

ВІДГУК

офіційного опонента

доктора технічних наук, професора Лорія Марини Геннадіївни,
завідувачки кафедри комп'ютерно-інтегрованих систем управління
Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля
на дисертаційну роботу Боброва Євгена Юрійовича

«Автоматизоване енергозберігаюче керування процесом буріння свердловин в
залізорудному кар'єрі»,

поданої на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю

151 «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології»

Актуальність обраної теми дисертації.

Буріння свердловин є найпоширенішою і найбільш витратною технологічною операцією, яка застосовується в процесі видобутку корисних копалин. Актуальність теми дисертації впливає із невирішених проблем щодо ефективного автоматизованого керування буровою установкою. Існуючі системи автоматизованого керування процесом буріння не забезпечують якісне формування і підтримання оптимальної швидкості проходки свердловин, відповідно до поточних фізико-механічних характеристик та текстурно-структурних особливостей гірської породи, що буриться. Це негативно позначається на продуктивності та енергоефективності процесу буріння.

Тема дослідження і спрямована на оптимізацію технології й підвищення енергоефективності та якості керування процесом буріння свердловин при видобутку залізовмісних руд, представлених певними мінеральними різновидами родовища, що розробляється. Для цього застосовується комплекс параметрів бурової установки, що вимірюються безпосередньо в процесі буріння, інтелектуальна система розпізнавання мінеральних різновидів залізної руди та дворівнева система модельно-прогнозуючого керування процесом.

З урахуванням наведеного вважаю, що тема дисертаційної роботи є важливою і актуальною. Цей висновок також підтверджується тим, що виконані дослідження є

складовою двох держбюджетних НДР, які виконуються у Криворізькому національному університеті, та відповідають напряму наукових досліджень «Інноваційні технології збереження та збалансованого використання природних (мінерально-сировинних, земельних, ґрунтових, водних та біотичних) ресурсів» відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України № 476 від 30.04.2024 «Про затвердження переліку пріоритетних тематичних напрямів наукових досліджень і науково-технічних розробок на період до 31 грудня року, наступного після припинення або скасування воєнного стану в Україні».

Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження.

1. Удосконалено математичну модель процесу буріння свердловин шляхом подання її у вигляді гібридної структури, аналітична частина, якої включає динамічні субмоделі робочих режимів і симулює силові, кінематичні та енергетичні залежності, а для формалізації функції взаємодії бурового долота з гірською породою використовується нейро-нечітка система. Функціональними складовими моделі визначено блок приводу бурової установки у наземній частині, блок бурового інструменту у свердловинній частині та блок руйнування гірської породи. При цьому блок приводу бурової установки і блок руйнування гірської породи представлено у вигляді структур із зосередженими параметрами, а блок бурового інструменту у свердловинній частині – структурою з розподіленими параметрами.
2. Вперше запропоновано метод визначення характеристичних ознак взаємодії долота бурової установки з гірською породою в процесі буріння свердловин на основі вимірювання параметрів супутнього вібраційного сигналу, за яким в процесі зміни робочого режиму приводу обертових частин бурової установки формується карта порядку в усьому діапазоні його обертів, визначається частота високоамплітудної вібрації долота, що відповідає визначеному піковому порядку обертів на сформованій карті, і на цій частоті вимірюються параметри та обчислюється середньоквадратичне значення амплітуди та гармонійне спотворення вібраційного сигналу бурового долота.

3. Удосконалено ітераційний метод оперативного розпізнавання мінералогічних різновидів залізної руди в процесі буріння свердловин, заснований на аналізі характеристичних параметрів у векторному просторі ознак, в якості яких використані результати вимірювань силових, кінематичних та енергетичних параметрів бурової установки. Технологія розпізнавання базується на використанні адаптивної нейро-нечіткої системи ANFIS, оптимізованої із застосуванням генетичного алгоритму з попередньою кластеризацією ознак методом нечітких середніх (Fuzzy C-means). Це дозволяє віднести предмет розпізнавання до основних мінеральних різновидів залізної руди експлуатованого родовища з похибкою 7-9%.
4. Удосконалено підхід щодо автоматизованого керування буровою установкою шляхом формування його у вигляді дворівневої структури із використанням замкнутих контурів пропорційно-інтегрально-диференціального регулювання навантаження на долото, швидкості його обертання та продуктивності системи очищення свердловини на нижньому рівні та модельно-прогнозуючого керування (МПК) на верхньому рівні для динамічного корегування заданих значень регульованих змінних нижнього рівня. При цьому параметри модельно-прогнозуючого керування визначаються відповідно до визначених мінералого-технологічних різновидів руди. Це дозволяє зменшити час перехідних процесів в системі у середньому на 12-15% та понизити питоме енергоспоживання на 8-11%.

Оригінальність запропонованих в дисертаційній роботі науково-технічних рішень та пріоритет автора щодо їх розробки підтверджується 9 патентами України.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації та їх достовірності.

