

## **ВІДГУК**

офіційного рецензента

доктора технічних наук, старшого наукового співробітника

**ЖУРАВЧАК Любові Михайлівни**

на дисертаційну роботу

**КУРАПОВА Павла Ростиславовича**

на тему: “**Взаємоспектральний аналіз періодично  
нестационарних випадкових процесів**”,

подану на здобуття наукового ступеня доктора філософії

за спеціальністю 113 *Прикладна математика*,

галузь знань 11 *Математика та статистика*.

**Актуальність теми дослідження та її зв'язок з планами роботи кафедри.** Властивості повторюваності та стохастичності характерні для багатьох сигналів, що зустрічаються в природі та технічній діяльності людини. Випадковий характер факторів, які спостерігаються при роботі вібродинамічних систем, зумовлює використання й розвиток ймовірнісних методів в задачах оцінювання технічного стану об'єктів тривалої експлуатації, Тому подальший розвиток імовірнісного підходу, що ґрунтується на математичних моделях періодично нестационарних випадкових процесів, побудова параметричних моделей стохастичних сигналів та розвиток методів статистичного аналізу є актуальною та важливою науково практичною задачею.

Тематика дисертаційної роботи відповідає науковому напрямку кафедри прикладної математики «Математичне моделювання складних систем». Дисертаційні дослідження виконувались в рамках державних бюджетних тем Національної академії наук України “Розроблення інформаційних технологій та засобів вібраційної діагностики на основі періодично нестационарних нелінійних моделей з використанням перетворення Гільберта” (державний реєстраційний номер 0119U101061), “Розроблення методів кореляційного аналізу поліритмічної структури вібраційних сигналів для підвищення ефективності діагностики елементів вузлів механізмів з різними швидкостями обертання” (0122U002138).

**Оцінка наукового рівня дисертації та публікацій здобувача.** Відповідно до мети та поставлених у роботі завдань здобувач **проаналізував**

- детерміністичний та ймовірнісний підходи до опису сигналів зі стохастичною повторюваністю та показав необхідність застосування останнього при описі фізичних явищ, зміни параметрів яких мають стохастичну природу;

- перетворення Гільберта однокомпонентного періодично нестационарного випадкового сигналу та дослідив його властивості залежно від кореляційної структури стохастичних модуляцій;

***обґрунтував***

- використання гармонічного подання періодично нестационарного випадкового сигналу для опису його властивостей через властивості стаціонарних складових;
- доцільність використання моделей, які враховують періодичну структуру, для моделювання нестационарних сигналів з присутніми стохастичними модуляційними зв'язками;
- новий підхід до статистичного аналізу вібраційних сигналів, і на його основі побудував нові індикатори, які враховують взаємні кореляційні зв'язки виділених стаціонарних компонент, для раннього виявлення дефектів у обертових вузлах.

***вивів*** взаємозв'язки між ймовірнісними характеристиками однокомпонентного періодично нестационарного випадкового сигналу, представленого моделлю Райса, та характеристиками його квадратур;

***розробив*** метод декомпозиції багатокомпонентного періодично нестационарного випадкового сигналу, який використовує смугову фільтрацію та перетворення Гільберта для виділення стаціонарних компонент із сигналів зі стохастичною повторюваністю;

*Об'єктом дослідження* здобувач обрав сигнали від випадкових процесів зі стохастичною повторюваністю.

*Предметом дослідження* здобувач обрав методи статистичного аналізу періодично нестационарних випадкових сигналів на основі їх представлення через стаціонарні стаціонарно зв'язані випадкові процеси.

Висновки до дисертації підкреслюють наукову новизну та практичну цінність проведених досліджень та розроблених засобів. Список використаних джерел свідчить про те, що під час виконання роботи проаналізовано сучасний стан наукових досліджень проблеми параметричного моделювання стохастичних сигналів.

За темою роботи опубліковано 19 наукових праць, з них: один розділ колективної монографії; 4 статті, з яких 3 індексовані у міжнародних наукометричних базах *Scopus/WoS*, одна у фаховому науковому виданні категорії **Б** із переліку, затвердженого МОН України; 14 матеріалів тез доповідей на конференціях, у яких повністю відображені основні наукові результати.

**Наукова обґрунтованість отриманих результатів, наукових положень, висновків, рекомендацій.** Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертаційній роботі

**Павла Курапова**, впливають зі створення обґрунтованих математичних моделей для детальнішого дослідження закономірностей низькочастотної модуляції. Несуперечливість отриманих теоретичних результатів підтверджено логічними експериментальними та імітаційними дослідженнями. Наведені в дисертації висновки узагальнюють наукові результати та їх практичну важливість. Також достовірність отриманих здобувачем результатів засвідчена п'ятьма актами впровадження, обговоренням матеріалів дисертації на міжнародних науково-технічних конференціях та наукових семінарах кафедри.

