68.51(043)
Г 94

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

ГУМЕНЮК ТАРАС ВОЛОДИМИРОВИЧ

УДК 681.51[illegible]:622.24 +
622.24(043)
Г 94

ОПТИМАЛЬНЕ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ ПОГЛИБЛЕННЯ НАФТОГАЗОВИХ СВЕРДЛОВИН В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Спеціальність 05.13.07 – Автоматизація процесів керування

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2016

Дисертацією є рукопис

ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

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

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Горбійчук Михайло Іванович,
Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
завідувач кафедри комп'ютерних систем та мереж

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Алексєєв Михайло Олександрович
Державний вищий навчальний заклад "Національний гірничий університет",
декан факультету інформаційних технологій

доктор технічних наук, старший науковий співробітник
Суздаль Віктор Семенович
Інститут сцинтиляційних матеріалів НАН України,
ведучий науковий співробітник відділу технології вирощування монокристалів

Захист відбудеться **03 листопада 2016 р. о 13^{00}** годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03 Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

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

Автореферат розісланий «30» вересня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 20.052.03,
доктор технічних наук, професор А. П. Олійник

НТБ
ІФНТУНГ
an2620

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Перед Україною стоїть задача історичного значення – до 2025 року забезпечити енергетичну незалежність за рахунок збільшення щорічного видобутку природного газу. Передумовою вирішення поставленої задачі є значні вже розвідані запаси газу обсягом майже 4,5 трильйони м. куб. Розвідка і видобуток з надглибоких структур донецько-дніпровської западини на глибині 6 – 8 тис. м. дозволить за 10 років збільшити щорічний видобуток газу на 10 – 15 млрд. м. куб.

Для вирішення поставленої задачі необхідно значно наростити обсяги як геологорозвідувального, так і експлуатаційного буріння, а це вимагає впровадження не тільки нових технологій і обладнання, але й удосконалення методів керування технологічним процесом буріння. Особливої уваги заслуговує оптимальне керування технологічними процесами, яке дасть змогу здешевити вартість спорудження свердловин.

У роботах цілого ряду авторів (М. А. Александров, Т. Н. Алієв, В. Г. Беліков, В. А. Бражников, Г. Н. Семенцов, М. І. Горбійчук, Л. М. Заміховський, К. С. Іманов, І. П. Петров, E. M. Galle, H. B. Woods, E. E. Halda, S. Ohara, R. J. Lawrence, В. Б. Кропивницька, І. С. Чигур, І. І. Чудик, С. М. Бабчук та ін.) були розроблені методи керування процесом поглиблення свердловин на основі детерміновано-статичних моделей.

Проте процес буріння є стохастичним процесом і таким, що розвивається у часі; йому притаманна значна нелінійність. Ця особливість процесу буріння частково врахована у роботах Г. Н. Семенцова, М. І. Горбійчука, В. А. Циганкова, де процес буріння розглядався як стаціонарний випадковий процес з відомими законами розподілу. Отримання такої інформації у промислових умовах вимагає значних витрат часу, а іноді є неможливим. Крім того така інформація швидко втрачає свою цінність оскільки процес буріння є нестаціонарним.

Тому актуальною є наукова задача розроблення нових методів оптимального керування процесом поглиблення свердловин, які забезпечували би досягнення високих техніко-економічних показників в умовах апріорної та поточної невизначеності, щодо параметрів і структури об'єкта курування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Вибраний напрямок досліджень є складовою частиною тематичного плану Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ). Дисертаційна робота виконана у відповідності з напрямком досліджень кафедри комп'ютерних систем і мереж ІФНТУНГ. Тематика роботи є частиною планових державних науково-дослідних програм з розвитку нафтогазового комплексу України і грунтується на результатах держбюджетних робіт: «Науково-методологічні основи діагностування та управління у нафтогазовій промисловості для оптимізації витрат енергоресурсів» (№ ДР 0107U001560); «Синтез комп'ютерних систем та розробка програмного забезпечення для об'єктів нафтогазового комплексу» (№ РК 0111U005890). Автор був безпосереднім

an 2619- an 2620

виконавцем з розроблення методів ідентифікації складних технологічних об'єктів та оптимального керування процесом поглиблення свердловин в умовах невизначеності.

Мета і задачі досліджень. Метою роботи є розробка методів і алгоритмів оптимального керування процесом поглиблення свердловин з роторним приводом породоруйнівного інструменту в умовах невизначеності.

Досягнення поставленої мети вимагає розв'язання таких взаємопов'язаних задач:

- аналіз сучасного стану проблеми оптимального керування процесом поглиблення свердловин для обґрунтування і визначення напрямку досліджень;
- розробка методу та алгоритму розпізнавання технологічних операцій бурової установки;
- розробка методу і алгоритмів синтезу оптимальних за складністю емпіричних моделей процесу поглиблення свердловин з врахуванням «розмитості» режимних параметрів;
- розробка методу і алгоритмів оптимального керування процесом поглиблення свердловин в умовах невизначеності;
- розробка програмного забезпечення методів ідентифікації та оптимального керування процесом поглиблення свердловин в умовах невизначеності;
- синтез комп'ютерної системи оптимального керування процесом поглиблення свердловин в умовах невизначеності на базі комплексу СКУБ-М2.

Об'єктом дослідження є технологічний процес поглиблення свердловин роторним способом, що відбувається за умов апріорної та поточної невизначеності під впливом зовнішніх завад.

Предметом дослідження є автоматизовані системи керування процесом поглиблення нафтових і газових свердловин, в основі побудови яких лежать методи та алгоритми визначення оптимальних керуючих дій в умовах невизначеності.

Методи дослідження. В основу виконаних досліджень покладено методи теорії штучних нейронних мереж (визначення технологічних операцій бурової установки); методи теорії нечітких множин та генетичних алгоритмів (синтез емпіричних моделей оптимальної складності); методи нелінійного програмування (розв'язання оптимізаційних задач); методи прогнозування випадкових процесів (прогнозування тривалості спуско-підіймальних операцій для наступного рейсу буріння).

Наукова новизна отриманих результатів полягає у постановці та розв'язанні актуальної науково-технічної задачі подальшого розвитку методів визначення технологічних операцій бурових установок з використанням штучних нейронних мереж; синтезі емпіричних моделей оптимальної складності з врахуванням нечіткості режимних параметрів процесу поглиблення свердловин; методі визначення оптимальних керуючих дій за критерієм мінімальної вартості метра проходки свердловини в умовах невизначеності і на цій основі синтезовано автоматизовану систему управління на базі комплексу СКУБ-М2.

Загальний науковий результат – метод визначення оптимальних керуючих дій за критерієм вартості метра проходки з врахуванням нечіткості режимних параметрів при бурінні свердловин роторним способом.

