ВІДГУК

офіційного опонента доктора технічних наук, професора Кондратця Василя Олександровича на дисертаційну роботу **Приходченка Сергія Дмитровича** на тему «**Багатокритерійна ідентифікація стану та керування гідротранспортом збагачувальної фабрики на основі нейроподібної структури**» представленої на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – Автоматизація процесів керування

Актуальність теми дисертації

Удосконалення існуючих та впровадження нових методів ідентифікації та контролю базових параметрів основного обладнання гідротранспортних систем (ГТС) збагачувальних фабрик для зменшення собівартості проведення планово-попереджувальних ремонтів і підвищення продуктивності основних агрегатів є одним з основних завдань сучасного розвитку вітчизняних ГТС.

Найважливішим елементом ГТС є шламовий насос (ШН). Від параметрів і показників, що характеризують його технічний стан, істотно залежать витрати на планово-попереджувальний ремонт гідротранспортної системи. Базовою задачею при цьому є ідентифікація та контроль параметрів ШН за допомогою відповідної математичної моделі, що дозволяє враховувати зв'язок технологічних параметрів з конструктивними характеристиками ГТС.

Оскільки більшість ГТС використовують шламові або ґрунтові насоси, то тема дисертації Приходченка С.Д., присвячена ідентифікації та контролю параметрів ШН, є безумовно актуальною. Актуальність роботи підтверджується також її зв'язком з науковими програмами, планами, темами, що реалізувалися в період її виконання.

Структура та стислий зміст роботи

Представлену дисертацію викладено на 243 сторінках загального тексту з анотацією, вступом, чотирма розділами, висновками, списком використаних джерел, що містить 153 найменування, та з 11 додатками. Основний зміст дисертації викладено на 110 стор.

У **вступі** автором обґрунтовано актуальність теми дисертації, сформульовано мету та задачі дослідження, представлено зв'язок з науковими програмами, планами, темами, визначено об'єкт, предмет та методи дослідження, висвітлено основні результати, що містять наукову новизну та практичну значимість роботи, наведено відомості про публікації, дані щодо особистого внеску здобувача у наукових працях, які опубліковані у співавторстві.

У **першому розділі** представлено аналіз літературних джерел та розглянуто систему гідротранспорту як об'єкт автоматичного керування. Здійснено аналіз

впливу основних параметрів шламового насоса та трубопроводів на процес гідротранспортування. Розглянуті сучасні методи контролю та ідентифікації параметрів ШН, а також їхні математичні моделі. Виконаний аналіз дозволив обґрунтувати вибір напряму дослідження, сформулювати мету і завдання дослідження.

Другий розділ дисертації присвячено теоретичним засадам методів ідентифікації та контролю параметрів ГТС.

На основі рівнянь руху роторів Джеффкотта розроблено математичну модель для системи гідротранспорту, а на основі рівнянь ланцюгових дробів розроблено модель шламового насоса, що виражають залежність споживаної миттєвої активної потужності (СМАП) двигуна ШН від його технологічних та геометричних параметрів з врахуванням втрат через знос механізмів.

Оскільки поява будь-якого дефекту в системі гідротранспорту викликає зміну його геометричних та технологічних параметрів, то це викликає відхилення пов'язаних з ними спектральних характеристик СМАП двигуна ШН. Тому, оцінюючи відхилення поточного спектру СМАП від еталонних, можна діагностувати та контролювати систему гідротранспортування. Для оперативного оцінювання стану керованого об'єкта побудовано ряд еталонних спектрів СМАП, що основані на моделях системи гідротранспорту та шламового насоса.

Для ідентифікації значень параметрів технічного стану ШН, які відповідають умовам роботи нового нагнітача або після його капітального ремонту, запропоновано застосовувати методи, що відносяться до нейромережевих підходів ідентифікації.

У **третьому розділі** наведено умови, методи та технічні засоби контролю параметрів нагнітачів на 2-й збагачувальній фабриці Полтавського ГЗК. Експериментально перевірено розроблений метод контролю параметрів шламового насоса 5-ГРк8 на цій збагачувальній фабриці та здійснено експертну оцінку технічного стану системи гідротранспорту.

