

ВІДГУК

офіційного опонента про дисертаційну роботу

КУРАПОВА Павла Ростиславовича

“Взаємоспектральний аналіз періодично нестационарних випадкових процесів”,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 113 – Прикладна математика

галузі знань 11 – Математика та статистика

Актуальність теми дослідження та її зв'язок з планами роботи кафедри. Для визначення технічного стану елементів складних механічних конструкцій та ефективного дослідження їх механічних і фізичних властивостей з використанням експериментальних даних потрібно вміти виявляти, аналізувати та використати ті їх характерні особливості, що дадуть змогу в повній мірі розв'язати поставлені задачі. Такі особливості визначаються шляхом використання відповідних методів обробки даних і їх аналізу, які розроблені на основі обґрунтованих математичних моделей досліджуваних процесів. Слід зазначити, що вдало вибрані математичні моделі вібраційних сигналів, що досліджуються, створюють підґрунтя для опису і розуміння їх властивостей. Адекватною моделлю вібраційних сигналів пошкоджених механізмів, котрим властиві риси повторюваності та стохастичності, є періодично нестационарні випадкові процеси (ПНВП). За появи розподілених чи локалізованих дефектів несучі гармоніки вібрацій стохастично модулюються як за амплітудою, так і за фазою. Властивості такої модуляції описуються математичним сподіванням і кореляційною функцією ПНВП, а також їх коефіцієнтами Фур'є. Дисертаційна робота присвячена важливій та актуальній науковій проблемі – дослідженню математичних моделей сигналів для стохастичних систем у вигляді періодично нестационарних випадкових процесів. У роботі запропоновано метод оцінювання стаціонарної компоненти однокомпонентного періодично нестационарного випадкового сигналу, який використовує смугову фільтрацію та перетворення Гільберта для виокремлення квадратур вузькосмугового періодично нестационарного випадкового сигналу. Проаналізовано властивості перетворення Гільберта однокомпонентного періодично нестационарного випадкового сигналу, досліджено його властивості

взаємності від кореляційної структури стохастичних модуляцій, розроблено методи оцінювання її характеристик.

Слід відзначити, що тематика дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри прикладної математики “Математичне моделювання складних систем” Національного університету “Львівська політехніка”. Також дисертаційні дослідження виконувались в рамках державних бюджетних тем Національної академії наук України. В яких виконавцем був дисертант.

Наукова новизна представлених теоретичних та експериментальних результатів. Наукова новизна полягає у розробленому автором нового підходу до побудови ймовірнісних моделей сигналів у вигляді їх гармонічного представлення ПНВП, який базується на його представленні через стаціонарні стаціонарно зв’язані випадкові процеси та побудові нових параметричних моделей сигналів через стаціонарно зв’язані компоненти сигналу. Основні наукові здобутки П. Р. Курапова, котрі відзначаються суттєвою новизною полягають у наступному:

– *вперше* обґрунтовано ПНВП-модель вібраційних сигналів на основі представлення через стаціонарні стаціонарно зв’язані процеси та проаналізовано метод виділення стаціонарно зв’язаних квадратурних складових на основі перетворення Гільберта, що дозволяє описати ймовірнісну структуру явища та побудувати його параметричну модель;

– *вперше* отримано і проаналізовано властивості зміщення й дисперсії оцінок ймовірнісних характеристик стаціонарно зв’язаних компонентів гармонічного представлення ПНВП, виділених запропонованим методом, і на цій основі обґрунтовано параметри обробки, що забезпечують наперед задану точність їх виділення;

– *вперше* досліджено властивості зміщення й дисперсії оцінок ймовірнісних характеристик ПНВП при їх обчисленні на основі гармонічного представлення, що описують їх залежності від довжини відрізка реалізації та параметрів, які визначають кореляційну структуру, що дало змогу кількісно оцінити вірогідність результатів обробки, які забезпечують наперед задану її точність;