Наукова новизна виконаної роботи визначається наступними положеннями:

вперше:

- запропоновано метод визначення технологічних операцій бурової установки із застосуванням мережі Хеммінга, який дав змогу в автоматичному режимі визначати час початку операції поглиблення свердловини, тривалість спуско-підіймальних операцій та здійснювати моніторинг процесу буріння;

- розроблено метод синтезу емпіричних моделей оптимальної складності процесу поглиблення свердловин при бурінні роторним способом з врахуванням нечіткості режимних параметрів, що дало змогу створити передумови для побудови ефективних алгоритмів оптимального керування процесом поглиблення свердловин в умовах невизначеності;

- визначено оптимальні керувальні дії за критерієм вартості метра проходки свердловини, з використанням генетичних алгоритмів, що дало змогу синтезувати систему керування процесом поглиблення свердловин в умовах невизначеності;

- розроблено структуру комп'ютерної системи автоматизованого керування процесом поглиблення свердловин, реалізація якої дає змогу в автоматичному режимі здійснювати оптимальне керування процесом поглиблення свердловин в умовах невизначеності;

знайшов подальший розвиток метод синтезу системи оптимального керування процесом поглиблення свердловини на базі комплексу СКУБ-М2, реалізація якого дає змогу зменшити експлуатаційні витрати при спорудженні нафтогазових свердловин.

Практичне значення отриманих результатів. Наукові положення, висновки і рекомендації, сформульовані автором у дисертації, мають практичне значення і полягають у наступному:

- розроблені алгоритми і програмне забезпечення для розв'язання задачі розпізнавання технологічних операцій бурової установки, які забезпечують моніторинг оператором послідовності технологічних операцій механічного буріння, а також автоматичне визначення тривалості спуско-підіймальних операцій для поточного рейсу;

- розроблені алгоритми та програмне забезпечення задачі визначення оптимальних керуючих дій за критерієм вартості метра проходки свердловини в умовах невизначеності;

- розроблено програмний модуль, який дає змогу інтегрувати розроблені програмні продукти у комплекс СКУБ-М2 (акт передачі – прийому програмного модуля «ОПТИМІЗАЦІЯ» від 30.10.2015 . ТОВ СКБ ЗА, та від 27.11.2015 р. ПП «Українська сервісна бурова компанія-1);

- окремі розділи дисертаційної роботи використані у навчальному процесі при вивченні дисциплін «Спеціалізовані комп'ютерні системи та мережі» та «Математичні методи оптимізації» (акт про впровадження від 29.10.2015 р.).

Особистий внесок здобувача. Основні результати теоретичних і практичних досліджень одержані автором особисто. У наукових працях, виконаних у співавторстві автору належить: у роботі [1, 9] - сформульована задача нечіткої оптимізації процесу поглиблення свердловини і розроблено метод її розв'язання. Ефективність розробленого методу підтверджена на конкретних промислових даних; [2] - розглянуто метод та розроблено комп'ютерну систему ідентифікації технологічних операцій бурової установки для вирішення завдань удосконалювання організації робіт при бурінні свердловин; [3] - запропоновано застосування генетичного алгоритму та успішно розв'язана задача оптимізації процесу поглиблення свердловини для випадку, коли цільова функція має несприятливу топологію, а область обмежень невипукла. Представлено приклад застосування даного алгоритму для умов буріння однієї із свердловин Прикарпаття; [4] - розглянуто методику визначення оптимального часу буріння в неоднорідних породах за критеріями рейсовий швидкості і вартості метра проходки. Розроблено математичну модель процесу поглиблення свердловини з метою визначення часу буріння для досягнення оптимального відпрацювання шарошкових доліт за станом озброєння в неоднорідних породах; [5, 8] - розроблено комп'ютерну систему для збору інформації про процес поглиблення свердловини з комплексу СКУБ-М2 та програмний модуль, який дає змогу інтегрувати програми оптимального керування процесом поглиблення свердловини в дану систему; [6] - розроблено метод синтезу емпіричних моделей оптимальної складності, для задачі ідентифікації залежностей швидкості механічного буріння і швидкості зміни умовної оцінки стану озброєння долота з врахуванням нечіткості режимних параметрів; [7, 10, 13] - розроблено метод побудови емпіричних моделей поліноміального виду для випадку, коли вхідні фактори є нечіткими величинами з відомими функція належності гаусового типу. Показано, що за таких умов вихідна величина моделі також нечітка величина і отримана відповідна функція належності, яка є основою для формування задачі ідентифікації; [11] - розроблено алгоритм визначення технологічних операцій бурової установки. Показано взаємодію алгоритму спорудження свердловини з алгоритмом оптимального управління процесом механічного буріння. Розроблено блок-схему системи ідентифікації технологічних операцій бурової установки; [12] - розроблено метод ідентифікації технологічних операцій бурової установки, який грунтується на інформації про технологічні параметри процесу спорудження свердловини. Проведений аналіз мереж Гопфілда і Хеммінга показав, що для задачі розпізнавання технологічних операцій бурової установки, доцільно використовувати мережу Хеммінга. Розроблено архітектуру такої мережі, яка подана у термінах матрично-векторних величин, а також алгоритм функціонування такої мережі; [14] - розглянуті існуючі алгоритми ідентифікації технологічних операцій бурової установки та проаналізовано їх недоліки; [15] – розроблено програмний модуль задачі оптимізації процесу поглиблення свердловин в умовах невизначеності.

Апробація результатів дисертації. Основні результати дисертаційної роботи доповідалися, обговорювались і одержали позитивну оцінку на міжнародних та всеукраїнських конференціях: Міжнародна проблемно-наукова міжгалузева конференція «Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління» (Бучач, 2009 р.); XXXIX International Research and Practice Conference "Physico-mathematical and technical sciences as postindustrial foundation of the informational society evolution" (London, 2012); 4-та Міжнародна науково-технічна конференція "Нафтогазова енергетика-2015" (Івано-Франківськ, 2015 р.); XXII міжнародної конференції з автоматичного управління "АВТОМАТИКА 2015" (Одеса, 2015 р.); 2-га Всеукраїнська науково-практична конференція молодих учених і студентів «Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості» (Івано-Франківськ, 2015 р.); 5-та науково-практична конференція «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання» (Івано-Франківськ, 2015 р.).

Публікації. Основні результати дисертації викладені у 15 наукових працях (в тому числі 6 публікації у виданнях, що включені до наукометричних баз, таких як Index Copernicus, Ulrich's Periodicals Directory, DRIVER, Bielefeld Academic Search Engine (BASE), WorldCat, Directory of Open Access Journals (DOAJ) та Socrates Impulse, що підтверджено сертифікатом № GUTS20150710-19: 6 статей в наукових фахових виданнях; 9 публікацій у збірниках доповідей міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів основної частини, висновків, списку використаних джерел, додатків. Загальний обсяг друкованого тексту становить 192 сторінок, з них: 162 сторінок основного тексту, 39 рисунків, 6 таблиць, список використаних джерел містить 136 найменувань на 15 сторінках, та 4 додатків на 30 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У ***вступі*** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано науково-технічну задачу, відображено зв'язок з науковими програмами та темами, визначено мету, задачі, об'єкт і предмет досліджень та коло задач, які розв'язуються, сформульовано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів.

У ***першому розділі*** проведено аналіз методів ідентифікації технологічних операцій бурової установки. Як показує практика, поточний контроль за розпізнаванням технологічних операцій бурової установки, незважаючи на невизначеність і складність цього процесу, досить ефективно здійснює оператор-бурильник, використовуючи свій досвід, інтуїцію і професійні навики у вигляді нечітких якісних понять. З урахуванням особливостей процесу буріння і необхідністю прийняття рішення про можливість виникнення аварій і ускладнень, актуальним питанням є визначення та розробка автоматизованої системи ідентифікації технологічних операцій, що виконуються буровою установкою.

