

Голові спеціалізованої вченої ради  
Д 26.200.01  
при Інституті геофізики ім. С.І. Субботіна  
03680 м. Київ-142,  
проспект Палладіна, 32

### **Відгук**

офіційного опонента, доктора фізико-математичних наук, професора,  
завідувача кафедри цивільного захисту та комп'ютерного моделювання  
екогеофізичних процесів

Львівського державного університету безпеки життєдіяльності МНС України

**Юрія Петровича Стародуба на дисертаційну роботу Бургієва Рашіда Зетовича**  
**«МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ СЕЙСМІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ НА ОСНОВІ**  
**ЙМОВІРІСНИХ МОДЕЛЕЙ СЕЙСМІЧНОСТІ»** на здобуття наукового ступеня  
доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика

Дисертаційна робота Бургієва Рашіда Зетовича присвячена вирішенню теоретичних і практичних задач сейсмології в задачах оцінки сейсмічної небезпеки на основі ймовірнісних моделей сейсмічності. Вона є завершеною самостійною науково-дослідною роботою, що підтверджено наданими публікаціями.

**Актуальність роботи.** У дисертаційній роботі розроблена методологія вивчення сейсмічної небезпеки, яка має місце на сейсмонебезпечних територіях, яку потрібно прийняти якою вона є, такою, що зменшити її неможливо та сейсмічного ризику, який можна зменшити до прийняттого рівня. Тим самим забезпечивши населені території інформацією щодо небезпеки надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру та фахівців, які приймають рішення щодо захисту від надзвичайних ситуацій.

Швидко розвиваються фундаментальні дослідження сейсмічності і прогнозу сейсмічної небезпеки, які базуються на розвитку цифрових систем спостережень та передачі даних. Розробляються нові математичні моделі

сейсмічності, проекти сейсмостійкого будівництва та зменшення сейсмічного ризику, складання все більше інформативних нормативних прогнозних карт сейсмічної небезпеки. Детерміністичне прогнозування сейсмічної небезпеки в даний час є недостатньо ефективним, через те що параметри сейсмічності можна і необхідно трактувати як випадкові величини. Параметри сейсмічності можна задавати функціями розподілу. Емпіричні розподіли апроксимуються відповідними теоретичними функціями розподілів. Оцінка сейсмічної небезпеки набуває прогнозного характеру, який залежить від відомих параметрів вогнища землетрусу (географічні координати епіцентру, глибина джерела, магнітуда та функція загасання інтенсивності сейсмічного ефекту з відстанню). При ймовірнісному підході до аналізу сейсмічної небезпеки для визначення параметрів землетрусу використовуються відомості з каталогів землетрусів. Функція загасання визначена на основі макросейсмічних вимірювань — містить похибки, пов'язані з неврахованими факторами і невизначеностями, що є підставою на користь розвитку методів оцінки сейсмічної небезпеки з використанням ймовірнісного підходу.

Для сейсмонезбезпечної зони Вранча найбільшим ризиком є землетруси у верхній мантії, що виникають на значних глибинах до 200 км і здатні викликати в цьому регіоні землетруси магнітудою до 8 балів за шкалою MSK-64 та горизонтальне прискорення близьке до 0,2 g (прискорення земного тяжіння).

Пропонований метод ймовірнісного аналізу сейсмічної небезпеки (ЙАСН) включає в себе чотири основні етапи: На першому етапі, як і в методі детерміністичного аналізу сейсмічної небезпеки (ДАСН) визначаються сейсмічні зони і передбачається, що вогнища землетрусів розподілені з певною ймовірністю в мантії, де простягається зона вогнищ землетрусів. Це - основна відмінність ЙАСН від ДАСН. ЙАСН зафіксує найближчий до об'єкту активний розлом, у якому з ймовірністю рівною одиниці може виникнути джерело землетрусу. На другому етапі на основі марковської моделі ергодичного неперервного ланцюга сейсмічного режиму передбачається магнітуда землетрусу. Визначається середнє число землетрусів за фіксований період часу, у цьому випадку в ДАСН використовується закон повторюваності Гутенберга-

