

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу

Жаровського Руслана Олеговича

«Математичне моделювання і статистична обробка сейсмічних сигналів з використанням ортогональної фільтрації»

подану на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Актуальність теми дисертації.

Протягом останніх десятиліть спостерігаємо стрімкий розвиток науково-технічних підходів дослідження структури поверхні земної кори. Від їх ефективного застосування залежить економічна стабільність, відсутність впливу від зовнішніх постачальників корисних копалин, можливість покращити якість товарів та послуг при зменшенні їх вартості, що сприятиме зміцненню здоров'я та покращенню добробуту населення.

При дослідженні структури поверхні земної кори найчастіше використовується, як найбільш достовірний та надійний, сейсмічний метод дослідження, який застосовується для вивчення глибинної будови Землі; вивчення рельєфу поверхні кристалічного фундаменту; пошуку структурних та інших родовищ нафти та газу; пошуків рудних тіл; прогнозування будови геологічного розрізу, складу і флюїдного насичення порід; виявлення тектонічних порушень і карстових порожнин; визначення рівня підземних вод та освоєння їх родовищ; вивчення напруженого стану та змін властивостей геологічного середовища у часі.

Для отримання інформації про стан поверхневих шарів землі при дослідженні структури геологічного середовища в сейсмозвідці використовують поздовжні та поперечні пружні хвилі. Аналізуючи поширення даних хвиль отримують дані про пружні характеристики структури поверхні земної кори та визначають форму границь, на яких вони виникли. Виявлення корисних сейсмічних сигналів, які несуть інформацію про структуру

1

ЧЕРНІВІЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ ІВАНА ПУТЯКА		
Вхідний №	1128-412	1
«24»	03	2021 р.
Підпис	[Підпис]	

геофізичного середовища при дії різного роду завад та виникають при розповсюдженні пружних хвиль є актуальною задачею сейсмозвідки.

Завдяки використанню вибухових джерел формування пружних хвиль більшість сейсмічних систем працює в умовах, коли інтенсивність корисного сейсмічного сигналу перевищує рівень завад. У сучасній сейсмозвідці використовуються екологічно чисті вібраційні методи дослідження земної кори, що зумовлює зниження інтенсивності корисних сигналів і відповідно зменшення відношення сигнал/завада на входах сейсмодатчиків. Саме тому виникає необхідність вимірювання характеристик сейсмічних сигналів слабкої інтенсивності за наявності завад з високою точністю, завадостійкістю та достовірністю результатів досліджень. Покращити цифрові методи обробки сейсмічних сигналів у відповідних інформаційних системах можна лише через використання в них сучасних засобів обчислювальної техніки.

Дисертація присвячена вирішенню актуального наукового завдання вдосконалення математичних моделей сейсмічних сигналів та кореляційного методу із застосуванням ортогональної обробки з подальшим створенням відповідного алгоритмічного та програмного забезпечення для реалізації цифрових методів обробки сигналів в інформаційних системах сейсмозвідки.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їхня достовірність.

Усі наукові положення, висновки та рекомендації, які сформульовані в дисертації повною мірою обґрунтовані, оскільки логічно впливають із результатів, отриманих за допомогою методів теорії випадкових процесів при обґрунтуванні моделей сейсмічних завад, математичної статистики і статистичної сейсмозвідки для обґрунтування моделі корисного сейсмічного сигналу, основ побудови сучасних кореляційних систем, цифрової обробки та ортогональної фільтрації сигналів при обґрунтуванні вибору та визначенні характеристик фільтрів Лагера для підвищення співвідношення сигнал/завада на виході кореляційних систем.

Достовірність отриманих результатів базується на обґрунтованості результатів моделювання. Достовірність отриманих результатів підтверджують впровадження в практичну діяльність ПАТ «Тернопільміськгаз» та ПАТ «Тернопільгаз».

Наукова новизна дисертаційної роботи:

1. 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.

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

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

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

Значення одержаних результатів для науки і практики. Для підвищення ефективності вирішення задач сейсморозвідки запропоновано використовувати новий клас кореляційних систем з вхідними ортогональними

фільтрами Лагера дискретного аргументу. Отримані практичні рекомендації вибору характеристик і параметрів ортогональних фільтрів Лагера дискретного аргументу для їх використання в кореляційних системах. Використовуючи розроблені алгоритми і програмне забезпечення комп'ютерного моделювання сейсмічних сигналів і завад проаналізовано ряд варіантів комбінацій корисних досліджуваних сигналів і завад в кореляційних системах з вхідними ортогональними фільтрами Лагера дискретного аргументу. Запропоновано підхід виявлення сейсмічних сигналів слабкої інтенсивності при дії завад завдяки використанню кореляційної системи із вхідними ортогональними фільтрами Лагера дискретного аргументу на основі адаптивного методу збільшення сигнал/завада.