При спорудженні свердловин на нафту і газ здійснюється певна послідовність технологічних операцій, кожна із яких характеризується деяким набором параметрів процесу буріння.

Для розв'язання задач оптимізації і керування процесом спорудження свердловин необхідно в автоматичному режимі визначати, яка саме технологічна операція має місце у поточний момент часу.

Отже, виникає задача класифікації технологічних операцій за сукупністю їх режимних параметрів. Така задача носить назву розпізнавання образів. У даному випадку конкретна технологічна операція - це образ, який необхідно віднести до певного класу. Проаналізовані методи розпізнавання образів такі як методи імовірнісного прийняття рішень, баєсовський підхід, у відповідності з яким необхідно визначати індикаторну функцію $g_i(\bar{x})$. На практиці, навіть при відомих статистичних характеристиках образу, може виявитись, що синтезувати функцію $g_i(\bar{x})$ досить складно, а то і неможливо.

Таким чином, задача розпізнавання образів належить до класу важко формалізованих. Тому подальші дослідження у цьому напрямку направлені на пошук ефективних методів розпізнавання образів. Серед них, у першу чергу, слід відмітити інтелектуальні методи і технології. Застосування інтелектуальних технологій для розв'язування задач розпізнавання образів пов'язано, перш за все, з штучними нейронними мережами і теорією нечітких множин.

Для реалізації оптимального керування процесом поглиблення свердловин необхідно формалізувати задачу пошуку оптимальних впливів керування відповідно до вибраного критерію оптимальності з врахуванням обмежень, які зумовлені технічними, енергетичними можливостями бурової установки і особливостями взаємодії пари «долото – гірська порода».

Показано, що формалізація процесу буріння здійснювалась у двох напрямках. Перший із них – це створення детермінованих моделей, які описують процес поглиблення свердловин у просторі станів з координатами - проходка на долото та показники, які характеризують як стан озброєння долота, так і стан його опор. Як показала практика, процес буріння є нелінійним, стохастичним, нестаціонарним і таким, що розвивається часі. Тому подальші дослідження у напряму формалізації процесу поглиблення свердловин розвивались у напрямку врахування цих властивостей процесу буріння. При цьому допускалось, що в однорідних породах відомі статистичні характеристики випадкових величин, якими є режимні параметри. Але таку інформацію на практиці важко отримати, крім того вона не може бути поширена на інші умови буріння.

Виконаний аналіз дозволив обґрунтувати вибір напрямку дослідження, сформулювати мету і завдання дисертаційної роботи, які полягають в вирішенні задачі розробки нових методів формалізації процесу поглиблення свердловин і на цій основі методів оптимального керування таким процесом, які б, по можливості, враховували особливість процесу поглиблення свердловин.

У ***другому розділі*** сформовано та розв'язано задачу розпізнавання технологічних операцій бурової установки за сукупністю режимних параметрів, значення яких залежать від поточної технологічної операції.

Кожна технологічна операція характеризується певною множиною режимних параметрів. Ця множина формується у термінах – «значення певного режимного параметру у поточний момент часу відмінне від нуль» або «даний параметр у поточний момент часу має нульове значення». Якщо у поточний момент часу значення відповідного параметру відмінне від нуля, то йому приписують значення «одиниці». У тому випадку, коли значення відповідного параметру має нульове (мінімальне) значення, тоді йому присвоюється значення «нуль».

Таким чином, кожній технологічній операції буде поставлена у відповідність множина значень, об'єктами якої є бінарні значення «нуль» або «одиниця». Для автоматичного розпізнавання технологічних операцій бурової установки необхідно, щоб такі множини не перетинались між собою. На основі аналізу технологічних операцій отримана відповідна таблиця технологічних операцій, аналіз якої показує, що кожна технологічна операція визначається однозначно.

Отже, задачу ідентифікації технологічних операцій бурової установки сформульовано як задачу розпізнавання образів. Вирішення поставленої задачі здійснено на основі нейромережевої технології. Коли вхідним вектором мережі є вектор, компоненти якого приймають тільки бінарні значення, тоді доцільно використовувати штучні нейронні мережі Гопфілда або Хеммінга. Проведений порівняльний аналіз цих мереж показав, що доцільним є використання мережі Хеммінга, яка характеризується, у порівнянні з мережею Гопфілда, меншими витратами на пам'ять і обсягом обчислень.

Розроблено архітектуру такої мережі, яка подана у термінах матрично-векторних величин, а також алгоритм функціонування такої мережі.

У ***третьому розділі*** розроблено метод синтезу оптимальних за складністю емпіричних моделей, за умови, що режимні параметри, які є аргументами таких моделей інтерпретуються як нечіткі величини з гаусовими функціями належності.

Процес поглиблення свердловин характеризується початковою швидкістю буріння $v_0(\bar{x})$ і швидкістю зміни умовної оцінки стану озброєння долота $K_y(\bar{x})$, де $\bar{x} = (F, N_\partial)^T$; F - осьове навантаження на долото; N_∂ - частота обертання ротора. Оскільки режимні параметри F і N_∂ вимірюються наземними приладами, то їх фактичне значення може значно відрізнятись від виміряного.

Отже, вхідні величини x_i, $i = \overline{1,m}$ ($m = 2$) емпіричної моделі

$$y = \sum_{j=0}^{n} c_j \prod_{i=1}^{m} x_i^{\varphi_{ji}}, \qquad (1)$$

запропоновано інтерпретувати як нечіткі величини з функціями належності

$$\mu(x_i)=\exp\left(-\frac{\left(x_i-x_i^{(0)}\right)^2}{2\alpha_{xi}^2}\right). \qquad (2)$$

де c_j - коефіцієнти полінома (1); φ_{ji} - степені аргументів, які повинні задовольняти обмеженню: $\sum_{i=1}^{m}\varphi_{ji}\le r,\ \forall j$; $x_i^{(0)}$, α_i, $i=\overline{1,m}$ - відповідно модальне значення і параметр нечіткості функції належності.

Знайдено функцію належності вихідної величини

$$\mu(y)=\mu\left(\sum_{j=1}^{n}c_j\prod_{i=1}^{m}x_i^{\varphi_{ji}}\right)=\exp\left(-\frac{\left(y-a_y\right)^2}{2\alpha_y^2}\right). \qquad (3)$$

Параметри a_y і α_y функції належності (3) знайдені з використанням правила виконання арифметичних операцій над нечіткими числами $(L-R)$- типу у гаусовому базисі. У результаті отримали

$$a_y=\sum_{j=0}^{n}c_j\prod_{k=1}^{m}\left(x_i^{(0)}\right)^{\varphi_{jk}},\ \alpha_y=\sum_{j=0}^{n}c_j\left(\sum_{i=1}^{m}\varphi_{ji}\cdot\left(x_i^{(0)}\right)^{\varphi_{ji}-1}\alpha_{xi}\prod_{\substack{k=1,\\k\ne i}}^{m}\left(x_i^{(0)}\right)^{\varphi_{jk}}\right). \qquad (4)$$

Для γ-зрізу функції належності (3) з врахуванням параметрів a_y і α_y, які визначаються формулами (4), визначили

$$y=\sum_{j=0}^{n}c_j\left(\prod_{i=1}^{m}\left(x_i^{(0)}\right)^{\varphi_{jk}}+A_\gamma\left(\sum_{i=1}^{m}\varphi_{ji}\cdot\left(x_i^{(0)}\right)^{\varphi_{ji}-1}\alpha_{xi}\prod_{\substack{k=1,\\k\ne i}}^{m}\left(x_k^{(0)}\right)^{\varphi_{jk}}\right)\right), \qquad (5)$$

де $A_\gamma=\sqrt{\ln\frac{1}{\gamma^2}}$.