Ріхтера. На третьому етапі визначаються параметри загасання сейсмічного ефекту, аналіз сейсмічної небезпеки проводиться на основі макросейсмічної шкали бальності землетрусів МСК-64 в прискореннях зміщення ґрунту по будівельних нормах "EUROCODE 8". На четвертому етапі в радіусі дії групи зон підвищеної сейсмічності розраховується сумарна міра сейсмічної небезпеки для заданої географічної точки широти і довготи ( $\varphi, \psi$ ) у виді ймовірності  $P(\varphi, \psi)(t, n, m, I_k)$ , що залежить від числа  $n$  сейсмічних поштовхів, що можуть трапитись за час  $t$ ,  $m$  з яких матимуть інтенсивність  $I_k$ . Запропонована міра узагальнює відомі оцінки міри сейсмічної небезпеки. Метод застосовується для імовірнісного аналізу сейсмічної небезпеки територій Молдови, Румунії та Туреччини.

**Новизна роботи.** У роботі була запропонована нова, раніше не використовувана геофізична математизована методологія розрахунку сейсмічної небезпеки (ЙАСН), що дозволяє розрахувати сейсмічну небезпеку в населених пунктах у радіусі активності групи зон підвищеної сейсмічності і побудувати карту сейсмічного районування великих територій.

Для виявлення сейсмічних зон застосовано кластерний аналіз; статистична марковська модель застосована в сейсмології для вивчення сейсмічності, що дозволяє передбачити ймовірне місце виникнення і магнітуду землетрусів у сейсмічних зонах. Вивчено статистичний зв'язок між балканськими сейсмічними зонами. Макросейсмічне поле апроксимоване кривими другого порядку. Показана еліптичність макросейсмічного поля у випадку підкорових землетрусів із зони Вранча. Проведено статистичний аналіз макросейсмічного поля. Розроблена модель загасання інтенсивності поштовхів та визначені регіональні значення коефіцієнтів рівняння загасання інтенсивності струшувань на прикладі землетрусів із зони Вранча. Розроблений метод картування сейсмічної небезпеки на основі найбільш інформативної міри потенційної сейсмічної загрози, як ймовірності виникнення в географічній точці певної широти і довготи ( $\varphi, \psi$ )  $n$  сейсмічних поштовхів за час  $t$  та  $m$  поштовхів з інтенсивністю  $I_k$ . Проведено аналіз сейсмічної небезпеки та побудована загальна карта сейсмічної небезпеки для статистично зв'язаних балканських сейсмічних зон територій Молдови, Румунії, Болгарії та Туреччини.

**Для реалізації поставленої мети були сформульовані та вирішені наступні задачі:** застосований кластерний аналіз для виділення зон землетрусів, що створюють загрозу для населення в певній точці  $Q$  з географічними координатами заданої широти і довготи ( $\phi, \psi$ ); проведений статистичний аналіз макросейсмічного поля, розроблена ймовірнісна модель сейсмічного режиму зон джерел землетрусів з параметрами землетрусів: географічні широта і довгота епіцентрів, глибина, магнітуда землетрусів і частота виникнення сейсмічних подій. Розроблений алгоритм і програма розрахунку загасання інтенсивності сейсмічних впливів з відстанню; досліджено статистичний зв'язок між параметрами землетрусів і сейсмічними зонами на прикладі балканських сейсмічних зон. Теорія часових рядів застосована для дослідження стаціонарності сейсмічності, алгоритму та обчислювальної програми для розрахунку і картування сейсмічної небезпеки.