**Рівень поставленого наукового завдання та опанування здобувачем методології наукової діяльності.** Наукове завдання, поставлене перед здобувачем, полягало у дослідженні імовірнісної структури сигналів від випадкових процесів зі стохастичною повторюваністю на основі їх представлення через стаціонарні стаціонарно зв'язані випадкові процеси. Вважаю, що це завдання повністю виконано і досягнуто поставленої мети. Зокрема, у ході розв'язання поставленої задачі здобувачем отримано такі основні наукові результати:

- *вперше* виведено та проаналізовано співвідношення, які пов'язують кореляційні та спектральні характеристики вузькосмугових періодично нестационарних випадкових сигналів та їх перетворень Гільберта;
- *вперше* проаналізовано параметричне моделювання варіацій магнітного поля Землі через виділення стаціонарних квадратур;
- *вперше* показано, що у випадку вузькосмугової високочастотної амплітудно-фазової модуляції несучих гармонік періодично нестационарного сигналу кореляційна функція даного сигналу та його Гільберт-трансформанти є однаковими, тому так званий квадрат обвідної є випадковим процесом, математичне сподівання якого дорівнює подвоєній дисперсії сигналу та подвійній усередненій за часом потужності сигналу;
- *отримали подальший розвиток* використання періодично нестационарного випадкового процесу як моделі для побудови нових індикаторів для визначення технічного стану елементів механічних систем.

**Висновок про відповідність дисертації встановленим вимогам.** Дисертація є завершеною науковою працею, а її оформлення відповідає встановленим вимогам МОН України, зокрема наказу МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та містить усі необхідні структурні елементи.

За актуальністю тематики, обсягом проведених досліджень, науковою новизною отриманих результатів та їх практичним значенням дисертаційна

робота **Павла Курапова** відповідає вимогам та паспорту спеціальності 113 *Прикладна математика*.

**Практичне значення одержаних результатів.** Практична цінність розробленого в дисертаційній роботі підходу до статистичного аналізу вібраційних сигналів полягає в тому, що він розширює та збільшує можливості діагностики та моніторингу стану деталей обертових вузлів. Цей підхід полягає у розділенні сигналу на смуги частот і оцінюванні квадратур смуг, які використано для побудови параметричної моделі процесу. Теоретичні та практичні результати, отримані у дисертаційній роботі, використано у науково-дослідній роботі відділу “Методів та засобів відбору та обробки діагностичних сигналів” Фізико-механічного інституту ім. Г.В. Карпенка НАН України.

#### **Зауваження до дисертації:**

1. Не вказано як змінюється об'єм обчислень після переходу від нульового кореляційного компонента до спектрального компонента у задачі симуляції та аналізу росту втомних тріщин у балці під дією циклічних навантажень.
2. При аналізі вібросигналу редуктора промислового вітрогенератора наведено графіки оцінки кореляційної функції та спектральної густини потужності лише для складової з найбільшим математичним сподіванням і не описано, якою була поведінка цих функцій для інших компонент. Незрозуміло, чи достатньо брати до уваги лише таку складову.
3. При дослідженні періодичної структури магнітного поля Землі зауважено, що значення оцінок для синусної та косинусної квадратур для окремих компонентів різні (с. 121), але наведено оцінку автокореляційної функції та спектральної густини лише косинусної квадратури другої компоненти. Оскільки вони є корельованими, то неясно, в чому полягає відмінність між ними. У цій же задачі на рис. 4.16 бачимо пік на частоті, що відповідає добовому періоду, водночас неясно, як проявляються періоди пів доби та третина доби.
4. Варто було б уточнити яких дефектів (наприклад, стирання зубця чи тріщини на колесі) стосується раннє їх виявлення при дослідженні зубчастого колеса редуктора промислового вітрогенератора.

**Загальні висновки.** Вказані зауваження не є принциповими і не знижують загальної позитивної оцінки дисертації, основних наукових положень, висновків та отриманих результатів проведених досліджень. Дисертаційна робота **Павла Курапова** є завершеним науковим дослідженням, в якому розв'язана актуальна наукова задача розроблення підходу до аналізу і параметричного моделювання сигналів зі стохастичною повторюваністю, що ґрунтується на представлені періодично нестационарних випадкових процесів через стаціонарно зв'язані випадкові процеси. Розв'язання вказаної задачі надає принципово нові можливості для дефектоскопії, оскільки на основі

характеристик модуляцій можна побудувати нові індикатори, які враховують взаємні кореляційні зв'язки виділених стаціонарних компонент для виявлення та типізації дефектів у обертових вузлах.

На підставі детального аналізу представленої дисертаційної роботи, зокрема її актуальності, глибини опрацювання поставленої проблеми аналізу і параметричного моделювання сигналів зі стохастичною повторюваністю, обґрунтованості основних положень і висновків, наявності наукової та практичної цінності, можна зробити висновок, що робота відповідає вимогам, які сформовані до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії та встановлені наказом МОН України № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та КМ від 12 січня 2022 р. № 44 «Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії» з останніми змінами, внесеними постановою КМ № 341 від 21.03.2022.

Кваліфікаційна робота **Павла Курапова** за темою **“Взаємоспектральний аналіз періодично нестаціонарних випадкових процесів”** є завершеною науковою роботою, а її автор **Павло Курапов**, заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 113 *Прикладна математика*, галузь знань 11 *Математика та статистика*.

**Рецензент:**

доктор технічних наук, с.н.с.,  
проф. кафедри програмного забезпечення  
Інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій  
Національного університету  
“Львівська політехніка”



**Любов ЖУРАВЧАК**

Підпис д.т.н. Журавчак Л.М. «Засвідчую»

**Вчений секретар**

Національного університету  
“Львівська політехніка”



**Роман БРИЛИНСЬКИЙ**

"14" червня 2023 р.