Отриманий результат свідчить про те, що врахування нечіткості вхідних даних приводить до появи певного «штрафу», величина якого визначається параметрами функцій належності (2).

Отже, задача нечіткої ідентифікації сформульована у такий спосіб: визначити параметри c_j, $j=\overline{0,n-1}$ моделі (5) таким чином, щоб мінімізувати суму квадратів відхилень розрахункових значень, які визначаються співвідношенням (5), від значень, що спостерігаються на виході об'єкта спостережень.

При керуванні процесом буріння осьове навантаження на долото F і швидкість його обертання $N_д$, як правило, підтримуються постійними протягом всього рейсу буріння. У роботі розглядаються бурові установки з електричним приводом ротора, отже керуючі впливи - осьове навантаження на долото і частота його обертання є взаємно незалежні величини.

Тому поставимо задачу - знайти таке F і N_∂ із допустимої області A_U, які є незмінним протягом рейсу буріння і щоб критерій оптимальності вартості метра проходки q набув найменшого значення

$$\min : q = \frac{C_б\left(t_б\left(\overline{x}\right) + t_{сп}\right) + d}{h\left(\overline{x}\right)}, \tag{6}$$

$$\overline{x} \in A_U, \tag{7}$$

де $C_б$ - вартість роботи бурової установки протягом однієї години; $t_б$ - витрати часу на механічне буріння; $t_{сп}$ - тривалість спуско-підіймальних операцій (СПО); d - вартість долота; h - проходка на долото за час $t_б$; A_U - допустима область керування.

Допустиму область керування A_U утворюють такі співвідношення:

$$F_{min} \le F_i \le F_{max}, \tag{8}$$

$$N_{\partial min} \le N_{\partial i} \le N_{\partial max}, \tag{9}$$

$$A_1 N_{\partial i} + A_2 N_{\partial i}^2 + A_3 H N_{\partial i}^{1,7} + A_4 N_{\partial i} F_i \le W_p, \tag{10}$$

$$Q = const,\ H = \sum_{i=1}^{k} h_i,\ h_i > 0,\ i = 1,2...k,\ v_{сп} \le v_{сп_{max}},\ M_\partial \le M_{\partial_{max}},$$

де $F_i, N_{\partial i}$ - відповідно значення осьового навантаження на долото і швидкості обертання ротора в i-му рейсі; F_{min}, $N_{\partial min}, F_{max}, N_{\partial max}$ - відповідно мінімальні і максимальні значення осьового навантаження на долото і швидкості обертання ротора; Q - витрата бурового розчину; H - поточна глибина свердловини; h_i - проходка на долото в i-му рейсі; k - кількість рейсів; A_1, A_2, A_3 і A_4 - відомі величини, які не залежать від F, N_∂; W_p - потужність приводу ротора; $v_{сп}$, $v_{сп_{max}}$ - відповідно швидкість спуско-підіймальних операцій та максимально допустима швидкість спуско-підіймальних операцій; $M_\partial, M_{\partial_{max}}$ - відповідно момент на долоті та максимально допустимий момент на долоті.

Значення величини тривалості спуско-підіймальних операцій $t_{сп}$ з певною вірогідністю може бути оцінено, зокрема, шляхом передбачення за результатами його значення у попередніх рейсах. Складність такого передбачення зумовлена тим, що конкретне значення $t_{сп}$ визначається не лише типом та продуктивністю приводу бурової лебідки, глибиною та кривизною свердловини, але й цілим рядом суб'єктивних факторів, які пов'язані зі складом бурової бригади, кваліфікацією її членів, сезонністю робіт, погодними умовами та ін.

Таким чином, наявність багатьох факторів, які невизначеним чином впливають на тривалість спуско-підіймальних операцій дає всі підстави вважати, що $t_{сп}$ є нечіткою величиною з функцією належності

$$\mu\left(t_{сп}\right) = \exp\left\{-\frac{\left(t_{сп} - m\right)^2}{2\sigma^2}\right\}, \tag{11}$$

де m і σ - числа, які характеризують «розмитість» нечіткої величини $t_{сп}$.

Оскільки величина $t_{сп}$ у критерій оптимальності (6) входить лінійно, то показано, що

$$\mu(q)=\exp\left\{-\frac{(q-m_q)^2}{2\sigma_q^2}\right\}, \tag{12}$$

де $m_q=a(\bar{x})+mb(\bar{x})$; $\sigma_q=\sigma b(\bar{x})$; $a(\bar{x})=\frac{C_б t_б(\bar{x})+d}{h(\bar{x})}$, $b(\bar{x})=\frac{C_б}{h(\bar{x})}$.

Для заданого α -зрізу функції належності (11) із формули (12) визначили

$$q(\bar{x})=\frac{C_б\left(t_б(\bar{x})+m\right)+d}{h(\bar{x})}+\frac{\sigma C_б}{h(\bar{x})}\sqrt{\ln\frac{1}{\alpha^2}}. \tag{13}$$

Функції $t_б(\bar{x})$ і $h(\bar{x})$ визначимо, скориставшись відомою математичною моделю процесу поглиблення глибоких свердловин

$$\frac{dh(t)}{dt}=v_0\left(\bar{x}(t)\right)f\left(\varepsilon(t)\right), \tag{14}$$

$$\frac{d\varepsilon(t)}{dt}=K_\varepsilon\left(\bar{x}(t)\right), \tag{15}$$

$$\frac{dg(t)}{dt}=K_g\left(\bar{x}(t)\right), \tag{16}$$

з початковими умовами та граничними умовами

$$h(0)=g(0)=0;\ \varepsilon(0)=1;\ \varepsilon(t_б)=\varepsilon_k;\ \text{і}\ g(t_б)=g_k, \tag{17}$$

де $\varepsilon(t), g(t)$- оцінки станів озброєння і опор шарошкового долота; $K_\varepsilon\left(\bar{x}(t)\right)$, $K_\varepsilon\left(\bar{x}(t)\right)$ - швидкість зміни у часі оцінок $\varepsilon(t)$ і $g(t)$; ε_k і g_k- значення оцінок ε і g в кінцевий момент часу $t=t_б$.

Оскільки $\bar{x}(t)=const$, а $f(\varepsilon)=\frac{1}{\varepsilon}$, то рівняння (14) і (15) можна інтегрувати з початковими та граничними умовами (17). У результаті отримаємо

$$h(\bar{x})=\frac{v_0(\bar{x})}{K_\varepsilon(\bar{x})}ln\left(K_\varepsilon(\bar{x})t_б(\bar{x})+1\right). \tag{18}$$

Керування процесом буріння за критерієм (6) допускає, що закінчення чергового рейсу може бути зумовлено двома факторами - зносом озброєння долота або зносом його опор.

