають в процесі буріння та визначав ступінь зношення долота в процесі буріння свердловини.

Основний матеріал

Для ідентифікації поточного стану зношення долота в умовах інформаційної невизначеності пропонується використовувати разом із розробленими раніше підходами нейромережвий класифікатор на основі гібридної нейромережі, що складається з мережі Кохонена та нейромережі прямого поширення.

Цей підхід дає змогу перейти до безеталонних методик контролю, а у випадку відомої статистичної вибірки, що містить дані про значення інформаційних параметрів і відповідних їм технічних станів долота як контрольованого об'єкта, виявляти причинно-наслідкові зв'язки між співвідношенням значень інформаційних параметрів контрольованого об'єкту і його технічним станом.

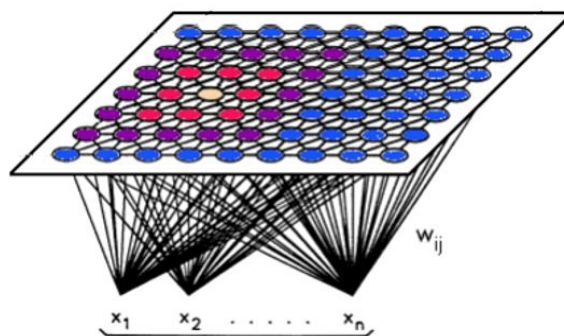
Для вирішення поставленої задачі пропонується застосувати самоорганізовану нейронну мережу Кохонена (СОМ), яка дає змогу самостійно ідентифікувати нестационарності контрольованого процесу, шляхом аналізу вхідних даних в реальному масштабі часу.

Аналіз роботи мереж такого типу, дає змогу дійти висновку, що для вирішення поставленої задачі оптимальною є мережа Кохонена, що складається з M нейронів, які утворюють прямокутні решітки на площині. Як активаційна функція мережі пропонується функція Гаусса, яка забезпечує високу швидкість навчання СОМ при мінімальній похибці квантування [37].

Модель Кохонена відноситься до класу алгоритмів векторного кодування. Вона забезпечує топологічне відображення, що оптимально розміщає фіксоване число векторів у вхідному просторі більш високої розмірності, забезпечуючи, таким чином, стиснення даних (рис. 1).

Застосування мережі Кохонена дає можливість, крім іншого, виявляти нові стани в яких перебуває контрольований об'єкт, які раніше не були описані статистичними вибірками. Система зможе розширювати власну базу знань про можливі стани контрольованого об'єкту у процесі функціонування. Однак, на виконання процесу перенавчання нейромережі і системи в

цілому необхідні додаткові витрати часу та зупинка процесу контролю на час навчання.



x_1, x_2, \dots, x_n – вектор вхідних даних

$w_{i,j}$ – синаптичні зв'язки між нейронами

Рисунок 1 – Загальний вигляд карти Кохонена

Для формування бази класів можливих станів долота як контрольованого об'єкта необхідно виконати кластерний аналіз, що розбиває множину станів на класи. Кластерний аналіз, на відміну від задач класифікації, не потребує апіорних припущень про набір даних, не накладає обмеження на подання досліджуваних об'єктів, дає можливість аналізувати показники різних типів даних (інтервальні, частоти, бінарні дані).

Результатом кластерного аналізу є розбиття станів на групи, що задовольняють деякий критерій оптимальності. До основних станів контрольованого об'єкту відносяться - працездатний стан, непрацездатний стан, передаварійний стан, невизначений стан).

Як правило, побудови кластерів виступають критерії, що використовуються у процесі вирішення питання про схожість станів. Одним із критеріїв визначення схожості та відмінності кластерів є відстань між векторами на діаграмі розсіювання [36].

Для проведення кластерного аналізу використано шар Кохонена, що складається з деякої кількості n адаптивних лінійних суматорів, які діють паралельно (лінійних формальних нейронів). Всі вони мають однаково кількість входів m і отримують на свої входи один і той же вектор вхідних сигналів $x = (x_1 \dots x_n)$ (рис.1).