**Обґрунтованість та достовірність** отриманих результатів забезпечується:

- Математичними викладки при побудові розглянутих математичних моделей оцінки сейсмічної небезпеки на основі ймовірнісних моделей сейсмічності;

- Застосуванням відповідних математичних методів (статистики Гумбеля, Монте-Карло, статистичного аналізу ROMPLUS) при отриманні теоретичних оцінок параметрів розглянутих моделей;

- Використанням для отримання оцінки якості запропонованих моделей достовірних експериментальних даних із розробленими тестовими критеріями перевірки правдоподібності гіпотез з арсеналу математичної статистики;

- Достовірність отриманих у дисертаційній роботі результатів підтверджується їх узгодженістю з експериментальними даними - виникненням землетрусів, що базуються на сейсмічних спостереженнях.

**Теоретичне та практичне значення:**

- Теоретичне значення дисертаційної роботи полягає в підході до аналізу сейсмічної небезпеки: запропонована нова повна ймовірнісна міра сейсмічної небезпеки та розроблено метод розрахунку сейсмічної небезпеки для територій, розташованих в радіусі впливу групи сейсмічних зон, запропонована методика

побудови карти сейсмічного районування територій. На цій основі розроблена методика вирішення задачі сейсмічного районування, яка надає найбільш повну інформацію про сейсмічну небезпеку.

Практичне значення отриманих результатів полягає в розробленні методології, яка дозволяє розрахувати сейсмічну небезпеку в населених пунктах, розташованих у радіусі впливу групи сейсмічних зон, і побудувати карту сейсмічного районування для територій Європи. Даний підхід передбачає застосування комп'ютерного моделювання на наступних етапах визначення сейсмічної небезпеки: статистичного аналізу макросейсмічних даних, виділення сейсмічних зон, побудови ймовірнісних моделей сейсмічного стану, дефініції функції загасання інтенсивності сейсмічних впливів, обчислення і картування сейсмічної небезпеки.

**До недоліків роботи можна віднести:**

1. Можливо треба було б приділити більше уваги питанням застосування запропонованої автором методології на сусідніх з Молдовою територіях – Одеській, Чернівецькій, Івано-Франківській та Закарпатській областях України, де в селі Тросник біля містечка Виноградове проводяться перманентні геофізичні, зокрема, сейсмічні дослідження на геофізичній станції ІГФ НАН України.
2. При знаходженні глобального мінімуму критерію віддаленості моделі від спостережених даних у запропонованому методі ймовірнісного аналізу сейсмічної небезпеки (ЙАСН) передбачається, що вогнища землетрусів розподілені з певною ймовірністю в геофізичному просторі, однак, незрозуміло як використовується широке розмаїття розподілів при використанні методу Монте-Карло.
3. В авторефераті мають місце деякі недоречності оформлення; наприклад: повторюваність фрази «горизонтальне прискорення близьке або, що перевищує 0,2 g» в авторефераті в розділі «Актуальність»; наприклад, у підписах до рисунків 2.5, 2.7, 2.5.5, 2.8, 3.1 осі не позначені, хоча в дисертації постійно йде мова про параметри ( $\phi, \psi$ ) –

географічні широту і довготу, на рис.4.2 не позначений масштаб, на рисунках не нанесені «роза вітрів», що визначає сторони світу.

Підсумовуючи, стверджую наступне:

**Дисертація Буртієва Рашіда Зетовича - завершена робота**, дисертаційна робота і її автореферат написані грамотною українською мовою, в напрямку дослідження автор опирається на необхідні нові літературні джерела, робота відрізняється актуальністю, новизною і значимістю отриманих результатів, має велике теоретичне і практичне значення в сейсмології. Наявність зауважень і недоліків не знижує значення роботи в цілому. Дисертація відповідає вимогам «Про затвердження Порядку присудження наукових ступенів», затвердженого Постановою Кабінету Міністрів України від 24 липня 2013 р. №567 (із змінами), а її автор **Буртієв Рашід Зетович заслуговує на присудження йому наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика.**

Доктор фізико-математичних наук, професор,

Академік української нафтогазової академії,

Завідувач кафедри цивільного захисту та комп'ютерного моделювання екогеофізичних процесів Львівського державного університету безпеки життєдіяльності ДСНС України



**Ю.П. Стародуб**

Підпис затверджую  
Начальник  
відділу  
персоналу  
" " 20 р

