

РЕЦЕНЗІЯ

на дисертаційну роботу Слєпка Романа Тарасовича

“Аналіз стану поверхонь пар тертя за характеристиками вібраційних сигналів”

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

з галузі знань 11 – Математика та статистика

за спеціальністю 113 – Прикладна математика

Актуальність теми дисертаційної роботи. Проблема тертя і зношування деталей машин і технологічного обладнання набуває для України особливого значення у зв'язку із вичерпанням проектного ресурсу обладнання в різних галузях промисловості. Це породжує проблему великої кількості запасних частин. Без підвищення їх зносостійкості промисловість України дуже важко буде виходити із їх дефіциту. Поряд зі зміною фізико-механічних властивостей поверхневого шару важливим завданням є проведення робіт по встановленню зв'язку між рівнем вібрацій механічних систем та зносостійкістю. Одним із шляхів виконання такого завдання є розробка методів обробки вібраційних сигналів, що виникають внаслідок зношування та дисбалансу деталей тіл обертання. Дисертаційна робота Слєпка Р.Т. присвячена дослідженню на основі періодично нестаціонарних випадкових процесів (ПНВП) – моделі імовірності структурних вібрацій, згенерованих тертям, встановленню залежності між параметрами цієї структури та станом контактних поверхонь і обґрунтування діагностичних ознак для опису їх стану. Вирішення цієї задачі робить роботу *актуальною і вона має важливе науково практичне значення.*

Оцінка наукового рівня дисертації і наукових публікацій здобувача. Відповідно до мети та поставлених завдань дисертант дослідив на основі ПНВП-моделі імовірності структури вібрацій, збуджених тертям, встановив залежності між параметрами цієї структури та станом контактних поверхонь і обґрунтував діагностичні ознаки для опису їх стану. Він теоретично встановив можливості використання перетворення Гільберта для аналізу стохастичної модуляції ПНВП; теоретично дослідив кореляційні та спектральні властивості для випадку, коли квадратури описуються високочастотними стаціонарно зв'язаними випадковими процесами; дослідив властивості перетворення Гільберта та аналітичного сигналу у випадку високочастотної модуляції; розробив алгоритм для виділення і аналізу квадратур при вузько-смуговій високочастотній модуляції; використав теоретичні результати роботи для

виявлення та встановлення типу пошкодження обертового вузла; провів експериментальне дослідження вібрацій, збуджених тертям «сухих» та «зволожених» спеціальним розчином контактних поверхонь, встановив основні закономірності їх ПНВП структур, встановлені характерні відмінності між ними для різного типу контактів; обґрунтовано діагностичні ознаки для визначення міри пошкодження досліджуваних поверхонь.

Об'єктом дослідження дисертант вибрав вібраційні сигнали пар тертя з циклічним режимом роботи.

Предметом дослідження вибрано методи статистичного аналізу ПКВП, методи оцінювання їх імовірнісних характеристик та встановлення зв'язків між характеристиками сигналів. Це дозволило створити теоретично обґрунтоване програмне забезпечення для обробки рядів фрикційних вібрацій реальних механізмів.

Основні результати і наукові положення повністю відображені у статтях, опублікованих у фахових виданнях, у тому числі у виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз Scopus/WoS, а також в тезах та матеріалах доповідей на міжнародних конференціях.

Новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів приведених здобувачем. Наукова новизна отриманих теоретичних і експериментальних результатів полягає у створенні математичних моделей для обробки сигналів і їх правильного трактування. Серед найвагоміших результатів необхідно відмітити наступні:

– *встановлено* характерні відмінності між кореляційною та спектральною структурою квадратурних складових стаціонарного та періодично нестаціонарного вузько-смугових випадкових процесів; показано, що аналітичний сигнал для двох процесів є стаціонарним комплекснозначним процесом, а його дисперсія визначається сумою дисперсій квадратур;

– *доведено*, що кореляційна функція представлення Райса та його перетворення Гільберта є однаковими у випадку, коли квадратурні складові є високочастотними стаціонарно зв'язаними випадковими процесами; показано, що аналітичний сигнал за таких умов є ПНВП, отримано формули для його кореляційних компонентів; встановлено, що дисперсія аналітичного сигналу дорівнює подвоєній дисперсії сигналу;

– *отримано* представлення у вигляді суперпозиції високочастотних компонент у випадку вузько-смугової модуляції і показано, що кожна з них є стаціонарним випадковим процесом, однак сумісно вони є взаємопов'язаними ПНВП;

– *вперше* з використанням запропонованого підходу виявлено нові характерні риси фрикційних вібрацій обертового вузла промислового об'єкту, які пов'язані з високочастотною модуляцією його обертових гармонік, і на їх основі встановлено тип пошкодження;

– *вперше* експериментально встановлено закономірності стохастичної повторюваності вібрацій, збуджених парою тертя з різним станом контактних поверхонь; аналітично й кількісно описана структура детермінованих коливань, а також кореляційна структура стохастичної складової для різних послідовних стадій експерименту і в ході експерименту виявлено характерні зміни в спектрі потужності вібрації, а також амплітудного спектру часових змін дисперсії (потужності стохастичної складової),

– *обґрунтовано* формули для визначення індикаторів стану контактних поверхонь; для різного стану контактуючих поверхонь встановлені відмінності у спектральному складі вібрації, а також характері високочастотної модуляції несучих гармонік.