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 (момент на долоті, частота його обертання, навантаження на долото, швидкість проходки) 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^l таких,

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

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

Вихідним результатом роботи шару Кохонена є множина класів – стани, в яких перебуває контрольований об’єкт: працездатний стан, непрацездатний стан, передаварійний стан, невизначений стан. Оскільки головною задачею є визначення моменту підйому долота, особливо на завершальній стадії його роботи, то виникає необхідність додаткового застосування нейромережі оцінки ступеня зношення долота на вибої свердловини, яка буде складовою частиною загальної системи контролю зношення долота в умовах невизначеності процесу буріння свердловин. Для вирішення поставленого завдання застосуємо нейромережу прямого поширення.

Реалізована нейромережа має три прошарки: вхідний прошарок з п’ятьма вхідними змінними, прихований прошарок та вихідний прошарок, сигнал якого є оцінкою ступеня зношення породоруйнівного інструменту (рис. 2). Приховані шари забезпечують проміжну обробку вхідного сигналу.

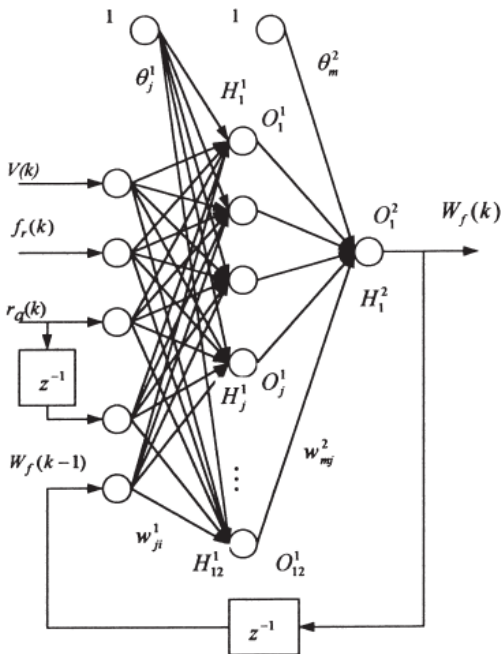


Рисунок 2 – Нейромережа прямого поширення для оцінки зношення долота на вибої свердловини

Пред’явлення мережі вхідних параметрів процесу буріння здійснюється у певних проміжках часу – кроках $k = \Delta t$, вважатимемо, що на цих проміжках значення вимірюваного параметру залишаються незмінними.

Вхідними сигналами нейромережі є: механічна швидкість буріння $v(k)$, частота обертання породоруйнівного інструменту $f_r(k)$, момент на породоруйнівному інструменті $r_a(k)$. Два інших входи $r_a(k-1)$ і $W_f(k-1)$ можуть

бути визначені з попередніх значень моменту на породоруйнівному інструменті $r_a(k)$ та оцінки зношення породоруйнівного інструменту $W_f(k)$.

Введемо наступні позначення для сигналів кожного з прошарків нейромережі:

$O_i^0 (i = 1, 2, \dots, 5)$ - входи нейромережі:

$$O_0^1 = v(k),$$

$$O_2^0 = f_r(k),$$

$$O_3^0 = r_a(k),$$

$$O_4^0 = z^{-1}r_a(k) = r_a(k-1),$$

$$O_5^0 = z^{-1}W_f(k) = W_f(k-1);$$

$O_j^1 (j = 1, 2, \dots, 12)$ - виходи прихованого прошарку нейромережі;

$O_m^2 (m = 1)$ - вихід нейромережі:

$$O_1^2 = W_f(k).$$

Вагові коефіцієнти між вхідним і прихованим прошарками позначимо через $w_{ji}^1 (j = 1, 2, \dots, 12; i = 1, 2, \dots, 5)$, а вагові коефіцієнти між прихованим і вихідним прошарками як $w_{mj}^2 (m = 1; j = 1, 2, \dots, 12)$.

