

ВІДГУК

офіційного опонента про 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 дисертації. Вузли тертя становлять не більше 5-7 % від маси машин в цілому, саме незначні зміни маси чи фізико-механічних властивостей і геометричних параметрів трибоелементів спричиняють до 80 % всіх відмов у роботі машин і механізмів. Тому один із основних напрямів досліджень належить вивченню тертя, змащування і зношування поверхонь деталей, а також діагностування їх стану різними методами, які перебувають у складній взаємодії. На даний час для моніторингу стану вузлів тертя застосовуються різні методи, включаючи аналіз вібрації, акустичну діагностику, аналіз мастила і продуктів зношування та інші. Застосування вібраційного аналізу є одним із найефективніших методів завдяки простоті його реалізації в онлайн-моніторингу. Однак залишається складним виділення та обробка корисних сигналів вібрації, пов'язані з зносом, і розроблення конкретних індикаторів на основі вібрації для характеристики та моніторингу зносу.

З огляду на це, дисертаційна робота Слєпка Р.Т. “Аналіз стану поверхонь пар тертя за характеристиками вібраційних сигналів”, у якій наведений ряд експериментальних та теоретичних досліджень по встановленню зв'язку між тертям та структурою вібрацій актуальна та має науково-практичне значення. Зокрема дана робота розширює розуміння вібрацій та їх інтерпретування для фрикційних механізмів, що уможлиблює діагностування пошкоджень на ранніх стадіях і може запобігати виникненню несправності обладнання із економічними та екологічними наслідками.

У роботі зроблено ґрунтовний огляд літературних джерел, щодо взаємозв'язку між трибологічною поведінкою металевих поверхонь та вібраційними сигналами, які генерується у процесі тертя. Досліджено кореляційно-спектральні властивості сигналу та проаналізовано властивості перетворення Гільберта. Доведено, що аналітичний сигнал є комплекснозначним періодично нестационарним випадковим процесом (ПНВП)

і виведені формули для його кореляційних компонент. Для випадку, коли модуляція є вузькосмуговою, отримано представлення у вигляді суми стаціонарних високочастотних компонент.

Теоретичні засади розроблені у другому розділі знайшли реалізацію у практичному їх використанні. Зокрема зроблено аналіз сигналів обертового вузла підйомного механізму портового крану. Встановлено, частоти, які відповідають за дефектність у зоні тертя. Показано, що найпотужнішою є перша гармоніка. Виділено детерміновану складову й показано, що її потужність майже співпадає з потужністю стохастичної складової.

У дисертаційній роботі представлено результати експериментальних досліджень вібрацій, викликаних тертям при обертанні тіл за схемою диск-колодка. Встановлено, що характерною відмінністю вібрацій за сухого та граничного терті є зміни у частотному діапазоні вібрацій, що породжує відмінності у корельованості гармонік.

Розроблені у дисертаційній роботі методи мають важливе значення для визначення механізмів контактної взаємодії за вібросигналами. Зокрема за сухого тертя має місце адгезійно-втомний механізм контактування, що відображається у високочастотних сигналах. Представлені в роботі дослідження виконані в рамках науково-дослідних тем Фізико-механічного інституту ім. Г. В. Карпенка НАН України згідно з планами Національної академії наук в яких виконавцем був дисертант.

Наукова новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів. Щодо наукової новизни, вона перш за все полягає у суттєвому розвитку теорії вібраційних сигналів згенерованих процесами тертя та їх обробкою. Здобувачем:

– доведено, що коли квадратурні складові є високочастотними стаціонарно зв'язаними випадковими процесами то кореляційна функція представлення Райса та його перетворення Гільберта є однаковими; показано, що аналітичний сигнал за таких умов є ПНВП;

– отримано формули для його кореляційних компонентів періодично нестаціонарних випадкових процесів; встановлено, що дисперсія аналітичного сигналу дорівнює подвоєній дисперсії сигналу;

– 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;

– вперше 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;

– 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.

– 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).

Наукова обґрунтованість та достовірність представлених теоретичних та експериментальних результатів досліджень. Детальний аналіз стану теоретичних розробок та результатів експериментальних досліджень по проблемі за літературними першоджерелами, чітке формулювання завдань теоретичних та експериментальних досліджень, комплексний підхід при їх розв'язанні, використання для досягнення мети визнаних та апробованих у досліджень вібрацій та різнобічний аналіз і порівняння отриманих результатів з відомими результатами, отриманими іншими авторами, порівняння отриманих теоретичних розрахунків з результатами власних чи відомих з наукової літератури експериментальних досліджень, свідчать про високий ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації Р. Т. Слепка.

Достовірність сформульованих у роботі висновків забезпечується також фізично коректною постановкою задач трибології та діагностики, використанням відомих методів їх розв'язування та несуперечливістю отриманих результатів з фізично очікуваними.

Результати дисертаційної роботи добре узгоджуються з висновками інших дослідників та відомими закономірностями фрикційної взаємодії металів, що підтверджує їх правильне трактування.

Рівень виконання поставленого наукового завдання. В цілому робота виконана на високому науковому рівні, написана технічно грамотно, досить легко читається та сприймається спеціалістами відповідного профілю. Викладення матеріалу логічне і послідовне, висновки до розділів і в цілому по дисертації базуються на результатах глибоких теоретичних розробок і усестороннього аналізу.