Результати дисертації впроваджені в ПАТ «Тернопільміськгаз» та ПАТ «Тернопільгаз».

Повнота викладу в опублікованих працях.

Основні результати, отримані в дисертації, опубліковані в 17 публікаціях, 7 із них – статті в наукових фахових виданнях (1 внесена до наукометричної бази Scopus), 10 – тези доповідей на науково-технічних конференціях.

Оцінка змісту дисертаційної роботи, її завершеність. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів з висновками, загального висновку, списку використаної літератури з 116 найменувань і 4 додатків. Написана на 166 сторінках, в тому числі 128 сторінок основного тексту, де наведено 42 рисунки та 2 таблиці.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертаційної роботи, сформульовано мету та основні завдання дослідження, наведено 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.

У першому розділі проведений аналітичний огляд публікацій про геофізичні дослідження земної кори з метою розвідки корисних копалин. Особлива увага зосереджена на сейсмічних методах дослідження геологічної структури верхніх шарів земної кори, які засновані на особливостях поширення штучно збуджених пружних хвиль. За результатами розглянутих сейсмічних методів дослідження визначено, що поздовжні, поперечні та поверхневі хвилі використовуються в якості корисних пружних сейсмічних хвиль. Наведено сейсмічні завади у вигляді мікросейсмічних коливань ґрунту, звукові хвилі, що виникають при вибуху, вібраціях, розсіяні хвилі, випадкових завад в електронних трактах систем сейсмозвідки. Проаналізовано технічні засоби сейсмозвідки, на основі яких встановлено детермінований і статистичний підходи до обробки та інтерпретації результатів геофізичних спостережень. Розглянуто екологічні невибухові генератори сейсмічних хвиль, які використовуються в сучасній сейсмозвідці. Вказано на суттєве зменшення інтенсивності корисних сигналів та відношення сигнал/завада, що зумовило акцентувати увагу на необхідність використовувати ефективні завадостійкі кореляційних методів виявлення сигналів. На основі результатів аналізу відомих математичних моделей сейсмічних сигналів сформульовані вимоги до математичної моделі сейсмічного сигналу. Обґрунтовано використання кореляційних систем для обробки сейсмічних сигналів. Запропоновано застосування ортогональної кореляційної обробки для підвищення ефективності досліджуваних систем.

У другому розділі наведені основні результати теоретичних досліджень дисертації. Запропоновано теоретичний апарат лінійних випадкових процесів, для проведення досліджень в рамках кореляційної теорії детермінованих і випадкових процесів, які описують сейсмічний сигнал, та їх перетворення в кореляційних системах. Розглянуто математичні моделі сейсмічних сигналів, формування сейсмограм як комбінацій сейсмічних сигналів, моделі корисних сейсмічних сигналів, сейсмічних сигналів з неперервним часом, детермінованих сейсмічних сигналів з дискретним часом. Обґрунтовано модель випадкового

сейсмічного сигналу у вигляді суми корисного сейсмічного сигналу та випадкової завади. Аналізуючи фізичні особливості формування сейсмічних сигналів обґрунтована модель корисного сейсмічного сигналу у виді полігармонічного затухаючого сигналу. Підтверджено статистичну гіпотезу про стаціонарність в широкому сенсі завад за результатами аналізу результатів досліджень та попередньої статистичної обробки експериментальних вимірювань сейсмічних завад. При дослідженні завад запропоновано модель стаціонарного лінійного випадкового процесу. Використано процеси білого, забарвленого, RC і RLC – шуму в якості моделей сейсмічних завад.

У **третьому** розділі наведено результати комп'ютерного моделювання та статистичної обробки сейсмічних сигналів в досліджуваних кореляційних системах. Запропоновано розклад сейсмічних сигналів в ортогональні ряди, а також структури та характеристики сейсмічних кореляційних систем. Обґрунтовано вибір фільтрів Лагера, 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 Лагера, при дії різних комбінацій сейсмічних сигналів і завад. Наведено результат аналізу проходження адитивної суми затухаючого полігармонічного сигналу з різними видами шумів, що описуються лінійним випадковим процесом, через кореляційну вимірювальну систему з вхідними дискретними ортогональними фільтрами Лагера.

У **четвертому** розділі обґрунтовано ефективність кореляційної ортогональної системи обробки сейсмічних даних на базі ортогональних фільтрів Лагера. Отримано результати комп'ютерного моделювання адаптивного методу ортогональної лагеррівської фільтрації шумових завад, а також оцінювання ефективності адаптивного методу зменшення впливу шумових завад. Отримано 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 для проведення комп'ютерних моделюючих експериментів.