В запропонованій архітектурі нейромережі, що зображена на рис. 1, введено два додаткові вузли, одиничні виходи яких зв’язані з нейронами в прихованому і вихідному прошарках. Ці додаткові зв’язки призначені для корекції порогових активаційних функцій, що входять до алгоритму функціонування мережі. Вагові коефіцієнти зв’язків між додатковими вузлами і прихованим прошарком складають $\theta_j^1 (j = 1, 2, \dots, 12)$, а між додатковими вузлами і вихідним прошарком - $\theta_m^2 (m = 1)$ відповідно.

Процес створення нейромережевого алгоритму оцінки зношення породоруйнівного інструменту починається з ініціалізації нейромережі, тобто попереднього визначення всіх вагових коефіцієнтів

$$w_{ji}^1 (j = 1, 2, \dots, 12; i = 1, 2, \dots, 5),$$

$$w_{mj}^2 (m = 1; j = 1, 2, \dots, 12),$$

$$\theta_j^1 (j = 1, 2, \dots, 12),$$

$$\theta_m^2 (m = 1).$$

На цьому етапі їм присвоюють випадкові малі значення.

Процес навчання починається з того, що нейромережі пред’являються P зразків $\{x^p, d^p\} (p = 1, 2, \dots, P)$ набору вхідних технологічних параметрів процесу буріння

$$x^p = [v(k), f_r(k), r_a(k), r_a(k-1), W_f(k-1)]^p$$

та бажаний вихід $[W_f(k)]^p$, який характеризує ступінь зношення породоруйнівного інструменту. Зразки, що використовуються для навчання були отримані шляхом обробки інформації отриманої шляхом запису основних технологі-

чних параметрів на бурових платформах України та Росії. Ступінь зношення породоруйнівного інструменту, що використовується в навчальних зразках - $[W_f(k)]^p$ змінюється в межах $[0,1]$ і визначається в результаті обробки експертної інформації технологів-операторів (лінгвістичні оцінки ступеня зношення породоруйнівного інструменту для кожного набору контрольованих технологічних параметрів) з використанням методів Fuzzy Logic.

Вихід нейромережі обчислюється згідно принципів класичних Feed-Forward мереж.

Описана процедура дає можливість створити ефективний алгоритм оцінювання зношення долота інструменту в реальному часі.

Реалізація запропонованих підходів дає змогу розробляти адаптивні системи контролю зношення долота та ідентифікації технологічних ситуацій, що виникають в процесі буріння глибоких свердловин на нафту і газ. Ці системи дають змогу значно підвищити вірогідність контролю, оскільки можуть автоматично пристосовуватися до змінних геолого-технологічних умов процесу поглиблення свердловин та прогнозувати виникнення й розпізнавати відомі передаварійні ситуації, ускладнення, що можуть виникнути в процесі буріння свердловин.

Висновки

Проведений аналіз проблеми ідентифікації та контролю відпрацювання доліт, з метою підвищення ефективності автоматизованого управління процесом буріння свердловин на нафту і газ свідчить, 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 алмазних доліт обчислювального інтелекту, що базуються на штучних нейронних мережах.

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 дає змогу періодично контролювати технічний стан долота і на основі застосування методів кластерного аналізу розпізнавати основні стани, в яких може працювати долото: «працездатний», «непрацездатний», «передаварійний», «невизначений» та визначати ступінь зношення долота.

Література

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

2 Палагушкин В.А. Скважинная система как сложный объект управления / В.А. Палагушкин, П.Н. Чариков // Проблемы нефтегазового комплекса России. – УФА: УНИ. – 1998 – С. 38 – 42.

3 Бессон А. Новый взгляд на режущие элементы буровых долот / А. Бессон, Б.Берр, С. Диллард, Э. Дрейк, Б. Айви, К. Айви, Р. Смитт, Г. Уотсон // Нефтегазовое обозрение. Том 7. – 2002. – №2. – С. 4-31.

4 Методические указания по применению статических методов в бурении нефтяных и газовых скважин: состав. А.Х. Мирзаджанзаде, А.Г. Аветисов, А.И. Булатов, В.И. Крилов, А.С.Макарян. – М.: Мин-во нефтяной промышленности, 1983. – 315 с.

