

ВІДГУК

офіційного опонента доктора геологічних Лісного Георгія Дмитровича на дисертаційну роботу Семенової Юлії Володимирівни «Фізичні параметри коливань ґрунтів в задачах сейсмічного районування» подану на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика (103 – науки про Землю).

Актуальність теми роботи та зв'язок з науковими програмами, планами, темами.

В дисертаційній роботі Семенової Юлії Володимирівни вирішується актуальна наукова проблема прикладної геофізики – розвиток методики сейсмічного районування у фізичних параметрах коливань ґрунту територій з недостатнім забезпеченням даними інструментальних спостережень. Методика вирішує проблему відійти від використання сейсмічної інтенсивності землетрусів в балах і категорії ґрунту за сейсмічними властивостями при розрахунках будинків та споруд на сейсмостійкість та дозволяє задавати параметри сейсмічної небезпеки у фізичних параметрах прогнозованих коливань ґрунту.

На сьогодні для оцінки сейсмічних впливів у більшості країн використовуються карти сейсмічного районування в термінах амплітудних параметрів коливань ґрунту замість традиційних балів сейсмічної інтенсивності. Найточніший спосіб побудови таких карт базується на застосуванні даних інструментальних спостережень. Для території України застосування такого методу є неможливим через недостатню кількість інструментальних даних.

Отже, актуальність досліджень дисертаційної роботи обумовлена необхідністю розвитку і вдосконалення існуючих емпіричних і теоретичних основ методики сейсмічного районування територій крупних агломерацій та промислових об'єктів на території України у фізичних параметрах прогнозованих коливань ґрунту для ефективного використання методів розрахунку сейсмостійкості будинків, споруд та окремих відповідальних конструкцій.

Дисертаційна робота і дослідження автора пов'язані з десятком наукових тем Інституту геофізики.

Обґрунтованість та достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації.

При побудові математичних сейсмогеологічних моделей шаруватого ґрунту та чисельному моделюванні його сейсмічної реакції з урахуванням нелінійного деформування використані загальновідомі положення теорії в'язкопружності та теорії поширення сейсмічних хвиль у шаруватому середовищі, рішення хвильового рівняння руху в частотній області, пряме і зворотне перетворення Фур'є, еквівалентно-лінійна модель врахування емпіричних нелінійних модуля зсуву і коефіцієнта поглинання в ґрунтових шарах, залежних від зсувної деформації. Достовірність і обґрунтованість результатів і висновків забезпечується чіткою фізичною та математичною постановкою задачі, комплексним теоретичним та практичним обґрунтуванням шляхів розв'язку визначеної проблематики, дотриманням початкових умов та обмежень математичного моделювання сейсмічної реакції шаруватого ґрунту, застосуванням строгих математичних розрахунків і використанням в повній мірі емпіричних даних.

Наукова новизна отриманих результатів відображена у наступних п'яти пунктах.

1. Вперше розроблено алгоритм аналітично-емпіричної методики 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.

2. Вперше розроблено нову оригінальну методику розрахунку поправочних ґрунтових коефіцієнтів, які враховують нелінійне деформування ґрунту і зміну сейсмічних жорсткостей в шаруватому ґрунті для вдосконалення спектрального методу розрахунку будівель та споруд на сейсмостійкість;

3. Вперше виділено таксонометричні ділянки в межах Києва, для яких побудовано математичні сейсмогеологічні моделі ґрунтового розрізу з нелінійними 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.

4. Вперше виділено сейсмічно слабкі шари в ґрунтових розрізах території Києва фрагменту Київ М-36-ХІІІ геологічної карти ДНВП "Геоінформ України". До таких ґрунтів віднесено моренні відклади з включеннями супісків у приповерхневому заляганні потужністю від 10 м та прошарки, складені алювіальним піском, потужністю від 30 м. При меншій потужності ці 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.

5. Вперше побудовано для території Києва карту розподілу коефіцієнта інтегрального підсилення сейсмічних коливань ґрунтами. Коефіцієнти інтегрального підсилення 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.

6. Вперше на основі розроблених алгоритмів і методик отримано розв'язки задачі сейсмічного районування території Києва у фізичних параметрах коливань ґрунту.

7. Вперше 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. Карту 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.

