

ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора, завідувача кафедри програмного забезпечення комп'ютерних систем Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» Алексєєва Михайла Олександровича на дисертаційну роботу Кропивницького Дмитра Романовича на тему "Математичне моделювання та оптимальне керування процесом механічного буріння гвинтовими вибійними двигунами", подану наздобуття наукового ступеня доктора філософії з галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації» за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

1. Актуальність теми дослідження

Україна сьогодні належить до енергодефіцитних країн, задовольняючи свої потреби в паливно-енергетичних ресурсах менш ніж на 50 %. У зв'язку з цим, досягнення максимально можливого рівня забезпеченості цими ресурсами є одним із головних завдань економіки України. Підвищення ефективності бурових робіт в наш час вимагає виявлення нових напрямків застосування найбільш ефективних технологій провідки нафтових і газових свердловин. Крім технологічних методів, існують і нетехнологічні, які також слід удосконалювати. У дисертаційній роботі розглядаються емпіричні математичні моделі процесу буріння гвинтовими вибійними двигунами, які враховують його особливості, а саме не відтворюваність, стохастичність та невизначеність.

Комплексне рішення задач, пов'язаних зі створенням математичних моделей обробки інформації і оптимізації режимів роботи процесу механічного буріння є важливою і актуальною науковою задачею.

2. Ступінь обґрунтованості наукових положень, їх достовірність

Дисертація складається з вступу, 4 розділів, загальних висновків, переліку посилань на літературні джерела, що містить 137 найменувань та 6 додатків . Основний текст, викладений на 145 друкованих сторінках, містить 4 таблиці та 40 рисунків.

У **вступі** подано актуальність теми, її зв'язок з державними планами, мету, завдання і методи дослідження, наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, особистий внесок здобувача в отримання наукових результатів, публікації на тему дисертації та структуру роботи

Перший розділ присвячено вивченню та аналізу вітчизняних та закордонних літературних джерел в області моделювання та ідентифікації процесу буріння нафтових і газових свердловин. Розглянуто можливість використання емпіричних моделей процесу механічного буріння гвинтовими вибійними двигунами з врахуванням невизначеності для розв'язання задачі оптимального керування. Конкретизовано мету роботи і подано основні завдання дослідження.

У **другому розділі** роботи розроблена емпірична математична модель процесу буріння гвинтовими вибійними двигунами на основі експериментальних досліджень та визначено основні керуючі дії – осьове навантаження на долото та тиск промивальної рідини на виході із маніфольду. Так у реальних умовах на об'єкт діють перешкоди, що не піддаються вимірюванню, було запропоновано значення вхідних та вихідних величин розглядати як нечіткі величини з трикутною функцією належності, яку апроксимовано гаусовою функцією.

Було запропоновано удосконалення методу побудови емпіричних поліноміальних моделей з використанням теорії генетичних алгоритмів для випадку, коли вхідні величини моделей - осьове навантаження на долото і тиск промивальної рідини - розглядаються як нечіткі величини. Це дозволило формалізувати задачу оптимального керування процесу буріння.

У **третьому розділі** розроблено метод оптимального керування процесом

поглиблення свердловини гвинтовими вибійними двигунами, що ґрунтується на двох критеріях: відпрацювання доліт за озброєнням і на вартості метра проходки свердловини. Реалізовано ітераційний алгоритм пошуку як оптимальних керуючих дій, так і часу закінчення чергового рейсу проходки.

Розглянуто вплив осьового навантаження на долото на форму бурової колони. Визначено, що збільшення даного параметру до критичного значення приведе до деформації бурової колони, що в свою чергу може спричинити аварійну ситуацію.

Реалізовано серію машинних експериментів на основі розробленого програмного забезпечення в середовищі MatLab, що дозволило визначити значення оптимальних режимних параметрів за критерієм мінімуму вартості метра проходки.

