

## ВІДГУК

офіційного опонента, доктора фізико-математичних наук, професора, професора кафедри цивільного захисту і комп'ютерного моделювання екогеофізичних процесів Львівського державного університету безпеки життєдіяльності

### **Стародуба Юрія Петровича**

на дисертаційну роботу Семенової Юлії Володимирівни

«Фізичні параметри коливань ґрунтів в задачах сейсмічного районування»,

висунуту на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук

за спеціальністю 04.00.22 – Геофізика

Дисертаційна робота Семенової Ю.В. присвячена розвитку і вдосконаленню існуючих практичних питань і теорії сейсмічного районування із врахуванням впливу емпіричних геофізичних параметрів коливань ґрунтів територій з недостатнім забезпеченням даних інструментальних вимірювань. Розроблений метод дозволяє перейти від розрахунків споруд на сейсмостійкість з врахуванням сейсмічної інтенсивності землетрусів в балах від опису категорій ґрунтів із певними сейсмічними властивостями до геофізичних параметрів прогнозованих коливань масивів. Новий удосконалений метод випробувано на практиці на об'єктах міста Києва.

**Актуальність роботи.** Основною причиною руйнування споруд при сейсмічних впливах є реакція об'єктів на коливання ґрунтової основи. Тому аналіз сейсмічного стану ґрунтів, моделювання та прогноз техногенної поведінки споруд на конкретних ділянках головною задачею концепції сейсмостійкого проєктування і будівництва, приймає ще більшого значення з появленням нових комп'ютерних технологій і чисельних методів.

Актуальність досліджень дисертаційної роботи обумовлена необхідністю розвитку і вдосконалення існуючих наукових і теоретичних основ методики сейсмічного районування територій крупних агломерацій та промислових об'єктів території України з визначенням фізичних параметрів прогнозованих коливань

грунту та ефективного використання методів розрахунку сейсмостійкості будинків, споруд, окремих спеціальних об'єктів.

Існуючі підходи до сейсмічного районування територій у багатьох країнах робиться в фізичних параметрах коливань ґрунтів замість оцінки балів сейсмічної інтенсивності, так як ці дані є потрібними для розроблення проектів надійної сейсмостійкості будівництва та перевірки сейсмостійкості існуючих об'єктів. Найточніший спосіб побудови карт сейсмічного районування територій опирається на застосування результатів інструментальних досліджень. Труднощі в застосуванні названого підходу полягають у недостатній кількості інструментальних даних у дослідженнях на території України в даний час. Перерахунок бальності в фізичні параметри ґрунтів з використанням спектрального методу розрахунку сейсмостійкості суперечить геофізичній практиці, що доводиться на основі досліджень наслідків від землетрусів. Тому розроблений дисертанткою метод сейсмічного районування з визначенням фізичних параметрів території з неповним забезпеченням інструментальних даних вирішує проблему та дозволяє завдавати сейсмічну небезпеку в фізичних параметрах коливань ґрунтів у пікових прискореннях ґрунту або спектрах реакції ґрунтів на антисейсмічних площадках замість несистемних одиниць – балів сейсмічної інтенсивності.

**Метою дисертаційної роботи** Семенової Ю.В. є розробка методу теорії основ і методики сейсмічного районування територій на прикладі великих агломерацій і техногенних об'єктів України в фізичних параметрах прогнозованих коливань ґрунтів.

**З такою метою були сформульовані та вирішені наступні завдання:**

– проаналізовані існуючі підходи та виявлені перспективні шляхи проблеми прогнозування амплітудних і спектральних параметрів коливань ґрунту в задачах сейсмічного районування для територій зі слабкою сейсмічністю і недостатнім забезпеченням даними інструментальних спостережень;

– на основі аналізу опублікованих і фондкових матеріалів і результатів теоретичного моделювання досліджено вплив фільтруючих властивостей ґрунтів на динамічні характеристики сейсмічних коливань;

– у рамках розроблених методів розрахунку будівель і споруд на сейсмостійкість опрацьовано теоретичні і методичні основи переходу до фізичних параметрів прогнозованих коливань ґрунту на заміну макросейсмічної шкали інтенсивності землетрусів в балах;