5 Семенцов Г.Н. Оптимальное управление процессом бурения нефтяных и газовых скважин: автореф. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.13.07 – Автоматизация технологических процессов и производств (промышленность) / Г.Н. Семенцов. – М., 1990. – 44 с.

6 Кацман Ф.М. Состояние и направление компьютеризации бурения в США. / Ф.М. Кацман, В.Г. Беликов, Ш.М. Смотрицкий // Обзорная информация. – М.: ВНИИОЭНГ. – 1990. – 39 с.

7 Пат. 2174596 Российская Федерация МПК 7 E21 В 44/00 Способ регулирования условий бурения, влияющих на режим эксплуатации бура / Смит Ли Морган (US), Голдман Виллям Э. (US), заявитель и патентообладатель Дрессер Индастриз, Инк. (US) – №98119444/03; заявл. 1997.03.21, опубл. 2001.10.10.

8 А.с. 1102906 СССР МКИ E21 В.45/00 Устройство для определения границ залегания горных пород различной буримости и износа алмазной коронки / А.Е. Козловский, В.М. Питерский, Е.И. Павлов, А.А. Сотников (СССР), – №95 18053/22-03, заявл. 03.12.82, опубл. 15.07.84, Бюл. №26.

9 Шагеев А.Ф. Автоматизированный мониторинг процессов обработки скважин – первая степень интеллектуальных систем управления / А.Ф. Шагеев, А.М. Тимушева, Л.Н. Шагаева, А.С. Гришин // Нефтяное хозяйство – 2000. – №11. – С. 48-49.

10 Пат 2021499 Российская Федерация МПК E21 В45/00 Система управления процессом бурения Сахарова А.В. / Сахаров А.В., заявитель и патентообладатель Сахаров А.В. – №4775523/03, заявл. 1992.11.27, опубл. 1994.10.15.

11 Яремійчук Р.С. Напрямок створення української технології спорудження свердловин, конкурентноспроможної на світовому рівні / Яремійчук Р.С., Байдюк Б.В. // Нафтова і газова промисловість. – 1997. – №4. – С. 17-18.

