

## ВІДГУК

офіційного опонента

на дисертаційну роботу **Жаровського Руслана Олеговича** на тему:  
**«Математичне моделювання і статистична обробка сейсмічних сигналів з використанням ортогональної фільтрації»**,  
представлену на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук  
за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання  
та обчислювальні методи

### Актуальність теми дослідження

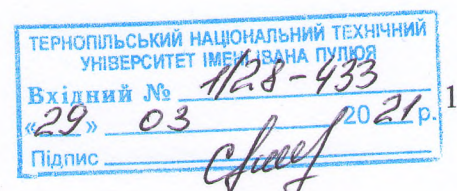
В сейсморозвідці з метою розвідки корисних копалин використовуються сейсмічні методи. При їх використанні застосовують пружні хвилі, які дозволяють отримати інформацію про структуру земної кори. Поширене використання екологічно чистих методів генерації корисних сейсмічних сигналів зумовило послаблення їх початкової інтенсивності і зменшення рівня співвідношення сигнал/завада. Тому задачі вимірювання характеристик сейсмічних сигналів слабкої інтенсивності за наявності завад набувають значної актуальності. Також набуває поширення використання сучасних засобів обчислювальної техніки для обробки сейсмічних сигналів, що дає нові потенціальні можливості реалізації цифрових методів обробки сейсмічних сигналів, які на сьогодні в повній мірі не використовуються.

Дисертацію здобувача Жаровського Р. О. присвячено вдосконаленню математичних моделей сейсмічних сигналів і кореляційного методу з застосуванням ортогональної обробки з подальшим створенням відповідного алгоритмічного і програмного забезпечення для реалізації цифрових методів обробки сигналів в системах сейсморозвідки.

### Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків та рекомендацій, сформульованих у дисертації, їхня достовірність

Автором дисертаційної роботи проведено аналіз визначеної проблематики, здійснене комплексне теоретичне та практичне обґрунтування шляхів її розв'язання. Обґрунтованість і достовірність наукових результатів, висновків та рекомендацій, викладених в дослідженні, досягаються за рахунок:

- Коректної постановки задач дослідження;
- Адекватного використання досягнень теорії випадкових процесів та математичного моделювання, обчислювальних методів та алгоритмів при розв'язуванні поставлених задач засобами обчислювальної техніки;
- Теоретичні результати, отримані шляхом комп'ютерного імітаційного моделювання, узгоджуються з отриманими практичними результатами;
- Наукові результати підтверджено апробаціями на наукових конференціях та семінарах





## Наукова новизна результатів дисертаційного дослідження

Отримано такі наукові результати:

- Отримано подальший розвиток моделі сейсмічних сигналів у виді суми затухаючих гармонічних коливань і завад у виді лінійного стаціонарного процесу, характеристики яких визначаються за результатами статистичної обробки експериментальних даних, що дало можливість врахувати фізичний механізм їх формування при розповсюдженні сейсмічних хвиль.

- Удосконалено метод лінійної фільтрації сейсмічних сигналів на основі використання ортогональних фільтрів Лагерра дискретного аргументу, які мають характерні властивості, що дозволяють забезпечити збільшення співвідношення сигнал/завада при функціонуванні в кореляційних системах в умовах дії завад.

- Вперше отримані результати порівняльного аналізу роботи типової кореляційної системи і кореляційної системи з вхідними ортогональними фільтрами Лагерра дискретного аргументу, які дали можливість збільшити відношення сигнал/завада і обґрунтувати ефективність роботи системи при статистичній обробці сейсмічних сигналів.

- Вперше обґрунтовано використання адаптивного методу фільтрації при статистичній обробці сейсмічних сигналів на основі використання складних ортогональних фільтрів Лагерра дискретного аргументу в кореляційних системах сейсмозвідки, що дало можливість підвищити відношення сигнал/завада за рахунок вибору коефіцієнтів складного ортогонального фільтру, адаптованих до кореляційної функції завад.

## Значущість отриманих результатів для науки і практики

Значущість отриманих результатів полягає у представленні на базі процесу формування, поширення та прийому сейсмічних сигналів, математичної моделі таких сигналів у вигляді адитивної суми корисної складової, що представлена у вигляді полігармонічного затухаючого сигналу і випадкової завади як стаціонарного лінійного випадкового процесу. Що дає змогу до обґрунтованого використання цифрових ортогональних фільтрів для оптимізації кореляційного аналізу. Розроблене в роботі інформаційне забезпечення представляє собою єдиний комплекс алгоритмів, програм для вирішення практичних задач по моделюванню та обробці сейсмічних сигналів з використанням як типової кореляційної системи так і системи з попередньою ортогональною фільтрацією.