– розроблено методику визначення поправочного коефіцієнта з метою застосування спектрального методу для розрахунку об'єктів на сейсмічні впливи, з огляду, що поправочний коефіцієнт враховує фільтруючі властивості ґрунту і механізми трансформації сейсмічних хвиль у шаруватому ґрунтовому середовищі;

– виділено таксонометричні відносно однорідні ділянки (інженерно-геологічним методом сейсмогеологічних аналогій) у межах території Києва та побудовано геолого-геофізичні математичні моделі виділених ділянок для аналізу їх сейсмічної реакції;

– побудовано карту поправочних коефіцієнтів для врахування особливостей реакції ґрунтових товщ на сейсмічні впливи різної інтенсивності Для території Києва;

– проведено динамічний аналіз сейсмічних коливань у сейсмогеологічних моделях таксонометричних ділянок та виділено в них сейсмічно слабкі шари;

– визначено спектральний склад коливань на вільній поверхні таксонометричних ділянок та максимальний рівень амплітуди у фізичних параметрах коливань (пікових прискореннях - PGA, пікових швидкостях - PGV, пікових зміщеннях - PGD);

- розроблено методику побудови математичних моделей коливань шаруватих ґрунтів, що описуються параметрами, залежними від деформації, яка враховує типову класифікацію, узгоджену з рекомендаціями МАГАТЕ, необхідну для практичного аналізу сейсмічної реакції ґрунтів, характерних для майданчиків промислових об'єктів на території України;

– розроблену методику побудови математичних моделей коливань шаруватого ґрунту з врахуванням нелінійного деформування для визначення сейсмічної небезпеки ряду Впроваджено на ряді важливих об'єктів на території України.

### ***Наукова новизна результатів роботи.***

У дисертаційній роботі розроблено алгоритм аналітико-емпіричного методу переходу від використання сейсмічної інтенсивності в балах і категорії ґрунту за сейсмічними властивостями до фізичних параметрів коливань ґрунту в задачах сейсмічного районування для територій зі слабкою та помірною сейсмічністю з недостатнім забезпеченням даними інструментальних спостережень. Розроблений алгоритм реалізовано на прикладі території Києва.

Розроблено методику розрахунку поправочних ґрунтових коефіцієнтів, які враховують нелінійне деформування ґрунту і зміну сейсмічних жорсткостей в шаруватій ґрунтовій товщі. Наявність обґрунтованих поправочних коефіцієнтів вдосконалює спектральний метод розрахунку будівель та споруд на сейсмостійкість.

Дисертанткою в межах території Києва виділено таксонометричні ділянки та побудовано математичні сейсмогеологічні моделі ґрунтового розрізу цих ділянок з нелійними характеристиками (кривими зменшення модуля зсуву та збільшення коефіцієнта поглинання від деформації зсуву). Визначено частотні характеристики моделей таксонометричних ділянок і розраховано усереднену частотну характеристику для ґрунтових умов території Києва. Розраховано інтегральні спектральні підсилення для усередненої частотної характеристики та кожної таксонометричної ділянки. Виділено сейсмічно слабкі шари в ґрунтових розрізах території Києва фрагменту Київ М-36-ХІІІ геологічної карти ДНВП "Геоінформ України". До таких ґрунтів дисертанткою віднесено моренні відклади з включеннями супісків у приповерхневому заляганні потужністю від 10 м та прошарки, складені алювіальним піском, потужністю від 30 м.

У результаті досліджень зроблено висновок, що при меншій потужності ґрунти можна вважати потенційно сейсмічно слабкими при прогнозованих

сейсмічних впливах, більших ніж  $0,06g$ , оскільки при зондуванні сейсмічними впливами з максимальною амплітудою до  $0,06g$  спостерігались високі значення максимального коефіцієнта поглинання, проте без високих значень деформації зсуву.

Для території Києва побудовано карту розподілу коефіцієнта інтегрального підсилення сейсмічних коливань ґрунтами. Коефіцієнти інтегрального підсилення дисертанткою запропоновано використовувати в якості поправочних ґрунтових коефіцієнтів для території Києва в методах розрахунку будівель і споруд на аварійні сейсмічні навантаження. Використання поправочних ґрунтових коефіцієнтів, замість традиційної карти СМР, побудованої за методом інженерно-сейсмологічних аналогій, виключає необхідність надалі робити штучні переходи від категорії ґрунту за сейсмічними властивостями та позасистемної сейсмічної інтенсивності до фізичних параметрів прогнозованих коливань ґрунту в методах розрахунку конструкцій на сейсмостійкість.