Проведено ряд експериментальних досліджень, що підтвердили достовірність розроблених моделей, дозволили внести уточнення в модель системи гідротранспортування щодо контролю коливань трубопроводів, та виявили ряд раніше не зафіксованих залежностей елементів спектру СМАП від технічних та технологічних параметрів системи гідротранспорту, які дозволяють поліпшити діагностику та контроль станів системи гідротранспорту збагачувальної фабрики.

Виконано експериментальну перевірку синтезованої системи, під час якої, на основі розробленої бази правил та обробки нечітких даних, зроблено висновок, що технічний стан системи гідротранспортування – допустимий. Даний результат співпадає з реальним станом системи. Можливість використання синтезованої системи для оцінювання технічного стану гідротранспорту під час його експлуатації підтверджена експериментально.

У **четвертому розділі** вибрано апаратні та програмні засоби для реалізації комп'ютерної системи контролю параметрів гідротранспорту на збагачувальній фабриці та розроблено відповідне спеціальне програмне забезпечення. Запропоновано структуру системи контролю параметрів гідротранспорту на збагачувальній фабриці, що може бути розгорнута у вигляді автоматизованого робочого місця на базі серійних персональних електронних обчислювальних машин.

Ідентифікацію основних параметрів технічного стану здійснено з використанням нейромережевих алгоритмів. Встановлено, що використання ситуаційної моделі ухвалення керуючих рішень в умовах інформаційної невизначенності забезпечує кращу збіжність експериментальних значень з розрахунковими.

Для реалізації методу контролю параметрів системи гідротранспортування розроблений прикладний програмний продукт підтримки у вигляді прикладного програмного модуля, в який інтегрована низка програмних продуктів, розроблених у середовищі Delphi, що дає можливість інтегрувати його в існуюче програмне забезпечення.

У **висновках** наведено наукові та практичні результати, отримані дисертантом. Додатки містять текст програмного комплексу системи підтримки прийняття рішень щодо керування гідротранспортом, список відмов та їх ознак, копії актів впровадження основних наукових та практичних результатів дисертації, які підтверджують та доповнюють отримані автором результати.

В цілому дисертація є закінченою науковою працею, яка повністю розкриває основні наукові положення та практичні результати, що отримані автором.

Оцінка обґрунтованості та достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій

Дослідження, які проведено у рамках даної дисертації, мають належний ступінь обґрунтованості. Припущення і положення, на яких ґрунтується побудова запропонованих методів, є достатньо зваженими та коректними.

Запропоновані у дисертації метод побудови моделі системи гідротранспортування для збагачувальної фабрики на основі багатомасової моделі роторів Джеффкотта-Лаваля та моделі ланцюгових дробів для шламового насоса, метод нейромережевої ідентифікації параметрів математичної моделі шламового насоса, який дає змогу визначити параметри технічного стану шламового насоса, що відповідають умовам роботи неспрацьованого шламового насоса або після його капітального ремонту, обґрунтовано шляхом проведення аналітичних та експериментальних досліджень.

Відповідно меті роботи, на основі поставлених здобувачем завдань, було обрано підвищення ефективності функціонування шламового насоса та системи

гідротранспорту шляхом розроблення й удосконалення сучасних підходів контролю та ідентифікації базових параметрів з застосуванням методів штучного інтелекту для реалізації оперативного спостерігання існуючого технічного стану системи гідротранспорту, за рахунок чого знижується час простоїв і підвищується продуктивність її роботи.

Достовірність отриманих результатів забезпечена та цілком підтверджена узгодженням результатів аналітичних досліджень з даними лабораторних випробувань і натурних спостережень та результатами практичного впровадження розробок.

При цьому, якість отриманих результатів підтверджується експериментальними дослідженнями технічних об'єктів та процесів, а також достатньою відповідністю результатів теоретичних і експериментальних досліджень. Наукові положення дисертації мають належне теоретичне обґрунтування. Матеріали дисертаційної роботи апробовані на наукових конференціях, в тому числі міжнародних.