Дисертаційну роботу виконано в рамках науково-дослідної теми «Математичне моделювання, методи обробки та імітації біометричних циклічних сигналів в інформаційних системах», де особистим внеском здобувача є розробка математичних моделей, алгоритмів та програмного забезпечення для моделювання сигналів.

Практичне значення результатів роботи підтверджено актами

впровадження.

### **Повнота викладення результатів в опублікованих матеріалах**

Основні результати дисертаційної роботи опубліковано в 17 публікаціях, 7 із них – статті в наукових фахових виданнях (1 – в закордонному виданні, 1 внесена до наукометричної бази Inspec, 1 внесена до наукометричної бази Scopus), 10 – тези доповідей на науково-технічних конференціях.

В опублікованих працях викладено основні отримані результати. Кількість та рівень публікацій відповідають вимогам, що ставляться на сьогоднішній день до кандидатських дисертацій в Україні.

### **Структура та зміст дисертації**

Дисертаційна робота складається з переліку умовних позначень та скорочень, вступу, чотирьох розділів, висновку, списку використаних джерел із 114 найменувань, чотирьох додатків. Повний обсяг дисертаційної роботи становить 156 сторінок; основний текст роботи займає 145 сторінок.

У вступі обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні завдання дослідження, визначено об'єкт, предмет і методи дослідження, показано наукову новизну отриманих результатів, їх практичне значення, визначено зв'язок роботи з науковими темами, а також подано відомості про апробації результатів дисертації та їх висвітлення в наукових працях.

В першому розділі проведений аналіз наукових публікацій в напрямку геофізичних досліджень земної кори з метою розвідки корисних копалин.

Базуючись на меті і завданнях дисертації визначено, що в подальшому будуть розглядатись сейсмічні методи дослідження, які є одними з основних видів дослідження геологічної структури верхніх шарів земної кори, заснованих на особливостях поширення штучно збуджених пружних хвиль у земній корі.

На основі проведеного аналізу сейсмічних методів дослідження визначено, що в якості корисних пружних сейсмічних хвиль використовуються: поздовжні, поперечні, поверхневі хвилі.

Наведені основні класи сейсмічних завад: мікросейсмічні коливання ґрунту, звукові хвилі, що виникають при вибуху, вібраціях, розсіяні хвилі, випадкові завади в електронних трактах систем сейсмозвідки, інші випадкові завади.

На основі проведеного аналізу технічних засобів сейсмозвідки визначено, що використовуються два підходи до обробки та інтерпретації результатів геофізичних спостережень: детермінований і статистичний.

Сучасна сейсмозвідка базується в основному на використанні статистичних методів дослідження у зв'язку з впровадженням невибухових (екологічних) генераторів сейсмічних хвиль. При цьому суттєво зменшується інтенсивність корисних сигналів, а відповідно зменшується відношення

сигнал/завада, тому виникає необхідність при обробці сейсмічних сигналів використовувати ефективні завадостійкі методи виявлення сигналів в основному кореляційні.

З врахуванням вирішення завдань дисертації і результатів аналізу відомих математичних моделей сейсмічних сигналів сформульовані вимоги до математичної моделі сейсмічного сигналу.

В якості системи обробки сейсмічних сигналів обґрунтовано використання кореляційних систем. Для підвищення ефективності кореляційних систем обґрунтовується застосування попередньої ортогональної обробки на базі цифрових ортогональних фільтрів Лагерра.

У другому розділі наведені основні результати теоретичних досліджень дисертації.

Для отримання результатів використано теоретичний апарат лінійних випадкових процесів, який дав можливість логічно поєднати проведення досліджень в рамках кореляційної теорії як детермінованих, так і випадкових процесів, які описують сейсмічний сигнал, та його перетворення в кореляційних системах.

Обґрунтовано модель випадкового сейсмічного сигналу у вигляді суми корисного сейсмічного сигналу і випадкової завади.

На основі аналізу фізичних особливостей формування сейсмічних сигналів обґрунтована модель корисного сейсмічного сигналу у виді полігармонічного затухаючого сигналу.

Аналіз результатів досліджень та попередня статистична обробка експериментальних вимірювань сейсмічних завад підтвердила статистичну гіпотезу про стаціонарність в широкому сенсі завад. Це дало можливість використати при дослідженні завад модель стаціонарного лінійного випадкового процесу. В якості моделей сейсмічних завад використано процеси білого, забарвленого, RC і RLC - шуму

В третьому розділі наводяться результати комп'ютерного моделювання та статистичної обробки сейсмічних сигналів досліджуваними кореляційними системами.

Обґрунтовано вибір фільтрів Лагерра, які в порівнянні з іншими ортогональними фільтрами мають характеристики, які забезпечують ефективне використання в кореляційних системах.