Отримано на основі розроблених алгоритмів і методики розв'язки задачі сейсмічного районування території Києва в фізичних параметрах коливань ґрунту. Побудовано карту сейсмічного зонування Києва в пікових прискореннях ґрунту PGA для випадку сейсмічних впливів з максимальною амплітудою до  $0,06g$ . Визначено спектральні характеристики сейсмічних коливань таксонометричних ділянок Києва. Kartu розподілу PGA рекомендовано використовувати в інженерних цілях додатково з розрахованими спектральними характеристиками кожної таксонометричної ділянки. Для цього розраховано амплітудні спектри Фур'є, спектри реакції з 5% згасанням на 26 сейсмічних рухів, заданих акселерограмами, пронормованими по амплітуді до  $0,06g$ . Виділено таксонометричні ділянки, що характеризуються найбільшими значеннями спектрального прискорення.

При оцінці сейсмічної небезпеки ряду відповідальних об'єктів впроваджено методику побудови математичних моделей шаруватої ґрунтової товщі, яка відповідає вимогам МАГАТЕ і враховує нелінійне деформування ґрунту. Це об'єкти: Ташлицька гідроакумуюча станція, Канівська ГЕС, Запорізька АЕС,

Южно-Українська АЕС, Середньодніпровська ГЕС та компресорна станція «Яготин». Для перерахованих об'єктів Семеновою Ю.В. визначено прогнозовані (очікувані) кількісні параметри сейсмічної небезпеки: амплітудний та спектральний склад сейсмічних коливань ґрунтів у основі відповідальних споруд.

**Дисертаційна робота** Семенової Ю.В. складається з шести розділів, анотації, вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та двох додатків.

У *вступі* дисертанткою обґрунтовується актуальність роботи, формуються мета та основні завдання дослідження, вказується наукова новизна отриманих результатів, їх практичне застосування та особистий внесок здобувача. Подано загальну структуру дисертації, зв'язок з науковими темами. Наведено дані про апробацію результатів.

У *першому розділі* аналізується розвиток досліджень впливу локальних ґрунтів на сейсмічний ефект при можливому землетрусі та формування сучасних принципів оцінки параметрів коливань ґрунтової основи. Аналізуються та порівнюються методи розрахунку фізичних параметрів коливань ґрунту в практиці сейсмічного мікрорайонування України та інших країн. Обґрунтовується недосконалий та некоректний підхід до визначення параметрів сейсмічної небезпеки в методах розрахунку будівель та споруд на сейсмічні впливи. Пропонується використовувати розрахункові ґрунтові коефіцієнти отримані з використанням чисельного моделювання сейсмічної реакції ґрунтів у якості поправочних коефіцієнтів за рахунок впливу місцевих ґрунтів на трансформацію в них сейсмічних хвиль.

У *другому розділі* розглянуто широкий спектр фізичних параметрів сейсмічних коливань ґрунтів і їх використання в задачах сейсмічного районування. Обґрунтовується факт про те, що для адекватного та коректного опису важливих характеристик конкретного сейсмічного коливання ґрунтів і визначення їх потенціалу сейсмічної небезпеки для конкретної споруди зазвичай потрібно кілька параметрів, які б описували як амплітудний так і спектральний склад коливання.

*У третьому розділі* розглянуто теоретичні основи методів аналізу сейсмічної реакції шаруватого ґрунтів у задачах інженерної сейсмології. Приводяться розв'язки задачі сейсмічної реакції ґрунтів у часовій та частотній областях. Аналізуються основні параметри ґрунтів, які визначають форму гістерезисних функцій напружень-деформацій: модуль зсуву, максимальний модуль зсуву, закон зменшення модуля зсуву при навантаженні ґрунту, коефіцієнт поглинання, максимальний коефіцієнт поглинання закон збільшення коефіцієнт поглинання зі збільшенням амплітуди зсувної деформації. Описано особливості визначення цих параметрів у лабораторних і польових експериментах, і вплив на них інженерно-геологічних умов залягання ґрунтів та умов їх навантаження. Розроблено методику для побудови математичних моделей коливань шаруватих ґрунтів, що описуються параметрами, залежними від рівня деформації, які враховують прийняту типову класифікацію, узгоджену з рекомендаціями МАГАТЕ для реалістичного аналізу сейсмічної реакції ґрунтових комплексів, характерних для майданчиків промислових об'єктів на території України. Виділено показники характеристики ґрунтів для встановлення відповідності прийнятих МАГАТЕ щодо класифікацій ґрунтів. До основних показників при визначенні зміни нелінійних параметрів ґрунтів із збільшенням деформації кожного ґрунтового шару дисертанткою віднесено геологічний вік, глибину залягання і глибину залягання відносно відмітки рівня ґрунтових вод.