Запропоновано адаптивний метод зменшення впливу сейсмічних завад, в якості перспективного методу розвитку кореляційних ортогональних систем статистичної обробки сейсмічних сигналів використано складні ортогональні фільтри Лагера дискретного аргументу. Сформульовано основні наукові і практичні результати математичного моделювання і статистичної обробки сейсмічних сигналів в кореляційних ортогональних системах.

Практичне значення результатів дисертації полягає в тому, що на основі результатів дисертації запропоновано використовувати новий клас кореляційних систем сейсмозвідки – кореляційних систем з вхідними ортогональними фільтрами Лагера дискретного аргументу для підвищення ефективності вирішення задач сейсмозвідки. Розроблено алгоритми і програмне забезпечення комп'ютерного моделювання сейсмічних сигналів і завад дало можливість провести аналіз широкого кола варіантів комбінацій корисних сейсмічних сигналів і завад в кореляційних системах з вхідними ортогональними фільтрами Лагера дискретного аргументу при розв'язку задач виявлення сейсмічних сигналів. Використання кореляційної системи із вхідними ортогональними фільтрами Лагера дискретного аргументу на основі адаптивного методу збільшення сигнал/завада дає можливість вирішити широке коло задач виявлення сейсмічних сигналів слабкої інтенсивності при дії завад.

Оформлення дисертації та автореферату

Дисертаційна робота написана грамотно. Матеріали досліджень подано логічно, послідовно та доказово. Оформлення автореферату та дисертації повністю відповідає вимогам, рекомендованим Міністерством освіти і науки України. Текст автореферату відповідає змісту дисертаційної роботи, а дисертація – паспорту спеціальності 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Зауваження до дисертаційної роботи та автореферату

1. В дисертаційній роботі та авторефераті не наведено рух частинок в сучасних системах сейсмозв'язки у вигляді повздовжніх та поперечних хвиль, а також хвиль Релея та Лява з представленням інформації про швидкості їх поширення.

2. У формулі (1) автореферату та (2.1) дисертації не враховано регулярні завади при сейсмічних дослідженнях, які наведені на рисунках 2 автореферату та 1.10 дисертації.

3. Виявлено різні назви параметрів однакових формул (1) автореферату та (2.1) дисертації моделі $Q(t)$ – корисний сейсмічний сигнал, $\xi(t)$ – випадкова завада в авторефераті та $Q(t)$ – корисний сигнал траси в дисертації, $\xi(t)$ – неінформативна (завади) частина траси.

4. В дисертації використано термін «сейсмічні кореляційні системи», хоча самого їх визначення немає ні в авторефераті, ні в роботі.

5. В дисертаційній роботі та авторефераті не вказано на яку величину, в порівнянні з існуючими системами опрацювання сейсмічних сигналів, вдалося підвищити відношення сигнал/завада за рахунок вибору коефіцієнтів складного ортогонального фільтру, адаптованого до кореляційної функції завад.

6. Необхідно було розглянути більшу кількість сейсмічних сигналів при різних функціональних станах земної кори для побудови відповідних діагностичних просторів та встановлення відстані між ними.

7. На рисунках 5, 6, 9 автореферату та рисунках 3.3, 3.4, 3.6-3.16 дисертаційної роботи не наведено позначення розмірностей усіх величин.

8. Необхідно було навести числові результати ефективності запропонованої моделі та розроблених методів при проектуванні кореляційних систем сейсмозв'язки.

9. У тексті дисертаційної роботи подекуди зустрічаються граматичні помилки та стилістичні неточності.

Зроблені зауваження не впливають на загальну позитивну оцінку дисертації.

Загальний висновок. Дисертаційна робота Жаровського Руслана Олеговича є завершеною науковою працею, в якій отримано нові наукові та прикладні результати, а саме, обґрунтовано математичні моделі, розроблено методи та програмні засоби статистичного опрацювання сейсмічних сигналів в кореляційних системах сейсморозвідки. Отримані практичні результати належно апробовані та впроваджені.

За актуальністю обраної теми, обсягом та рівнем виконаних досліджень, повнотою вирішення поставлених наукових та практичних задач, новизною і ступінню обґрунтованості отриманих результатів, практичних висновків та рекомендацій робота задовольняє вимогам, 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 на присудження йому наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи.

Офіційний опонент,

доцент кафедри медичної інформатики

Тернопільського національного медичного

університету ім. І.Я. Горбачевського,

доктор технічних наук, доцент

Сверстюк А.С.

Підпис д.т.н., доцента, доцента кафедри медичної інформатики

Тернопільського національного медичного

університету ім. І.Я. Горбачевського за в і р я ю:



завіряю

заступник ректора з кадрових питань
Тернопільського національного
медичного університету

Вчений секретар

Тернопільського національного медичного

університету ім. І.Я. Горбачевського

проф. Герасимюк І.Є.