Основні положення та висновки дисертаційної роботи висвітлені в рецензованих наукових публікаціях, у тому числі цитованих в наукометричних базах Scopus і WoS. Крім того, результати дисертаційної роботи пройшли апробацію під час представлення матеріалів доповідей та їх обговорення на авторитетних наукових конференціях.

Рівень оволодіння здобувачем методологією наукової діяльності. Здобувач на високому рівні оволодів методологією наукового пошуку, що зокрема проявилось у певній логічній послідовності проведення наукового дослідження, внаслідок чого забезпечено його конкретність, поетапність та обґрунтованість. Мета і завдання дослідження сформульовані методично грамотно з урахуванням результатів, які були отримані іншими дослідниками і встановлених фактів, що дозволило дисертанту визначити пріоритетні напрями і нез'ясовані питання, а саме наукове обґрунтування та вдосконалення методів оцінювання пошкоджуваності вузлів тертя за вібраційними сигналами.

Основні наукові положення та висновки відповідають поставленим завданням дослідження, а саме: проаналізувати теоретичні і експериментальні роботи, в яких розглядаються питання збудження функційних коливань; теоретично встановити можливості використання перетворення Гільберта для аналізу стохастичної модуляції ПНВП; теоретично дослідити кореляційні та спектральні властивості для випадку, коли квадратури описуються високо-частотними стаціонарно зв'язаними випадковими процесами; дослідити властивості перетворення Гільберта та аналітичного сигналу у випадку високо-частотної модуляції; розробити алгоритми для виділення й аналізу квадратур при вузько-смуговій високочастотній модуляції; використати теоретичні результати роботи для виявлення та встановлення типу пошкодження обертового вузла; провести експериментальне дослідження вібрацій, збуджених тертям за тертя без мащення та граничного тертя, встановлені основні

закономірності їх ПНВП структур, встановити характерні відмінності між ними для різного типу контактів; обґрунтувати діагностичні ознаки для визначення міри пошкодження поверхонь.

Дисертантом обрано як об'єкт дослідження методи статистичного аналізу ПКВП, методи оцінювання їх імовірнісних характеристик та встановлення зв'язків між характеристиками сигналів

Поставлені завдання Слєпко Р. Т. вирішував завдяки правильно обраним методам: математичному моделюванню; аналізу Фур'є; статистичної теорії періодично нестационарних випадкових процесів; кореляційного і спектрального аналізів; комп'ютерного моделювання та експериментальних дослідження трибо логічних характеристик.

Практичне значення отриманих результатів. Теоретичні підходи у поєднанні з програмним забезпеченням розробленим Слєпком Р. Т. дають можливість обробки реальних часових рядів фрикційних вібрацій і встановлення наявних дефектів у трибоспряженнях. На основі моніторингу вузлів тертя, з використанням наведених підходів запропонованих здобувачем, дають можливість приймати рішення щодо тимчасового продовження термінів експлуатації чи заміни вузлів та елементів обладнання з пошкодженнями. Практична значимість роботи підтверджена актом впровадження, який додається до роботи.

Відповідність роботи вимогам, які ставляться до дисертації.

За важливістю розв'язаної наукової задачі, повнотою її теоретичного та експериментального обґрунтування, обсягом проведених досліджень і новизною сформульованих висновків дисертаційна робота Слєпка Р.Т. відповідає вимогам "Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії", затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 та вимогам до оформлення дисертації, затвердженими наказом МОН України від 12 січня 2017 № 40.

Зауваження до дисертаційної роботи.

1. Автор дисертації недостатньо висвітлив особливості моделі фрикційних коливань у вигляді періодично нестационарного випадкового процесу у порівнянні з існуючими у літературі.

2. У дисертаційній роботі представлені трибологічні дослідження, що стосуються колового руху та контактних пар, що обертаються. Чи можливо

використати розроблені підходи та апаратне вирішення діагностування трибопар за іншими схемами тертя?

3. Здобувач розділяє на три стадії пошкоджуваність поверхні під час тертя, однак не спостерігається чіткої прив'язки до розмірного та кількісного фактора, а саме глибини та кількості дефектів на певну площу.

4. Автор використовує в роботі термін «тертя з «вологим» контактом», у триботехніці крім сухого тертя розрізняють: граничне, змішане та рідинне тертя. Потребує уточнення використаний автором термін.

5. У четвертому розділі не обґрунтовано, чим керувався здобувач при виборі матеріалів пар тертя та мастила.

6. В дисертаційній роботі зустрічаються незначні неточності та описки.

Висновок. Наведені зауваження не впливають на високу оцінку роботи в цілому. Дисертаційна робота Слєпка Р.Т. “Аналіз стану поверхонь пар тертя за характеристиками вібраційних сигналів” є завершеною науковою роботою, у якій розв’язана важлива як в науковому, так і в практичному відношенні задача оцінювання пошкоджуваності трибовузлів за вібраційними сигналами, за новизною отриманих результатів та ступенем їх обґрунтованості відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України № 40 від 12 січня 2017 р. “Про затвердження Вимог до оформлення дисертацій”, і вимогам “Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії”, затвердженому постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44, а її автор заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії з галузі знань 11 “Математика та статистика” за спеціальністю 113 “Прикладна математика”.

Офіційний опонент:

д.т.н., професор, завідувач кафедри трибології,
автомобілів та матеріалознавства

Хмельницького національного університету

 Олександр ДИХА

Підпис

професора Олександра ДИХИ

ЗАСВІДЧУЮ

Учений секретар

Хмельницького національного університету





Ольга ГОНЧАР