*У четвертому розділі* Семеновою Ю.В. розглянуто механізми трансформації сейсмічних хвиль при поширенні в шаруватій ґрунтовій товщі. Представлено результати досліджень дисертантки щодо впливу зміни окремих параметрів властивостей ґрунтової товщі (вологості, ущільнення наявного в розрізі піску та оголення ґрунтової товщі до корінної породи) на спектральні характеристики коливань ґрунтів. Зокрема, дисертанткою отриманий висновок про те, що ущільнення піску призводить до зменшення ширини частотного діапазону підсилення сейсмічних коливань та перекачування енергії в більш високочастотну область, що вказує на покращення несучої здатності насипного піску як ґрунтової основи. Збільшення вологості як глинистих, так і піщаних

ґрунтів призводить до розширення спектральної області та перекачування енергії в більш низькочастотну область. Розширення спектральної області зі збільшенням вологості є більш чутливим для пісків порівняно з глинистими ґрунтами.

У *п'ятому розділі* дисертанткою розроблено алгоритм розв'язку задачі сейсмічного районування територій в амплітудних та спектральних параметрах прогнозованих коливань ґрунтів та реалізовано на прикладі території Києва. Методом сейсмогеологічних аналогій дисертанткою виділено таксонометричні ділянки в межах Києва, визначено їх сейсмічні властивості та нелінійні характеристики (криві зменшення модуля зсуву та збільшення коефіцієнта поглинання від деформації зсуву). Побудовано математичні сейсмогеологічні моделі виділених таксонометричних ділянок. Визначено частотні характеристики таксонометричних ділянок Києва. Розраховано усереднену частотну характеристику ґрунтових умов території Києва з врахуванням нелінійного деформування ґрунтів при сейсмічних навантаженнях. Виконано чисельний динамічний аналіз поширення сейсмічних коливань у сейсмогеологічних моделях та виділено сейсмічно слабкі шари в ґрунтових розрізах території Києва. Побудовано карту розподілу коефіцієнта інтегрального підсилення сейсмічних коливань ґрунтами для території Києва. Коефіцієнти спектрального підсилення запропоновано використовувати в якості поправочних ґрунтових коефіцієнтів в методах розрахунку будівель і споруд на аварійні сейсмічні навантаження. Поправочні ґрунтові коефіцієнти враховують контрастність зміни сейсмічної жорсткості на границях між шарами ґрунтової товщі та особливості нелінійного деформування кожного ґрунтового шару моделі. Використання для цілей сейсмічного захисту карти розподілу по території досліджуваного будівельного майданчика поправочних ґрунтових коефіцієнтів, замість традиційної карти, побудованої за методом інженерно-сейсмологічних аналогій, виключає необхідність у подальшому робити штучні переходи від позасистемної сейсмічної інтенсивності до фізичних характеристик прогнозованих коливань ґрунтів. Розраховані прогнозні (очікувані) амплітудні і спектральні параметри сейсмічних коливань поверхні таксонометричних ділянок Києва. Побудовано карту



сейсмічного зонування Києва в пікових прискореннях ґрунту (PGA) при прогнозованих сейсмічних впливах з максимальною амплітудою до 0,06g. Карту розподілу PGA рекомендовано використовувати в інженерних цілях додатково з розрахованими спектральними характеристиками кожної таксонометричної ділянки.