- 12 Яремийчук Р.С. Бурение стволов большого диаметра / Яремийчук Р.С., Рейхерт А.А. – М.: Недра, 1977. – 174 с.
- 13 Куликовский Л.Ф. Информационно-измерительные системы для управления процессом бурения / Куликовский Л.Ф., Ушмаев В.И. – М.: Недра, 1972. – 105 с.
- 14 Информационно-измерительная техника для управления процессом бурения / [Куликовский Л.Ф., Белоусов В.М., Грачев Ю.В. и др.]; под ред. Л.Ф. Куликовского. – Куйбышев: Куйбышевское книжное издательство, 1969. – 128 с.
- 15 Семенцов Г.Н. Математичний аналіз критеріїв відпрацювання доліт / Г.Н. Семенцов, М.І. Горбійчук, І.І. Чигур // Нафтова і газова промисловість – 2001. – №6. – С. 15-19.
- 16 Кукурудз С.Ф. Исследование износоустойчивости трехшарошечных долот и разработка средств автоматического контроля за интенсивностью их изнашивания при бурении глубоких скважин: автореф. дис. на соискание уч. степени канд. техн. наук: 05.13.07 «Автоматическое управление технологическими процессами в горной промышленности» / С.Ф. Кукурудз. – Свердловск, 1973. – 22 с.
- 17 Горбійчук М.І. Адаптивне керування процесом буріння глибоких свердловин: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: 05.13.07 «Автоматизація технологічних процесів» / М.І. Горбійчук – Львів, 1999. – 35 с.
- 18 Замиховский Л.М. Исследование взаимосвязи механической скорости проходки с износом вооружения шарошечных долот: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.15.10 «Бурение нефтяных и газовых скважин» / Л.М. Замиховский. – М., 1979 – 24 с.
- 19 Чигур І.І. Розробка методу контролю технічного стану шарошечних доліт в умовах невизначеності процесу буріння: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.11.13 «Прилади і методи контролю та визначення якості речовин» / І.І. Чигур – Івано-Франківськ, 2000. – 20 с.
- 20 Саркисов В.А. Определение зависимостей показателей работы долот от параметров режима бурения / В.А. Саркисов // Нефтяное хозяйство. – 1973. – №4. – С. 17-21.
- 21 Семенцов Г.Н. О структуре критериев рациональной отработки долот / Семенцов Г.Н., Горбійчук М.И. // Разведка и разработка нефтяных и газовых месторождений. – Львов: Высшая школа, 1989. – С. 70-73.
- 22 I.N. Tansel, C. Mekdeci, O. Rodriguez, B. Urangun, Monitoring drill conditions with wavelet based encoding and neural network, International Journal of Machine Tools & Manufacture 33 (4), (1993) 559-575 p.
- 23 Чигур І.І. Фазі-моделювання та автоматизований контроль відпрацювання шарошечних доліт в умовах невизначеності процесу буріння // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2001. – № 1. – С. 81-86.
- 24 I.N. Tansel, O. Rodriguez, C. Mekdeci, Detection of tool breakage in microdrilling operation with RCE neural networks, PED, ASME 47 (1) (1992) 83-88.
- 25 E. Govekar, I. Grabec, Self-organizing neural network application to drill wear classification, Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME 116 (3) (1994) 233-238.
- 26 P.G. Li, S.M. Wu, Monitoring drilling wear states by a fuzzy pattern recognition technique, Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME 110 (2) (1988) 297-300.
- 27 Семенцов Г.Н. Нейромережева оцінка технічного стану породоруйнівного інструменту / Семенцов Г.Н., Чигур І.І., Чигур Л.Я. // Вісник технологічного університету Поділля. – Ч.1., Том 1. – 2004. – С. 196-198.
- 28 T.I. Liu, K.S. Anantharaman, Intelligent classification and measurement of drill wear, Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME 116 (1994) 392-397.
- 29 A. Noori-Khajavi, Frequency and time domain analyses of sensor signals in a drilling process and their correlation with drill wear, PhD Thesis, Oklahoma State University, Stillwater, OK, 1992.
- 30 A. Noori-Khajavi, R. Komanduri, On multisensor approach to drill wear monitoring, Annals of the CIRP 42 (1) (1993) 71-74.
- 31 T.I. Liu, E.J. Ko, On-line recognition of drill wear via artificial neural networks, monitoring and control for manufacturing processes, PED, ASME 44 (1990) 101-110.
- 32 T.I. Liu, S.M. Wu, On-line detection of drill wear, Journal of Engineering for Industry, Transactions of the ASME 112 (1990) 299-302.
- 33 F. Erdeiyi, C. Sa.ntha, Monitoring tasks on boring and milling production cells, Computers in Industry 7 (1986) 65-71.
- 34 E. Jantunen, A solution for tool wear diagnosis, in: Proceedings of Comadem'99, Coxmoor Publishing Company, Oxford, UK, 1999, pp. 95-104.
- 35 E. Jantunen, H. Jokinen, R. Milne, Flexible expert system for automated on-line diagnosis of tool condition, in: Integrated Monitoring Diagnostics & Failure Prevention, Technology Showcase, 50th MFPT, Mobile, Alabama, 1996, pp. 259-268.
- 36 Штучні нейромережі: навчальний посібник / Руденко О.Г., Бодяньський Є.В. – Харків, 2006. – 404 с.
- 37 Self-organizing maps. Teuvo Kohonen, Helsinki, Finland, 2005 – 496 p.

Стаття надійшла до редакційної колегії
01.09.15

Рекомендована до друку
професором **Горбійчуком М.І.**
(ІФНТУНГ, м. Івано-Франківськ)
канд. техн. наук **Котом Г.В.**
(Івано-Франківська філія Відкритого міжнародного університету розвитку людини «Україна», м. Івано-Франківськ)