Наукові результати та їх наукова новизна

Наукові положення, що виносяться на захист:

1. Залежність амплітуди інфранизьких частот у діапазоні від 0 до 3,0 Гц спектра споживаної миттєвої активної потужності приводного електродвигуна шламового насоса прямо пропорційна густині пульпи, що дає змогу підвищити достовірність процесу ідентифікації параметра, ураховуючи нестаціонарну турбулентність потоку в ГТС і зумовлені нею похибки відомих методів вимірювання густини пульпи.

2. Амплітудний рівень інтервальних частот 32, 38, 44, 125 Гц спектра споживаної миттєвої активної потужності приводного електродвигуна шламового насоса є залежним від ступеня відкриття заслінки, що дозволяє підвищити точність ідентифікації стану системи гідротранспорту під час роботи технологічного устаткування в передаварійних і аварійних режимах.

Наукова новизна отриманих результатів полягає в тому, що:

1. Уперше представлено ситуаційну модель технологічного процесу гідротранспортування рудної пульпи на збагачувальній фабриці, розроблену з урахуванням теоретико-множинного підходу для прискорення прийняття управлінських рішень в умовах інформаційної невизначеності.

2. Удосконалено математичну модель, що підвищує ефективність контролю за станом та керованістю об'єкта на основі багатомасової системи роторів Джеффкотта-Лаваля, яка дає змогу ідентифікувати спектр відмов ГТС, ураховуючи зношування елементів конструкції, що сприяє її динамічній адаптації до змін параметрів системи в результаті некритичного зношування устаткування на відміну від раніше використовуваних методів ідентифікації систем гідротранспорту.

3. Уперше виявлено закономірність зміни частот споживаної миттєвої активної потужності (СМАП) електродвигуна від густини пульпи, яка транспортується, а

також положення заслінки, що адаптовано в інтелектуальну систему ідентифікації станів і керування ГТС. Це дає змогу підвищити ефективність контролю даних параметрів і керування процесом гідротранспортування.

4. Розроблено самонавчальну нейроподібну систему для багатокритеріальної ідентифікації станів і керування процесом внутрішньофабричного гідротранспортування рудної пульпи на збагачувальній фабриці, що включає методи ідентифікації та критерії оцінювання самонавчання для кожного з методів, яка дозволила підвищити якість розробленого критерію ухвалення правильних рішень щодо раніше відомих методів.

Основні наукові результати і положення проведених досліджень є достовірними та обґрунтованими аналітично з використанням теорії інформації, теорії комп'ютерної логіки та теорії цифрового опрацювання даних.

Практичне значення одержаних результатів дисертації

Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі розроблених методів та алгоритмів створено методичне, технічне і програмне забезпечення для реалізації методу контролю за даними споживаної миттєвої активної потужності приводного електродвигуна шламового насоса для аналізу технічного і технологічного стану систем гідротранспорту в процесі експлуатації. Запропоновано методику створення системи підтримки ухвалення рішень для керування гідротранспортом на гірничих підприємствах. Розроблене програмне забезпечення впроваджено в дослідницькі програми Інституту геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. Сформовано методику розроблення системи підтримки ухвалення рішень для керування гідротранспортом на гірничих підприємствах, яку передано для використання в навчальних і дослідницьких програмах до Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна й Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. Рекомендації, які містять методи, запропоновані в даній роботі, впроваджені на збагачувальній фабриці «Тандем Торг ТПК».

Повнота викладення наукових положень, висновків і рекомендацій в опублікованих працях та їх апробація

Ознайомлення з дисертацією та авторефератом дає змогу зробити висновок про необхідну повноту опублікування наукових результатів досліджень. Основні розділи дисертації висвітлені у 24 наукових працях: 1 публікація у виданні, включеному до наукометричної бази Scopus; 11 статей у наукових фахових виданнях; 3 публікації у збірниках доповідей міжнародних та всеукраїнських науково-практичних конференціях. Публікації дають повне уявлення про зміст та суть досліджень, їх новизну та практичну цінність. У них висвітлено всі розділи дисертації, що вказує на достатньо повну апробацію даної роботи.