Основні положення дисертації, висновки і рекомендації обґрунтовані у повній мірі. Це підтверджується тим, що в роботі використовуються апробовані фундаментальні положення теорії автоматичного керування, математичної теорії нечіткої логіки, нейронних мереж та фізики коливань. Достовірність отриманих результатів також підтверджено задовільною збіжністю результатів теоретичних та експериментальних досліджень, позитивними результатами апробації розроблених способів та засобів.

Практичне значення дисертаційної роботи.

Дослідження, викладені в дисертації, дозволяють практично реалізувати запропоновану комп'ютерно-інтегровану технологію бурових робіт у залізорудному карері, яка дозволяє підвищити їх ефективність. Результати дисертаційної роботи апробовані при виконанні бурових робіт із застосуванням дослідно-промислової установки ТОВ «ПОЛТАВСЬКЕ НАУКОВО-ВИРОБНИЧЕ ПІДПРИЄМСТВО» (м. Полтава) та у виробничому процесі ТОВ «МЕТБЛАСТ» (м. Кривий Ріг). Розроблені в дисертації принципи, структура та системи автоматизованого модельно-прогнозуючого керування процесом буріння свердловин на базі гібридної нейронної моделі використовуються у навчальному процесі для студентів спеціальності «Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології» Криворізького національного університету, Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля, а також для студентів технічних спеціальностей Львівського національного університету імені Івана Франка.

Загальна характеристика дисертаційної роботи.

Дисертація складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 216 найменувань та 7 додатків. Загальний обсяг дисертації викладено на 240 сторінках, з яких 176 - основний текст, містить 72 рисунки та 12 таблиць.

У **Вступі** обґрунтовано актуальність теми, визначено мету й наукові завдання дослідження, розкрито його наукове та практичне значення.

У **першому розділі** на основі проведеного аналізу вітчизняних та зарубіжних досліджень в області перспективних напрямків розвитку техніки і технологій гірничого виробництва виявлено значний потенціал для підвищення ефективності і покращення якості автоматизованого керування процесом буріння свердловин. Визначені в ході аналізу проблемні питання щодо моделювання, інформаційного забезпечення та технології і структури автоматизованого керування буровими установками дозволили автору обґрунтувати завдання дисертаційного дослідження.

У **другому розділі** наведено результати математичного аналізу та комп'ютерного моделювання основних фізичних процесів і робочих операцій, що відбуваються при бурінні свердловин. Доведено, що математична модель процесу буріння свердловин повинна мати гібридну структуру, яка включає аналітичний опис динаміки функціональних складових частин бурової установки, а також функції, що аналітично не визначаються, за допомогою яких задаються характеристики взаємозв'язків «бурове долото - гірська порода». Для формалізації цих функцій запропоновано використати нейро-мережеву систему опрацювання характеристичних ознак зазначених взаємозв'язків. Загальна структура моделі представлена сукупністю основних функціональних складових і включає блок приводу бурової установки у наземній частині, блок бурового інструменту у свердловинній частині та блок руйнування гірської породи. Блок бурового інструменту у свердловинній частині представлено у вигляді структури у вигляді розподіленої сукупності зосереджених мас на валу, окремі частини якого можуть мати свої особливі характеристики: жорсткість на кручення; крутильна інерція; жорсткість на вигин; щільність; модуль зсуву; модуль Юнга; зовнішній та внутрішній діаметр. Інші два блока моделі представлено у вигляді структур із зосередженими параметрами. Динамічне моделювання зазначених блоків виконано за допомогою розширення Simscape® для Simulink® /MATLAB®.

Третій розділ дисертації присвячено формуванню інформаційної бази керування процесом буріння свердловин. Для вирішення цього завдання запропоновано використовувати характеристики супутнього віброакустичного сигналу, які визначаються із застосуванням аналізу карти порядку обертів обертових частин бурової установки. Такий підхід дозволяє виконати завадозахищене визначення таких параметрів як середньоквадратичне значення амплітуди сигналу вібрації долота та його гармонійного спотворення, які використовуються в процедурі розпізнавання мінералогічних різновидів руди та ідентифікації робочих режимів бурової установки. До характеристичних ознак процесу буріння також віднесено питомі енерговитрати, які залежать від фізико-

механічних властивостей і текстурно-структурних особливостей гірської породи, силових, кінематичних і режимних параметрів бурової установки та безпосередньо впливають на швидкість проходки та енергоефективність всього процесу.

У **четвертому розділі** наведена структура комп'ютерно-інтегрованої технології бурових робіт у залізорудному кар'єрі, яка включає процедуру розпізнавання мінеральних різновидів залізної руди та модельно-прогнозуюче керування процесом буріння.

Процедура розпізнавання мінеральних різновидів залізної руди реалізована структурою на основі адаптивної нейро-нечіткої системи ANFIS, оптимізованої із застосуванням генетичного алгоритму (GA). Метод нечіткої кластеризації Fuzzy C-means (FCM) використаний для створення початкової популяції хромосом у генетичному алгоритмі.