Допустимо, що випереджаючим фактором є знос озброєння долота. Тоді час закінчення чергового рейсу (час буріння) визначимо із рівняння (15)

$$t_б(\bar{x})=A_\varepsilon K_\varepsilon^{-1}(\bar{x}), \tag{19}$$

де $A_\varepsilon=\varepsilon_k-1$.

У тому випадку, коли випереджаючим фактором є знос опори долота, то розв'язавши диференціальне рівняння (16) з граничними умовами (17), знаходимо

$$t_\delta(\bar{x}) = A_g K_g^{-1}(\bar{x}), \tag{20}$$

де A_g – постійна величина, що визначається граничними умовами.

Отже, критерій оптимальності (6) буде визначатись такими формулами:

- випереджаючий знос озброєння долота

$$\min : q(\bar{x}) = \frac{C_\delta A_\varepsilon + K_\varepsilon(\bar{x})(C_\delta m + d)}{v_0(\bar{x})\ln(A_\varepsilon + 1)} + \frac{\sigma K_\varepsilon(\bar{x}) C_б}{v_0(\bar{x})\ln(A_\varepsilon + 1)}\sqrt{\ln\frac{1}{\alpha^2}}; \tag{21}$$

- випереджаючий знос опор долота

$$\min : q(\bar{x}) = \frac{C_\delta A_g K_\varepsilon(\bar{x}) + K_\varepsilon(\bar{x})(C_\delta m + d)}{v_0(\bar{x})\ln\left(A_g K_\varepsilon(\bar{x}) / K_g(\bar{x}) + 1\right)} + \\ + \frac{\sigma K_\varepsilon(\bar{x}) C_б}{v_0(\bar{x})\ln\left(A_g K_\varepsilon(\bar{x}) / K_g(\bar{x}) + 1\right)}\sqrt{\ln\frac{1}{\alpha^2}}. \tag{22}$$

Параметри залежностей $v_0(\bar{x})$ і $K_\varepsilon(\bar{x})$, які входять у критерій оптимальності (21) або (22), визначено за допомогою розроблених методів ідентифікації.

У ***четвертому розділі*** розроблено алгоритмічне забезпечення таких задач оптимального керування процесом поглиблення свердловин як задача розпізнавання технологічних операцій бурової установки за допомогою штучної нейронної мережі Хеммінга, задача синтезу математичних моделей процесу поглиблення свердловин з врахуванням нечіткості режимних параметрів та задача оптимального керування процесом поглиблення свердловин в умовах невизначеності.

Система MatLab вміщує обширний набір функцій, які об'єднані у Neural Network Toolbox. Але серед групи функцій створення нейронних мереж відсутня функція, яка дала б можливість синтезувати нейронну мережу Хеммінга. Тому було розроблено алгоритм і відповідне програмне забезпечення такої мережі.

Для реалізації алгоритму оптимального керування процесом поглиблення свердловин за критерієм (6) при обмеженнях (8) – (10) необхідно визначити як структуру моделей (5), так і їх параметри. Очевидно, що $y = \{v_0(\bar{x}), K_\varepsilon(\bar{x})\}$. Оскільки $K_\varepsilon(\bar{x}) = \frac{d\varepsilon}{dt}$, а $\varepsilon = \frac{v_0}{v_t}$ і $K_\varepsilon(\bar{x}) = v_0\frac{d}{dt}\left(\frac{1}{v_t}\right)$, то для побудови емпіричної моделі $K_\varepsilon(\bar{x})$ необхідно мати інформацію про $v_0(\bar{x})$. Тому було запропоновано замість $K_\varepsilon(\bar{x})$ ідентифікувати залежність $K_y(\bar{x})$, між якими існує такий взаємозв'язок: $K_y(\bar{x}) = \frac{K_\varepsilon(\bar{x})}{v_0(\bar{x})}$. Величину $K_y(\bar{x})$ слід трактувати як швидкість зміни умовної оцінки стану озброєння долота $K_y = \frac{d\varepsilon_y}{dt}$, де $\varepsilon_y = \frac{1}{v_t}$ - умовна оцінка

стану озброєння долота. Тоді $y=\{v_0(\bar{x}),K_y(\bar{x})\}$. Показники процесу поглиблення свердловин $v_0(\bar{x})$ і $K_y(\bar{x})$ обчислювались за такими рекурентними формулами:

$$v_t(k+1)=\frac{h(k+2)-h(k+1)}{T},$$

$$K_y=-\frac{1}{v_t^2(k)}\cdot\frac{h(k+1)-2h(k)+h(k-1)}{T^2},\ k=\overline{1,N-2},$$

Залежності $v_0(\bar{x})$ і $K_y(\bar{x})$ апроксимувались рівнянням регресії (5), у якому $m=3$ і $r=2$. Для такого випадку отримано

$$\begin{aligned}y=&c_0+c_1\left(x_1+A_\gamma\alpha_{x1}\right)+c_2\left(x_2+A_\gamma\alpha_{x2}\right)+c_3\left(x_1x_2+A_\gamma\left(x_1\alpha_{x2}+x_2\alpha_{x1}\right)\right)+\\&+c_4\left(x_1^2+2A_\gamma\alpha_{x1}x_1\right)+c_5\left(x_2^2+2A_\gamma\alpha_{x2}x_2\right)+c_6\left(x_1^3+3A_\gamma\alpha_{x1}x_1^2\right)+\\&+c_7\left(x_1^2x_2+A_\gamma\left(2\alpha_{x1}x_1x_2+\alpha_{x2}x_1^2\right)\right)+c_8\left(x_1x_2^2+A_\gamma\left(\alpha_{x1}+2\alpha_{x2}x_1x_2\right)\right)+\\&+c_9\left(x_2^3+3A_\gamma\alpha_{x2}x_2^2\right).\end{aligned}\qquad(23)$$

Таким чином, отримали емпіричну модель, як враховує нечіткість вхідної інформації.

У відповідності з теоремою Геделя критерії відбору моделей розділили на внутрішні і зовнішні.

Характерною особливістю зовнішнього критерію є те, що для його обчислення використовується нова інформація, яка не використовувалась для синтезу моделей. Запропоновано експериментальні дані поділяти на дві частини: навчальні і перевірні. Відбір моделей із заданого класу здійснювався на основі критерію регулярності на перевірній множині. Для цього було застосовано генетичний підхід, суть якого у тому, що замість перебору великого числа часткових моделей, у регресійній моделі (23) вилучається частина коефіцієнтів шляхом приписування їм значення «нуль»; коефіцієнтам, що залишились, ставлять у відповідність «одиницю». Тоді така зашифрована послідовність коефіцієнтів лінії регресії є хромосомами. Використовуючи критерій регулярності, відібрали ту хромосому, яка асоційована з емпіричною моделлю оптимальної складності.

Розроблено відповідний алгоритм і програмне забезпечення синтезу моделей оптимальної складності (23). На конкретному експериментальному матеріалі перевірена працездатність і ефективність розробленого алгоритму.