– *вперше* обґрунтовано новий критерій для діагностики технічного стану об’єктів на основі авто- та взаємкореляційних функцій стаціонарних стаціонарно зв’язаних компонентів стохастичної складової вібродинамічного сигналу, який на відміну від критеріїв побудованих на компонентах

кореляційної функції є більш чутливим до нестационарності, викликаною модуляцією гармонік несучої;

– *вперше* створено параметричні моделі стохастичної складової вібраційних сигналів на основі їх гармонічного представлення, які на відміну від моделей періодичної авторегресії використовують меншу кількість параметрів моделювання внаслідок врахування періодичної структури ПНВП. **Наукова обґрунтованість та достовірність представлених теоретичних та експериментальних результатів досліджень.** У роботі на основі результатів комп'ютерно-імітаційного моделювання проаналізовано вплив ширини смуги частот модуляційних процесів і відношення їх частот до частоти несучої на точність виділення стаціонарно зв'язаних компонентів ПНВП. Також автором проведено аналіз залежності якості оцінювання ймовірнісних характеристик від довжини відрізка реалізації, кроку дискретизації та параметрів апроксимацій, запропонованих для опису кореляційної структури ПНВП та розроблено нову методологію статистичного аналізу вібраційних сигналів. Ґрунтовний аналіз отриманих результатів та порівняння їх з результатами відомих досліджень у цій галузі свідчать про високий рівень обґрунтованості основних наукових положень та висновків, сформульованих у дисертації П. Р. Курапова.

Об'єктом дослідження у дисертаційній роботі є сигнали від випадкових процесів зі стохастичною повторюваністю, а предметом дослідження – методи статистичного аналізу періодично нестационарних випадкових сигналів на основі їх представлення через стаціонарні стаціонарно зв'язані випадкові процеси.

Отримані результати узгоджуються з відомими результатами та висновками інших дослідників та відомими закономірностями, що підтверджує правильність трактування отриманих даних. Висновки до дисертації підкреслюють наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень та розроблених засобів. Список використаних джерел свідчить про те, що під час роботи було проаналізовано сучасні результати наукових досліджень проблеми параметричного моделювання стохастичних сигналів.

Рівень виконання поставленого наукового завдання. Робота виконана на високому науковому рівні, викладення матеріалу структуроване, зрозуміле, грамотне, логічне і послідовне. Отримані висновки базуються на результатах виконаних теоретичних та експериментальних досліджень.

Основні положення, результати та висновки, отримані у дисертаційній

роботі висвітлені у ряді фахових публікацій, у тому числі цитованих у наукометричній базі SCOPUS. Результати дисертації були апробовані під час доповідей на відповідних авторитетних фахових наукових конференціях.

За темою роботи опубліковано 19 наукових праць, з них: 1 розділ колективної монографії; 4 статі, з яких 3 індексовані у міжнародній наукометричній базі SCOPUS, 1 у фаховому науковому виданні категорії Б із переліку, затвердженого МОН України; 14 матеріалів тез доповідей на конференціях у яких повністю відображені основні наукові результати.

Рівень володіння здобувачем методологією наукової діяльності. Здобувач продемонстрував високий рівень методології наукового пошуку, аналізу відомих результатів здатності виокремити вузлові невирішені питання та запропонувати ймовірні напрямки та способи їх вирішення. Мета і завдання дослідження сформульовані грамотно, логічно витікають і узгоджуються з відомими результатами отриманими іншими дослідниками, що дозволило сформулювати та вирішити основну задачу з побудови параметричних моделей сигналів через стаціонарно зв'язані компоненти сигналу.

Основні наукові положення та висновки відповідають поставленим завданням наукових досліджень, а саме: проведення теоретичних досліджень властивостей гармонічного представлення періодично нестаціонарних випадкових процесів; аналіз залежності якості оцінювання ймовірнісних характеристик від довжини відрізка реалізації, кроку дискретизації та параметрів апроксимацій; проведення комп'ютерно-імітаційного моделювання для визначення впливу ширини смуги частот модуляційних процесів і відношення їх частот до частоти несучої на точність виділення стаціонарно зв'язаних компонентів ПНВП на основі смугової фільтрації та перетворення Гільберта.