В четвертому розділі побудована функціональна дворівнева схема оптимального керування процесом буріння. На першому рівні розв'язується задача знаходження оптимальних керуючих дій за критерієм мінімум вартості проходки. Ці значення поступають на нижній рівень як вставки регуляторів подачі долота та буровому насосу.

Так як буріння свердловини на нафту і газ відбувається у взаємодії з буровим насосним агрегатом, було побудовано та досліджено аналітичну математичну модель системи «привод – буровий насос».

На основі розроблених математичних моделей побудовано каскадно-зв'язну систему керування буровим насосним агрегатом, завданням якої є підтримання постійної витрати і тиску бурового розчину.

Розроблено алгоритм обчислення параметрів налаштування регуляторів, для розв'язання оптимізаційної задачі, яка мінімізує узагальнений квадратичний критерій.

В середовищі MatLab реалізовано програму для знаходження параметрів налаштування регуляторів та проведено моделювання роботи системи зі знайденими числовими значеннями. За результатами дослідження було зроблено висновок про якість роботи системи автоматичного керування

буровим насосним агрегатом. Отримано такі значення: перерегулювання становить $\sigma = 1,2\%$, а час регулювання - 10,9 с.

Висновки, представлені в дослідженні, коректні та містять основні наукові результати, отримані в дисертації здобувача.

Додатки до роботи є ілюстрацією практичних результатів, отриманих у ході дослідження та вирішення науково-технічної задачі.

3. Рівень обґрунтованості наукових результатів дисертації, їхня достовірність й новизна

Обґрунтованість представлених у дисертаційному дослідженні наукових положень, висновків і рекомендацій полягає у використанні в дисертаційному дослідженні методів, наукових положень і підходів, що забезпечують об'єктивність, наукову обґрунтованість, системність отриманих результатів.

Достовірність отриманих результатів і запропонованих автором рішень, висновків, рекомендацій забезпечується розробленими в дисертації рішеннями, що мають наукову новизну та практичне значення, а також зробленими висновками та рекомендаціями, що вирішують поставлені задачі наукових досліджень. Наукова новизна отриманих результатів полягає наступному:

1) формалізована задача оптимального керування процесом поглиблення свердловин гвинтовими вибійними двигунами за вартісним критерієм з врахуванням обмежень на осьове навантаження на долото і на тиск промивальної рідини.

2) створена математична модель бурового насосного агрегату з регульованим електричним приводом, що дало змогу синтезувати структурну схему каскадно-зв'язаної системи автоматичного керування, яка стабілізує тиск промивальної рідини на виході із маніфольду з корекцією відносно зовнішніх збурень.

3) удосконалено метод побудови оптимальних за структурою емпіричних математичних моделей процесу поглиблення свердловин з

врахуванням нечіткості технологічних параметрів.

4) знайшов подальший розвиток метод створення каскадно-зв'язаної системи автоматичної стабілізації тиску бурового розчину на виході із маніфольду з корекцією відносно зовнішніх впливів, що дало змогу створити структурну схему такої системи та формалізувати задачу розрахунку параметрів налаштування регуляторів.

4. Повнота викладення матеріалу в опублікованих працях

Отримані наукові результати викладено в опублікованих 12 наукових працях, із них 1 стаття у міжнародному науковому журналі, що їх індексують в наукометричній базі даних Scopus; 5 статей у наукових фахових виданнях України, 6 матеріалів та тез доповідей на міжнародних та всеукраїнських конференціях. В опублікованих працях розкрито сутність та зміст наукових положень, винесених на захист. Обсяг і стиль викладення матеріалу дають змогу зрозуміти основний зміст дисертації.

5. Цінність результатів дисертаційного дослідження для науки і практики

Цінність отриманих результатів полягає в наступному:

1) розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення синтезу емпіричних моделей оптимальної складності процесу поглиблення свердловини з використанням методів штучного інтелекту;

2) розроблено алгоритмічне і програмне забезпечення для розв'язання задачі оптимального керування процесом буріння з ГВД за критерієм мінімум вартості метра проходки та для обчислення значення критичного навантаження на долото при бурінні свердловини числовим методом, виходячи із допустимого викривлення колони бурильних труб.