Оскільки задача (21) з обмеженнями (8) – (10) є задачею нелінійного програмування, то задачі такого класу як правило, розв'язуються числовими методами, які для своєї реалізації вимагають, щоб критерій оптимальності і обмеження мали похідні до другого порядку включно; критерій оптимальності повинен бути унімодальною функцією, а обмеження – випуклими. Тільки у випадку виконання цих умов існують необхідні і достатні умови існування мінімуму скалярної функції на множині значень її аргументів, які задовольняють певним обмеженням.

Аналіз задачі (21) з обмеженнями (8) – (10) показав, що область A_x не є випуклою і тому неможливо гарантувати збіжність розв'язку задачі до оптимальної точки. Крім того критерій оптимальності (21) може мати складну топологію, наприклад, у вигляді яру, що також ускладнює розв'язок задачі оптимізації за допомогою класичних методів.

Як альтернативу таким методам було використано генетичний алгоритм, на основі якого розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення задачі оптимального керування процесом поглиблення свердловин.

П'ятий розділ присвячений розробці структури автоматизованої системи керування процесом поглиблення свердловин та спеціального програмного забезпечення, яке дає змогу інтегрувати розроблені програми у комплекс СКУБ-М2.

Запропоновано структуру комп'ютерної системи автоматизованого керування процесом поглиблення свердловин в умовах невизначеності (рис. 1). Вона складається із двох підсистем – визначення технологічних операцій бурової установки та визначення оптимальних керуючих дій – осьового навантаження на долото та частоти його обертання на основі критерію вартості метра проходки свердловини.

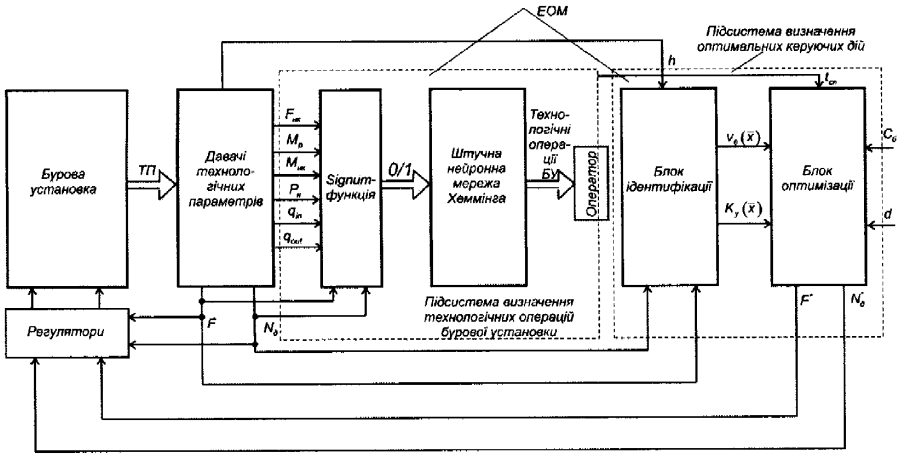

Рисунок 1 – Структура комп'ютерної системи автоматизованого керування процесом поглиблення свердловин

Блок визначення технологічних операцій бурової установки за інформацією, яка поступає від блоку давачів визначає одну із поточних технологічних операцій бурової установки, інформація про яку поступає на дисплей оператора. За розробленою методикою автоматично визначається тривалість спуско-підіймальних операцій та момент початку поглиблення свердловини.

Якщо підсистема визначення технологічних операцій бурової установки визначить початок механічного буріння, то починає працювати блок ідентифікації, який за результатами пробного буріння синтезує оптимальні за структурою емпіричні моделі $v_0(\bar{x})$ і $K_y(\bar{x})$ на засадах генетичних алгоритмів з врахуванням нечіткості значень $\bar{x} = \left(\tilde{F}, \tilde{N}_\partial\right)^T$. Після завершення процесу ідентифікації на основі отриманої інформації про $v_0(\bar{x})$ і $K_y(\bar{x})$, а також, враховуючи значення вартості години роботи бурової установки $C_б$, вартість долота d і параметри функції належності $\mu(t_{сп})$, здійснюється визначення оптимальних керуючих дій шляхом розв'язання задачі оптимізації за критерієм (21) при обмеженнях (8) – (10).

Результатом розв'язання задачі є оптимальні значення осьового навантаження на долото F^* і частота його обертання N_∂^*, які поступають на регулятори стабілізації осьового навантаження на долото і частоти його обертання як завдання. Вхідними величинами регуляторів служать поточні значення F і N_∂. У випадку відсутності відповідних регуляторів значення F^* і N_∂^* відображаються на дисплеї оператора як рекомендовані значення осьового навантаження на долото і частоти його обертання.

У ***висновках*** сформовано наукові та практичні результати дисертаційної роботи.

У ***додатках*** наведені програми визначення технологічних операцій бурової установки, синтезу моделей оптимальної складності процесу поглиблення свердловин на засадах генетичних алгоритмів, оптимізації процесу поглиблення свердловин в умовах невизначеності за критерієм вартості метра проходки, а також представлені акти щодо впровадження отриманих результатів дисертаційних досліджень.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі проведених досліджень вирішено важливу науково-технічну задачу в галузі автоматизації процесів керування, яка полягає у розробленні методів визначення технологічних операцій бурової установки на основі теорії штучних нейронних мереж для автоматичного визначення тривалості спуско-підіймальних операцій у поточному рейсі, ідентифікації процесу поглибленням свердловин з врахуванням нечіткості режимних параметрів, визначенні оптимальних керуючих впливів для роторного способу буріння за критерієм вартості метра проходки свердловини в умовах невизначеності і на цій основі розроблено метод синтезу комп'ютерної системи керування на базі комплексу СКУБ-М2. Основні наукові та практичні результати роботи полягають у наступному:

1 На основі проведеного аналізу сучасного стану задачі оптимального керування процесом поглиблення свердловин встановлено, що у вирішенні даної задачі існують два підходи. Перший з них передбачає, що математичні моделі

процесу поглиблення свердловини подаються як детерміновано-статистичні і на основі них вирішуються задача вибору оптимальних режимних параметрів за певним критерієм. Другий підхід враховує стохастичність режимних процесу буріння у межах однорідних пластів, допускаючи, що статистичні характеристики випадкових процесів відомі і на цій основі вирішується задача оптимального керування стохастичним об'єктом. Реалізація такого підходу викликає значні труднощі оскільки інформація про статистичні характеристики випадкового процесу досить часто не може бути перенесена на інші умови буріння. Тому актуальним напрямком досліджень є розроблення методів, алгоритмів і програмного забезпечення для автоматизованої системи керування процесом поглиблення свердловин з врахуванням нечіткості як режимних параметрів процесу поглиблення свердловин, так і тривалості спуско-підіймальних операцій.

2 На базі штучної нейронної мережі Хеммінга розроблено метод визначення технологічних операцій бурової установки, який дає змогу здійснювати оператором моніторинг технологічних операцій буріння, а також в автоматичному режимі визначати як тривалість спуско-підіймальних операцій, так і момент початку поглиблення свердловини для поточного рейсу.

3 Вимірювання режимних параметрів процесу поглиблення свердловин, таких як осьове навантаження на долото і частота його обертання, за допомогою наземних приладів породжує нечіткість у їх значеннях. Виходячи із цього, було розроблено метод синтезу емпіричних моделей оптимальної складності на засадах генетичних алгоритмів, який враховує нечіткість режимних параметрів. Розроблені математичні моделі є основою алгоритмів оптимального керування процесом поглиблення свердловин.