Поставлені задачі П. Р. Курапов вирішив правильно завдяки використанню верифікованих коректних методів аналізу періодично нестаціонарних стохастичних процесів, методів аналізу модульованих сигналів.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність розробленого в дисертаційній роботі підходу до статистичного аналізу сигналів полягає в тому, що на основі кореляційних функцій виділених квадратур можуть бути побудовані нові індикатори, які враховують взаємокореляційні зв'язки виділених стаціонарних компонент, що збільшує та розширює можливості ранньої діагностики та моніторингу технічного стану деталей обертових вузлів.

Теоретичні та практичні результати було використано у науково-дослідній роботі відділу “Методів та засобів відбору та обробки діагностичних сигналів” Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України.

Здобувачем виконано діагностичні дослідження по визначенню технічного стану промислових об’єктів, що підтвердили правильність розроблених підходів та ефективність їх практичного застосування. Акти впроваджень наведені в Додатку Б.

Відповідність роботи вимогам, що ставляться до дисертацій. Розглянута дисертаційна робота П. Р. Курапова за важливістю вирішених наукових завдань, повнотою теоретичного та експериментального обґрунтування, обсягом проведених досліджень, глибиною сформульованих висновків відповідає вимогам “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 12.01.2022 р. № 44, та “Вимогам до оформлення дисертації”, затвердженим Наказом Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40.

Зауваження до дисертації.

1. У п’ятому розділі (стор. 117) автор приводить передавальні функції $H_1(\omega)$ та $H_2(\omega)$, подання яких наведено у загальному вигляді $H_k(\omega)$. На мою думку, в конкретному симуляційному випадку слід було записати дані функції у явному вигляді.

2. При описі результатів аналізу вібраційних сигналів отриманих від редуктора промислового вітрогенератора слід було навести результати проміжних обчислень.

3. Вважаю, що відомості подані в Додатку В “Означення та властивості перетворення Гільберта” є загальновідомими, а, отже, його можна було не включати в дисертаційну роботу.

4. Автор пише, що ним обґрунтовано параметри обробки вібраційних сигналів, що забезпечують наперед задану точність обробки, але не наведено числових результатів.

5. У роботі слід було зробити більш ширший огляд альтернативних методів декомпозиції і демодуляції нестационарних випадкових процесів.

Висновок. Зазначені недоліки не впливають на високу оцінку роботи в цілому. Дисертаційна робота “Взаємоспектральний аналіз періодично нестационарних випадкових процесів” є завершеною науковою роботою, у якій вирішена важлива науково-практична задача з побудови нових параметричних моделей сигналів через авто- та взаємкореляційні функції стаціонарних стаціонарно-зв’язаних компонентів стохастичної складової вібраційного сигналу і на цій основі обґрунтовано нові критерії для діагностики технічного стану об’єктів. За новизною отриманих результатів та ступенем їх обґрунтованості відповідає вимогам Наказу Міністерства освіти і науки України від 12.01.2017 р. № 40 “Про затвердження Вимог до оформлення дисертації” та вимогам “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 12.01.2022 р. № 44, а її автор Павло Ростиславович Курапов заслуговує на присудження йому ступеня доктора філософії з галузі знань 11 “Математика та статистика” за спеціальністю 113 “Прикладна математика”.

Офіційний опонент,

доктор технічних наук, професор,

завідувач кафедри комп’ютерних наук

Західноукраїнського національного університету

Андрій ПУКАС



Підпис *Андрій Пукас*
Завіряю: *Алла Семенівна*
НАЧАЛЬНИК
ЗАГАЛЬНОГО ВІДДІЛУ