У шостому розділі наведено результати впровадження розробленої дисертанткою методики побудови математичних моделей шаруватого ґрунту з нелінійними параметрами, залежними від рівня деформації, та алгоритму розрахунку нелінійної сейсмічної реакції шаруватого ґрунту при уточненні кількісних параметрів сейсмічної небезпеки ряду відповідальних споруд України (Ташлицької ГАЕС, Середньодніпровської ГЕС, Южно-Української АЕС, Запорізької АЕС, компресорної станції «Яготин», Канівської ГЕС). Чисельний аналіз сейсмічної реакції моделей шаруватого ґрунту на сейсмічні впливи виконано із застосуванням еквівалентної лінійної моделі з використанням програмного забезпечення ProShake.

**До недоліків можна віднести:**

1. У роботі регулярно застосовується термін «фільтруючі властивості ґрунтів». Варто було б привести визначення цього терміну, що саме автор вкладає в цей термін в дисертаційній роботі.

2. Термін таксонометричні ділянки часто зустрічається в роботі, варто було б скороти до ТД і винести до умовних скорочень.

3. Варто було б більш детально описати методику виділення таксонометричних ділянок в межах території Києва, та можливо привести в дисертаційній роботі проміжні результати. Адже поділ території Києва на ділянки суттєво різні за сейсмічними властивостями – є вагомим результатом, і детальний опис методики їх виділення покращив би сприйняття проведеної дисертанткою роботи. Зокрема, на картах таксонометричних ділянок, спектрального підсилення ґрунтів, пікових прискорень ґрунту варто вказати напрямом на Північ.

4. В роботі часто зустрічаються термін «частотні характеристики», але при цьому автор не уточнює, що маються на увазі саме амплітудно-частотні

характеристики а не фазові. Варто було б надати пояснення і лише потім вживати скорочений варіант, зокрема, показати як відносяться отримані результати до спектрально-часового аналізу коливань.

5. У тексті доволі часто зустрічаються помилки у вживанні прийменників «у, в, з, із, зі», що стосується задоволення правила милозвучності української мови.

Не зважаючи на висловлені зауваження, наявність зауважень і недоліків не є суттєвою і не знижує цінності роботи в цілому.

Оцінюючи дисертаційну роботу Семенової Ю.В., в цілому можна зробити наступні висновки:

- Дисертаційна робота є завершеною самостійною науковою працею.
- Наукова новизна роботи в повній мірі підтверджена отриманими результатами з використанням сучасних технічних та програмних засобів.
- Загальна методологія і методика дисертаційної роботи новітня і має високий науковий рівень.
- Отримані результати мають наукове і практичне значення в задачах прикладної геофізики, в задачах із оцінки сейсмічної небезпеки майданчиків досліджуваних територій. Важливим є те, що результати дисертаційної роботи мають високий рівень впровадження в практику проведення робіт з оцінки сейсмічної небезпеки важливих та потенційно небезпечних об'єктів, зокрема, на території України.

Основні положення та висновки дисертації викладено в 46 публікаціях у фахових виданнях в Україні та іноземних виданнях, зокрема, 2 розділи в монографіях (видавництво “Springer”), 28 статей у фахових журналах та 16 тез доповідей на міжнародних конференціях. 8 робіт здобувачки індексуються в наукометричній базі SCOPUS та 9 у Web of Science.

Зміст автореферату ідентичний змісту основних положень дисертації.

Вважаю, що дисертаційна робота «Фізичні параметри коливань ґрунтів в задачах сейсмічного районування» Семенової Ю.В., яка присвячена розв'язанню важливої актуальної геофізичної проблеми, виконана на високому науковому

рівні, містить оригінальні та важливі наукові результати, відповідає вимогам пп. 9, 10, 12, 13 «Порядку присудження наукових...» (Постанова Кабінету Міністрів України від 24.07.2013 р. № 567), вимогам наказу № 40 від 12.01.2017 р. «Про затвердження вимог до оформлення дисертацій» та іншим нормативним актам Міністерства освіти і науки щодо докторських дисертацій, а її авторка Семенова Ю.В. заслуговує на присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук  
по спеціальності «04.00.22 – геофізика»,  
професор, професор кафедри цивільного захисту  
і комп'ютерного моделювання  
екогеофізичних процесів Львівського державного  
університету безпеки життєдіяльності,  
академік Української нафтогазової академії

 Ю.П. Стародуб

*Підпис проф. Ю.П. Стародуба*

*Учений секретар*

*15.09.2021.*



*Роман ЛАВРЕЦЬКИЙ*