4 Розроблено метод оптимального керування процесом поглиблення свердловин в умовах невизначеності. Особливістю методу є те, що в його основі лежать розроблені математичні моделі на етапі ідентифікації і врахована та обставина, що тривалість спуско-підіймальних операцій є нечіткою величиною. Обмеження на змінні у задачі оптимізації утворюють невипуклу множину. Тому для розв'язання такої задачі був використаний генетичний алгоритм.

5 Для реалізації отриманих методів у промислових умовах розроблені алгоритми і програмне забезпечення таких задач: визначення технологічних операцій бурової установки; синтезу моделей оптимальної складності з врахуванням нечіткості режимних параметрів; оптимізації процесу поглиблення свердловин в умовах невизначеності. Розроблене програмне забезпечення перевірено на промислових даних, що дало змогу визначити їх працездатність і ефективність.

6 Синтезовано автоматизовану систему керування процесом поглиблення свердловин на базі розробленої структурної схеми системи керування, програмного забезпечення та програми-інтегратора, що дало змогу використати як базовий елемент системи комплекс СКУБ-М2.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Горбійчук М. І. Нечітка оптимізація процесу поглиблення глибоких свердловин. / М. І. Горбійчук, Т. В. Гуменюк // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2015. – №3(34). – С. 15 - 21. *(Входить до міжнарожних науковометричних баз Academic Keys, ACNP, ADAT, BASE, РИНЦ, GENERAL IMPACT FACTOR, Google Scholar, Index Copernicus, OAJI , WorldCat, WorldWideScience та ін).*

2. Гуменюк Т. В. Метод ідентифікації станів бурової установки / Т. В. Гуменюк, В. Б. Кропивницька, Д. О. Ткачівський // Вісник Хмельницького національного університету. – 2010. – № 1. – С. 94 – 97. *(Входить до міжнарожних науковометричних баз РИНЦ, Index Copernicus, Google Scholar).*

3. Горбійчук М. І. Оптимізація процесу поглиблення свердловини на засадах генетичного алгоритму. / М. І. Горбійчук, Т. В. Гуменюк // Східно-європейського журналу передових технологій. – 2007. – №7. – С. 44-47. *(Входить до міжнарожних науковометричних баз Ulrich's Periodicals Directory, BASE, Index Copernicus, WorldCat, РИНЦ, DOAJ, EBSCO, ResearchBib, DRJI).*

4. Горбійчук М. І. Оптимальне відпрацювання шарошкових доліт за станом озброєння в неоднорідних породах. / М. І. Горбійчук, Т. В. Гуменюк // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. – 2006. – №4 (21). – С. 20-23.

5. Кропивницька В. Б. Розробка програмного забезпечення для комп'ютерної системи оптимальним керуванням процесом буріння / В. Б. Кропивницька, Б. В. Клим, Т. В. Гуменюк // Науковий вісник ІФНТУНГ. – 2008. - №2(18). – С. 126-130.

6. Побудова емпіричних моделей процесу поглиблення свердловин з врахуванням невизначеності / М. І. Горбійчук, Т. В. Гуменюк, Я. І. Заячук, Н. Т. Лазорів // Методи та прилади контролю якості. — 2016. — № 1. — С. 86-94.

7. Horbiychuk M. I. Fuzzy Identification of Technological Objects / M. I. Horbiychuk, T. V. Humeniuk, D. Povarchuk // Energy Engineering and Control Systems. – 2015. – №1(1). – P. 35-42.

8. Кропивницька В. Б. Комп'ютерна система визначення станів бурової установки. / В. Б. Кропивницька, Т. В. Гуменюк, М. С. Свирид // Поступ в науці. Збірник наукових праць Бучацького інституту менеджменту і аудиту. – Бучач. – 2009. – № 5. – С. 107-111.

9. Горбійчук М. І. Оптимізація процесу поглиблення глибоких свердловин в умовах невизначеності / М. І. Горбійчук, Т. В. Гуменюк // Матеріали XXII міжнародної конференції з автоматичного управління "АВТОМАТИКА 2015" 10-11 вересня 2015, Одеса, 2015. – С. 40 – 41.

10. Горбійчук М. І. Ідентифікації технологічних об'єктів в умовах невизначеності / М. І. Горбійчук, Т. В. Гуменюк // Тези доповідей Міжнародної науково-технічної конференції "Нафтогазова енергетика-2015" 21-24 квітня 2015 р. - м. Івано-Франківськ. - 2015 р. - С.252 - 257.

11. Horbiychuk M.I. Identification of drilling rig condition / M. I. Horbiychuk T. V. Gumenyuk // Technical progress of mankind in the context of continuous extension of the society's material needs: Peer-reviewed materials digest (collective monograph) published following the results of the CII International Research and Practice Conference and I stage of the Championship in Technical sciences, Architecture and Construction, London, June 18 - June 24, 2015 - London, 2015. - P. 37 - 40. *(Входить до міжнародних науковометричних баз РИНЦ, Google Scholar, Index Copernicus, SOCRATES-IMPULSE та ін.).*

12. Горбійчук М. І. Ідентифікації станів бурової установки з допомогою штучної нейронної мережі Хеммінга / М. І. Горбійчук, Т. В. Гуменюк // Інформаційні технології в освіті, техніці та промисловості: зб. тез доповідей II Всеукраїнської науково-практичної конференції молодих вчених і студентів, 6 – 9 жовтня 2015 р. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2015. – С. 240 – 242.

13. Горбийчук М. И. Моделирование технологических объектов по экспериментальным данными в условиях неопределенности / М. И. Горбийчук, Гуменюк Т. В., Поварчук Д. Д. // Material objects and their interactions in the focus of modern theoretical concepts and experimental data., London, June 18 - June 24, 2015 - London, 2015. - P. 30 - 37 *(Входить до міжнародних науковометричних баз РИНЦ, Google Scholar, Index Copernicus, SOCRATES-IMPULSE та ін.).*

14. Гуменюк Т. В. Анализ существующих алгоритмов индентификации технологических состояний буровой установки. / Т. В. Гуменюк // Physico-mathematical and technical sciens as postindustrial foundatino of the informational society evolution: Materials digest ot the XXXIX International Research and Practice Conference and the III stage of the Championship in technical, physical and mathematical sciences (London, December 19 – December 24, 2012) – London: Published by IASHE, 2013. – С. 30 – 32. *(Входить до міжнародних науковометричних баз РИНЦ, Google Scholar, Index Copernicus, SOCRATES-IMPULSE та ін.)*

15. Горбійчук М. І. / Програмний модуль задачі оптимізації процесу поглиблення свердловини в умовах невизначеності / М. І. Горбійчук, Т. В. Гуменюк // Збірник тез доповідей 5-ої науково-практичної конференції «Методи та засоби неруйнівного контролю промислового обладнання», 24 - 25 листопада 2015 р., м. Івано-Франківськ, ЕІ, ІФНТУНГ. – 2015. – С. 59-60.