Оцінка змісту дисертації, її завершеності та оформлення

У вступі до дисертації в повній мірі зазначено особистий внесок автора у опубліковані наукові праці, що написані у співавторстві.

Матеріали дисертації викладені логічно та послідовно на високому науковому та професійному рівні. Основні результати і положення є змістовними і вносять певний вклад у галузь автоматизації процесів керування.

Рукопис дисертації та автореферат оформлені згідно існуючим вимогам.

Автореферат достатньо повно розкриває суть дисертації, її наукові положення, результати та висновки.

Представлені в дисертації висновки в повній мірі підтверджують, що дана робота має важливе значення для науки і практики.

Зміст дисертації відповідає її назві, а зміст автореферату – основним положенням дисертації.

Зауваження по суті дисертації

В той же час аналіз змісту та наповнення роботи показав наявність певних недоліків, а саме:

1. Використання симетрично двох моделей для ідентифікації конструктивних та технологічних параметрів ГТС доцільно і дійсно підвищує достовірність отриманих результатів в порівнянні з використанням однієї моделі. Але в роботі недостатньо повно обґрунтовано доцільність використання саме двох а не іншої кількості моделей систем гідротранспорту.

2. Доцільно було б у третьому розділі приділити більше уваги виявленню існуючих закономірностей в отриманих експериментальних спектрах споживаної миттєвої активної потужності приводного електродвигуна шламового насоса.

3. Представлене застосування паралельного алгоритму багатокритеріальної ідентифікації параметрів системи гідротранспорту в четвертому розділі вимагає графічного пояснення для обґрунтування доцільності використання цього методу.

4. Довжина горизонту в завбачуючій моделі, що запропонована в четвертому розділі дисертації не задана в очевидному вигляді в матеріалах дисертаційних досліджень.

5. У роботі недостатньо розглянутий процес прийняття рішень оператором гідротранспортної системи, а також вплив розробленої системи прийняття рішень на оператора.

6. У роботі не запропоновано захист даних від несанкціонованого доступу, а також не наведено достатньо літературних джерел, де проведено аналіз необхідності захисту такої інформації.

7. Деякі пункти висновків до розділів містять констатацію виконаної роботи, а не власне нові результати, отримані у дисертації.

8. В поодиноких випадках зустрічаються описки, повторення та невдалі стилістичні вирази.

В цілому наведені недоліки та зауваження не впливають на загальну позитивну характеристику дисертації і не зменшують її актуальність, наукову новизну та практичну значущість.

Висновки

Дисертаційна робота Приходченка Сергія Дмитровича «Багатокритерійна ідентифікація стану та керування гідротранспортом збагачувальної фабрики на основі нейроподібної структури», представлена на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук є актуальною науковою працею, що виконана на належному науково-теоретичному рівні з логічним викладенням матеріалу, поєднанням наукової новизни і практичних результатів. Зроблені зауваження не впливають на загальну оцінку представленої роботи та висновків.

За змістом, повнотою викладення матеріалу, обґрунтованістю основних положень і висновків, за оформленням дисертації та автореферату, повнотою опублікованих робіт, вважаю, що дисертаційна робота Приходченка Сергія Дмитровича задовольняє вимогам п.п. 9 та 11 які встановлює «Порядок присудження наукових ступенів», затверджений Постановою Кабінету Міністрів України № 567 від 24.07.2013 р., а її автор заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.07 – автоматизація процесів керування.

Офіційний опонент:
Заслужений діяч науки і техніки України,
професор кафедри автоматизації
виробничих процесів Центральноукраїнського
національного технічного університету
доктор технічних наук, професор В. О. Кондратець

Підпис д.т.н., проф. Кондратця Василя Олександровича З А С В І Д Ч У Ю :
Проректор з наукової роботи
Центральноукраїнського
національного технічного університету О. М. Левченко

Відділ кадрів
02.05.2019
Учений секретар М. П. Тихан