Система автоматизованого керування процесом буріння виконана у вигляді дворівневої структури: на нижньому рівні застосовуються замкнуті контури пропорційно-інтегрально-диференціального регулювання навантаження на долото, швидкості його обертання та продуктивності системи очищення свердловини, а на верхньому рівні - модельно-прогнозуюче керування (МПК) для динамічного корегування заданих значень регульованих змінних нижнього рівня у відповідності до визначених мінеральних різновидів руди.

Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані достатньо чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи. Список використаних джерел досить повний і охоплює сучасні вітчизняні та зарубіжні публікації.

Зміст анотації відображає основний зміст дисертації та розкриває внесок здобувача в наукові результати та практичну цінність роботи.

Дисертація написана українською мовою, стиль подання матеріалу є науковим, відзначається логічною послідовністю, враховує міжнародну та вітчизняну термінологію. Дисертаційна робота оформлена відповідно до наказу МОН України від 12 січня 2017 р. № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій».

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

Дисертаційна робота здобувача Боброва Є.Ю. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 151 «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології».

Дисертація є завершеною науковою працею і свідчить про наявність вагомого внеску здобувача у науковий напрям в галузі знань 15 «Автоматизація та приладобудування».

З урахуванням результатів перевірки дисертаційної роботи на текстові співпадіння, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Боброва Є. Ю. є результатом його самостійних досліджень і не містить елементів фальсифікації, компіляції та плагіату. Використані результати досліджень і тексти інших авторів мають належні посилання на відповідне джерело.

Повнота викладення результатів дисертації в опублікованих наукових працях.

Основні положення та результати дисертації знайшли відображення в 2 монографіях, 4 статтях у періодичних наукових журналах, що індексуються у наукометричній базі Scopus, 6 статтях у наукових фахових виданнях та 5 матеріалах конференцій. Додатково наукові результати дисертації відображено у монографії, статті у науковому періодичному журналі та 9 патентах України на корисну модель.

Вважаю, що наукові результати, наведені в дисертації, повністю висвітлені у наукових публікаціях здобувача і достатньо публічно апробовані на наукових конференціях.

Зауваження до дисертації.

1. В першому розділі дисертації виконано ґрунтовний аналіз сучасного стану та перспектив розвитку гірничого виробництва у найбільш розвинутих у цьому напрямку країнах але бракує прикладів вітчизняних підприємств.

2. При проведенні комп'ютерного моделювання функціональних складових бурової установки неясно, під впливом яких саме дестабілізуючих факторів досліджено їх динаміку.

3. У четвертому розділі наведено структуру розробленої в дисертації комп'ютерно-інтегрованої технології буріння свердловин, яка об'єднує ключові елементи роботи, є оригінальною і включає ознаки наукової новизни. Не зрозуміло, чому автор не подав зазначену структури в якості ще одного пункту наукової новизни дисертації.

4. Для оперативного розпізнавання мінералогічних різновидів залізної руди родовища, що розробляється, автором використано сучасний інтелектуальний метод із застосуванням модифікованої адаптивної нейро-нечіткої системи ANFIS. Доцільно було б порівняти застосовану систему з іншими подібними структурами.

5. Недостатньо обґрунтованим виглядає вибір функції приналежності при реалізації процедури розпізнавання мінеральних різновидів залізної руди.

6. У роботі не наведено причини обрання параметру продуктивності системи очищення свердловин в якості одного із керуючих впливів у структурі керування процесом.

7. Бракує інформації про статистичну обробку результатів при оцінюванні відтворюваності результатів моделювання та експериментальних досліджень.

8. Мають місце окремі орфографічні та синтаксичні неточності в тексті дисертації.

Однак, наведені зауваження не стосуються ознак наукової новизни і практичної цінності дисертаційної роботи та не є визначальними для загальної позитивної оцінки дисертаційної роботи.

Загальний висновок.

Представлені в дисертаційній роботі **Боброва Євгена Юрійовича** нові наукові результати дозволяють зробити обґрунтований висновок, що в сукупності вони складають вагомий внесок в розвиток автоматизованих систем керування процесом буріння свердловин та сприяють вирішенню важливої науково-прикладної задачі підвищення його ефективності.

У зв'язку з вищенаведеним вважаю, що дисертаційна робота «**Автоматизоване енергозберігаюче керування процесом буріння свердловин в залізорудному кар'єрі**», подана на здобуття наукового ступеня доктора філософії, за актуальністю, новизною теоретичних та експериментальних результатів, високим рівнем проведених досліджень повністю відповідає вимогам чинного законодавства України, а її автор, **Бобров Євген Юрійович**, заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 151 – «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології».

Офіційний опонент
доктор технічних наук, професор,
зав. кафедри Східноукраїнського
національного університету
ім. Володимира Даля



Лорія М.Г.

Лорія М.Г. засвідчує
Т.в.о. начальника відділу



Лорія Т.Т.