Наукова обґрунтованість отриманих результатів, наукових положень, висновків, рекомендацій, сформульованих у дисертації. Наукову обґрунтованість отриманих результатів та наукових положень забезпечено створенням обґрунтованих математичних моделей для детальнішого дослідження закономірностей високочастотної модуляції. Встановлено характерні відмінності вібрацій за сухого тертя та тертя зі змазкою. Показано їх стадійність за індикатором стану та характером накопичення пошкоджень. Несуперечливість отриманих теоретичних результатів підтверджено логічними експериментальними даними. Наведені в дисертації висновки узагальнюють наукові результати та їх практичну значимість.

Рівень поставленого наукового завдання та оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності. Наукове завдання, поставлене перед здобувачем, полягало у дослідженні імовірнісної структури вібрацій збуджених тертям на основі їх моделі у вигляді періодично нестаціонарних випадкових процесів, встановленні залежності між параметрами цієї структури та станом

контактних поверхонь і обґрунтуванням діагностичних ознак їх стану. Вважаю, що це завдання повністю виконано і досягнуто поставлену мету. Зокрема, у дисертації:

- встановлено характерні особливості кореляційно-спектральної структури гармонічних складових періодично нестационарних випадкових процесів, розвинуто методи їх аналізу, які використано для контролю стану експлуатованих промислових об'єктів та під час проведення лабораторних досліджень;

- проаналізовано вібрації обертових деталей приводу підйомного механізму портового крану;

- досліджено вібрації викликані тертям поверхонь за сухого тертя та тертя із мащенням, встановлено кореляцію високочастотних коливань та пошкодженості поверхні.

Отримані здобувачем результати мають важливе значення для забезпечення раціональної експлуатації машин і механізмів у різних галузях промисловості. Це особливо важливо для продовження ресурсу роботи машин з великим ступенем зношення.

Вибір здобувачем математичних методів для спрощеної обробки вібраційних сигналів показує його високий рівень оволодінням методологією наукової роботи та використання теоретичних підходів для вирішення актуальних проблем промисловості. Здобувач поетапно виконав аналіз сучасних досліджень за темою дисертації, розвинув їх стосовно вирішення поставлених у роботі завдань та сформулював основні висновки досліджень.

Зауваження до дисертації:

1. З роботи незрозуміло, що автор розуміє під “контактною взаємодією” і “трібологічною поведінкою” і яка між ними різниця.

2. Дисертант використовує терміни “мокре тертя”, “зволожене тертя” замість тертя з мащенням. З дисертації незрозуміло, що таке “спеціальний розчин”. Дисертант необґрунтовано використовує терміни “легкий” і “сильний контакт”. Необхідно використовувати конкретні величини питомих тисків у вузлах тертя.

3. У висновках п. 5 є незрозумілий вираз “...при “сильному” контакті між зовнішнім кільцем підшипника і муфтою, яка його тримає”. Що автор має на увазі?

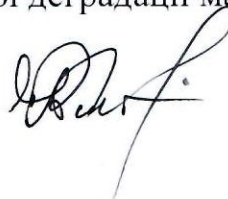
Зазначені зауваження не є принциповими і не впливають на загальну позитивну оцінку дисертаційної роботи.

Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам.

Дисертаційна робота Слєпка Романа Тарасовича “Аналіз стану поверхонь тертя за характеристиками вібраційних сигналів”, є самостійно завершеною науковою працею у якій вирішено актуальне науково-технічне завдання, яке полягає у розробленні алгоритмів для аналізу отриманих сигналів та їх взаємозв’язку зі ступенем пошкодження поверхонь елементів конструкцій. За своєю актуальністю, метою і завданням дослідження, достовірністю та обґрунтованістю отриманих результатів, висновків і практичного значення дисертаційна робота Слєпка Романа Тарасовича відповідає Порядку присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 12.01.2022 р. за № 44, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії з галузі знань “Математика та статистика” за спеціальністю “Прикладна математика”.

Рецензент:

Кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник
відділу діагностики корозійно-водневої деградації матеріалів
Фізико-механічного інституту
ім. Г. В. Карпенка НАН України



Володимир Кирилів



Володимира Кириліва
Секретар ФМІ НАН України
В.В. Корній