3) окремі розділи дисертаційної роботи використовуються при вивченні дисциплін: «Оптимальне та адаптивне керування в нафтогазовій промисловості», «Теорія автоматичного керування».

Підтвердженням актуальності дисертаційної роботи є її зв'язок з науковою темою, яка є частиною тематичного плану науково-дослідних робіт Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу (ІФНТУНГ), № державної реєстрації 0123U102619, яка виконується на кафедрі «Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій» ІФНТУНГ. Аспірант був безпосереднім виконавцем окремих розділів роботи, які стосувались математичного моделювання та оптимального керування технологічними процесами при спорудженні свердловини.

6. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності

У дисертаційній роботі Кропивницького Д. Р. не виявлено ознак академічного плагіату та інших порушень, що могли б поставити під сумнів самостійний характер виконаного дослідження та дотримання норм академічної доброчесності.

7. Відповідність дисертації встановленим вимогам

Дисертаційна робота є завершеною науковою працею. Її написано державною мовою із дотриманням наукового стилю, а її оформлення відповідає вимогам, що ставлять до кваліфікаційних дисертаційних робіт. Структура, зміст, загальний обсяг дисертації та кількість наукових публікацій на тему дисертації відповідає вимогам Міністерства освіти і науки України, до дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії. Дисертація є результатом науково-дослідної роботи, яку дисертант виконав на належному науково-методичному рівні.

8. Зауваження до дисертаційної роботи

1. У роботі слід було наголосити, що вибір тиску промивальної рідини як керуючої дії має важливе значення при спорудженні похило-скерованих свердловин.

2. Підрозділ 1.3 носить довідковий характер і не повністю розкриває переваги застосування штучного інтелекту в процесі буріння.

3. Не достатньо обґрунтовано застосування генетичного алгоритмі для розв'язку задачі синтезу оптимальної за структурою емпіричної моделі процесу механічного буріння.

4. Із тексту дисертації незрозуміло чи результати досліджень можна перенести на інші види буріння такі як роторне, турбінне чи електробуріння.

5. Оскільки вхідні дані для обчислення значень параметрів налаштування регуляторів було обрано з аналізу літературних джерел, то доцільно було б провести таке моделювання для різних вхідних даних і порівняти отримані результати для подальшого вибору.

6. Як побажання автору, у подальших наукових дослідженнях розглянути можливість застосування розроблених принципів і підходів до синтезу оптимальних керуючих дій для випадку буріння шарошковими долотами коли має місце випереджальне зношування опор долота.

7. Хоча загалом дисертаційна робота написана грамотною технічною українською мовою, у тексті трапляються деякі стилістичні неточності.

Указані зауваження не впливають на загальну позитивну характеристику дисертаційної роботи, вони не носять концептуального характеру. Тому їх можна розглядати як побажання і рекомендації в подальшій роботі здобувача.

9. Висновок про дисертаційну роботи

Вважаю, що дисертаційна робота здобувача ступеня доктора філософії Кропивницького Дмитра Романовича на тему "Математичне моделювання та оптимальне керування процесом механічного буріння гвинтовими вибійними двигунами" виконана на високому науковому рівні, не порушує принципів академічної доброчесності та є закінченим науковим дослідженням, сукупність теоретичних та практичних результатів якого розв'язує наукове завдання, що має істотне значення для галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та

електронні комунікації». Дисертаційна робота за актуальністю, практичною цінністю та науковою новизною повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, що передбачені в п.6 – 9 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Кропивницький Дмитро Романович заслуговує на присудження ступеня доктора філософії в галузі знань 17 «Електроніка, автоматизація та електронні комунікації» за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка».

Офіційний опонент,

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри програмного

забезпечення комп'ютерних

систем Національного

технічного університету

«Дніпровська політехніка»

Михайло АЛЕКСЄЄВ



Алексєєв Д.О.
Міс. секретар
Діловий Т.М.