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ НАУКОВО-ТЕХНІЧНА БІБЛІОТЕКА

АНОТАЦІЯ

Гуменюк Т. В. Оптимальне керування процесом поглиблення нафтогазових свердловин в умовах невизначеності. – 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 України, Івано-Франківськ, 2016.

Дисертація присвячена розробці методів визначення технологічних операцій бурової установки на основі теорії штучних нейронних мереж для автоматичного

визначення тривалості спуско-підіймальних операцій у поточному рейсі, ідентифікації процесу поглибленням свердловин з врахуванням нечіткості режимних параметрів, визначенні оптимальних керуючих впливів для роторного способу буріння за критерієм вартості метра проходки свердловини в умовах невизначеності.

На основі проведеного аналізу сучасного стану проблеми оптимального керування процесом поглиблення свердловин встановлено, що актуальним напрямком досліджень є розроблення методів, алгоритмів і програмного забезпечення для автоматизованої системи керування процесом поглиблення свердловин з врахуванням нечіткості як режимних параметрів процесу поглиблення свердловин, так і тривалості спуско-підіймальних операцій. Розроблено метод визначення технологічних операцій бурової установки, на базі штучної нейронної мережі Хеммінга, який дає змогу здійснювати оператором моніторинг технологічних операцій буріння, а також в автоматичному режимі визначати як тривалість спуско-підіймальних операцій, так і момент початку поглиблення свердловини, для поточного рейсу. Розроблено метод синтезу емпіричних моделей оптимальної складності на засадах генетичних алгоритмів, який враховує нечіткість режимних параметрів. Розроблені математичні моделі є основою алгоритмів оптимального керування процесом поглиблення свердловин. Розроблено метод оптимального керування процесом поглиблення свердловин в умовах невизначеності. Особливістю методу є те, що в його основі лежать розроблені математичні моделі на етапі ідентифікації і врахована та обставина, що тривалість спуско-підіймальних операцій є нечіткою величиною. Для реалізації отриманих методів у промислових умовах розроблені алгоритми і програмне забезпечення таких задач: визначення технологічних операцій бурової установки; синтез моделей оптимальної складності з врахуванням нечіткості режимних параметрів; оптимізація процесу поглиблення свердловин в умовах невизначеності. Розроблене програмне забезпечення перевірено на промислових даних, що дало змогу визначити їх працездатність і ефективність. Синтезовано автоматизовану систему керування процесом поглиблення свердловин на базі розробленої структурної схеми системи керування, програмного забезпечення та програми-інтегратора, що дало змогу використати як базовий елемент системи комплекс СКУБ-М2.

Ключові слова: бурова установка, математичне моделювання, ідентифікація, технологічні операції, оптимізація, штучна нейронна мережа, генетичний алгоритм, автоматизована система керування.

АННОТАЦИЯ

Гуменюк Т. В. Оптимальное управление процессом углубления нефтегазовых скважин в условиях неопределенности. - 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 Украины, Ивано-Франковск, 2016.

Диссертация посвящена разработке методов определения технологических операций буровой установки на основе теории искусственных нейронных сетей для автоматического определения продолжительности спуско-подъемных операций в текущем рейсе, идентификации процесса углублением скважин с учетом нечеткости режимных параметров, определении оптимальных управляющих воздействий для роторного способа бурения по критерию стоимости метра проходки скважины в условиях неопределенности.

На основе проведенного анализа современного состояния проблемы оптимального управления процессом углубления скважин установлено, что актуальным направлением исследований является разработка методов, алгоритмов и программного обеспечения для автоматизированной системы управления процессом углубления скважин с учетом нечеткости как режимных параметров процесса углубления скважин, так и продолжительности спуско-подъемных операций. Разработанный метод определения технологических операций буровой установки, на базе искусственной нейронной сети Хемминга, который позволяет осуществлять оператором мониторинг технологических операций бурения, а также в автоматическом режиме определять как продолжительность спуско-подъемных операций, так и момент начала углубления скважины, для текущего рейса. Разработанный метод синтеза эмпирических моделей оптимальной сложности на основе генетических алгоритмов, учитывающий нечеткость режимных параметров. Разработанные математические модели являются основой алгоритмов оптимального управления процессом углубления скважин. Разработанный метод оптимального управления процессом углубления скважин в условиях неопределенности. Особенностью метода является то, что в его основе лежат разработанные математические модели на этапе идентификации и учтено то обстоятельство, что продолжительность спуско-подъемных операций является нечеткой величиной. Для реализации полученных методов в промышленных условиях разработаны алгоритмы и программное обеспечение следующих задач: определение технологических операций буровой установки; синтез моделей оптимальной сложности с учетом нечеткости режимных параметров; оптимизация процесса углубления скважин в условиях неопределенности. Разработанное программное обеспечение проверено на промышленных данных, что позволило определить их работоспособность и эффективность. Синтезировано автоматизированную систему управления процессом углубления скважин на базе разработанной структурной схемы системы управления, программного обеспечения и программы-интегратора, что позволило использовать как базовый элемент системы комплекс СКУБ-М2.

Ключевые слова: буровая установка, математическое моделирование, идентификация, технологические операции, оптимизация, искусственная нейронная сеть, генетический алгоритм, автоматизированная система управления.

ABSTRACT

Humeniuk T. V. Optimal control of the process of deepening oil and gas wells in uncertainty. - The manuscript.

Thesis for achieving the candidate of technical sciences degree, specialty 05.13.07 - automation of control process. - Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas, Ministry of Education and Science of Ukraine, Ivano-Frankivsk, 2016.

The thesis is devoted to developing methods for determining technological conditions for a rig based on the theory of artificial neural networks to automatically determine the duration of the round-lifting operations in the current flight, identification of a process of deepening wells considering fuzziness of operational parameters, determining the optimal control actions for rotary method of drilling according to the criterion of the value of a meter of driving well in the face of uncertainty.

Based on the analysis of the current state of the problem of optimal control of the process of deepening wells found that the topical area of research is the development of methods, algorithms and software for automated control systems of the process of deepening wells considering fuzziness of operational parameters of the process of deepening wells and fuzziness of duration of launching gear operations. The method was developed for determination of technical operations of rig, based on artificial neural network Hamming, which enables the operator to carry out monitoring of drilling operations, and automatically determine the duration of the round-lifting operations for the current voyage. The method of synthesis of optimal complexity of empirical models was developed based on genetic algorithms that take into account the lack of clarity in operational parameters. The developed mathematical models are the basis for optimum process control algorithms of deepening wells. The method of optimal control of the process of deepening wells under uncertainty was developed. The feature of this method is that it is based on a mathematical model developed at the stage of identifying and the fact that the duration of the round-lifting operations are unclear value is taken into account. To implement methods obtained in industrial conditions algorithms and software were developed for the following tasks: determination of technical operations of rig; synthesis of models taking into account the complexity of the optimal operational parameters fuzziness; optimization of the process of deepening wells under uncertainty. The developed software tested in industrial data made it possible to determine its efficiency and effectiveness. The synthesized automated process management system of deepening wells was developed based on block diagram of the developed control system, software and program integrator, which made it possible to it use as a basic element of the complex SKUB-M2.

Keywords: drilling rig, mathematical modeling, identification, process conditions, optimization, artificial neural network, genetic algorithm, the automated control system.