Розглядається два варіанта кореляційних систем: типова і з вхідними ортогональними фільтрами Лагерра, при дії різних комбінацій сейсмічних сигналів і завад.

В четвертому розділі обґрунтовано ефективність кореляційної ортогональної системи обробки сейсмічних даних на базі ортогональних фільтрів Лагерра. Отримані результати дослідження такої системи в порівнянні з типовою кореляційною системою, які показали підвищення рівня сигнал/завада.



Розроблено відповідне алгоритмічне і програмне забезпечення статистичної обробки сейсмічних сигналів, що дало можливість провести широке коло комп'ютерних моделюючих експериментів.

В якості перспективного методу розвитку кореляційних ортогональних систем статистичної обробки сейсмічних сигналів запропонований адаптивний метод зменшення впливу сейсмічних завад, шляхом використання складних ортогональних фільтрів Лагера дискретного аргументу.

Сформульовані основні наукові і практичні результати математичного моделювання і статистичної обробки сейсмічних сигналів в кореляційних ортогональних системах.

**Автореферат** в загальному відображає основні наукові результати, отримані в роботі, наукову новизну та практичне значення виконаного дослідження.

Дисертаційна робота та автореферат оформлені у відповідності з вимогами, що висуваються на сьогоднішній день до кандидатських дисертацій в Україні.

#### **Зауваження до дисертації:**

До зауважень щодо матеріалів дисертації та автореферату, слід віднести наступне:

1. В першому розділі наведені сигнали, які використовуються для дослідження земної кори в сейсмічних системах, однак не конкретизовані їх параметри в залежності від геологічної задачі.

2. В 1 розділі зустрічається поняття регулярних завад, однак в математичній моделі вони не враховуються.

3. В 2 розділі не конкретизовано чому саме в якості сейсмічних завад були обрані три види лінійних випадкових процесів (забарвлений шум, RC-шум і RLC-шум).

4. В роботі запропоновано використання фільтрів на базі ортогональних функцій Лагерра, однак не проведено аналіз/порівняння з іншими ортогональними функціями.

5. В підрозділі 4.5.1 наведені корелограми, однак не вказано за яких умов вони були отримані.

6. В 4 розділі було б доцільним навести кількісні показники, що характеризують ефективність запропонованих методів обробки.

7. В роботі використовуються терміни без пояснень, зокрема: годограф, обернений годограф, вертикальна сейсмічна профілізація.

8. В авторефераті описано адаптивний метод фільтрації, однак не наведено результатів його роботи.

9. У дисертації наявні незначні граматичні та стилістичні помилки.



Наведені зауваження не зменшують в цілому вагомості результатів дослідження, отриманих в дисертації.

### Загальна оцінка роботи і висновки

З урахуванням вищезазначеного можна стверджувати, що дисертаційна робота Жаровського Р. О. на тему «Математичне моделювання і статистична обробка сейсмічних сигналів з використанням ортогональної фільтрації» є завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій отримано нові науково обґрунтовані результати, спрямовані на вирішення завдання математичного моделювання і статистичної обробки сейсмічних сигналів, з метою виявлення корисних сейсмічних сигналів слабкої інтенсивності при дії випадкових завад.

Дисертація написана сучасною науково-технічною мовою, матеріал подано послідовно та логічно. Робота в достатній мірі проілюстрована за допомогою рисунків і таблиць.

Робота виконана здобувачем самостійно. Ознаки академічного плагіату відсутні.

Анотеза дисертації достатньо повно розкриває її зміст.

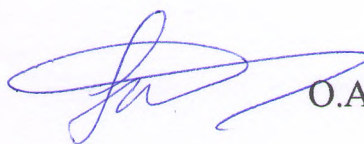
Опубліковані здобувачем Жаровським Р. О. наукові праці за темою дослідження повністю відображають основні положення дисертації.

Дисертаційна робота містить нові науково-обґрунтовані результати, що мають істотне значення для підвищення ефективності кореляційних систем сейсмозвідки і відповідає вимогам паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

За актуальністю теми, теоретичною цінністю та практичною значимістю отриманих результатів дисертаційна робота відповідає вимогам, які ставляться до робіт на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук, зокрема (п. 9, 11, 12 щодо кандидатських дисертацій) «Порядку присудження наукових ступенів» затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013р. №567 (зі змінами), а її автор, Жаровський Руслан Олегович, заслуговує присудження наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент:

Провідний науковий співробітник  
Інституту проблем моделювання в енергетиці  
ім. Г.Є. Пухова НАН України  
доктор технічних наук,  
старший науковий співробітник



О.А. Владимирський



Підпис *Владимирського О.А.*  
Засвідчує *Ін.І.к. А.А.А.А.А.*  
Начальник відділу кадрів ІПМЕ ім. Г.Є.Пухова  
Національної Академії наук України