8. Вперше впроваджено при оцінці сейсмічної небезпеки ряду відповідальних об'єктів методику побудови математичних моделей шаруватої ґрунтової товщі, яка відповідає вимогам МАГАТЕ і враховує нелінійне деформування ґрунту. Це такі об'єкти, як: Ташлицька гідроакумуюча станція, Канівська ГЕС, Запорізька АЕС, Южно-Українська АЕС, Середньодніпровська ГЕС та компресорна станція «Яготин». Для перерахованих об'єктів визначено прогнозовані (очікувані) кількісні параметри сейсмічної небезпеки: амплітудний та спектральний склад сейсмічних коливань ґрунтів в основі відповідальних споруд.

Наукове і практичне значення отриманих результатів.

Ефективне вирішення проблеми захисту від небезпечних сейсмічних впливів є можливим лише на основі надійного встановлення закономірностей їх прояву на конкретних майданчиках. Запропонована удосконалена методика сейсмічного районування територій крупних агломерацій та промислових об'єктів на території України у фізичних параметрах прогнозованих коливань ґрунту значно підвищить ефективність та обґрунтованість використання методів

розрахунку сейсмічних навантажень на будинки, споруди та окремі відповідальні конструкції.

Розроблену методику побудови математичних моделей шаруватого ґрунту з нелінійними, залежними від рівня деформації параметрами та алгоритм розрахунку нелінійної сейсмічної реакції шаруватого ґрунту впроваджено в підрозділах ПрАТ «Укргідроенерго», НАЕК «Енергоатом», ДП «Науково-дослідний інститут будівельного виробництва», ДП «Сейсмобуд» при геофізичному забезпеченні сейсмостійкості Ташлицької ГАЕС, Кременчуцької ГЕС, Канівської ГАЕС, Середньодніпровської ГАЕС, Южно-Української АЕС, Запорізької АЕС, компресорної станції «Яготин» та інших відповідальних об'єктів.

Оцінка змісту, стилю та мови роботи, її завершеності та оформлення.

У **вступі** обґрунтовується актуальність роботи, формулюється 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 **розділі 1** аналізується розвиток досліджень впливу місцевих ґрунтів на сейсмічний ефект та формування сучасних принципів оцінки параметрів коливань ґрунтової основи. Розглядається формування сучасних принципів сейсмічного захисту та аналізується сучасна концепція сейсмічного захисту населення та важливих об'єктів території України. Аналізуються та порівнюються методи розрахунку фізичних параметрів коливань ґрунту в практиці сейсмічного мікрорайонування України та інших країн (США, Китай, Канада, країни Європи і ін.). Згідно з ДБН В.1.1-12:2014 (Будівництво,...2014), розрахунки споруд на аварійне сполучення навантажень з урахуванням сейсмічного впливу слід виконувати із використанням спектрального, прямого динамічного або нелінійного статичного методу. Обґрунтовується некоректність сучасного підходу щодо сейсмічного районування території України в балах макросейсмічної шкали сейсмічної інтенсивності, в якості вихідної інформації для методів розрахунку

будинків і споруд на сейсмічні впливи. Приводиться обґрунтування необхідності задання сейсмічної небезпеки в термінах фізичних параметрів коливань ґрунтів, оскільки саме їх потребують сучасні методи розрахунку споруд на сейсмостійкість. Запропоновано використання поправочних ґрунтових коефіцієнтів, отриманих з використанням чисельного моделювання сейсмічної реакції, які враховують інформацію про сейсмічні жорсткості шаруватої ґрунтової товщі, контрастність жорсткостей на границях між шарами та потужність осадових відкладів. Перевага цих ґрунтових коефіцієнтів полягає в тому, що їх використання дає змогу перейти до обґрунтованого принципово нового опису взаємозв'язку властивостей ґрунту і фізичних параметрів сейсмічної небезпеки в методах розрахунку споруд на сейсмостійкість з використанням безперервних (не дискретних) величин.

У розділі 2 розглянуто широкий спектр фізичних параметрів сейсмічних коливань ґрунту і їх використання в задачах сейсмічного районування. Аналізуються найбільш важливі параметри сейсмічних коливань ґрунту для інженерних розрахунків сейсмостійкого проєктування та будівництва. Розглядається ідея використання спектрів максимальних реакцій для оцінки сейсмічних впливів. Приводиться чисельний розв'язок задачі розрахунку спектра реакції одиничних осциляторів. Аналізується метод визначення коефіцієнтів підсилення та коефіцієнтів динамічності виходячи з концепції спектрів максимальних реакцій на сейсмічні навантаження. Приводиться обґрунтування необхідності опису важливих характеристик конкретного сейсмічного коливання ґрунту і визначення його потенціалу сейсмічної небезпеки для конкретної споруди кількома параметрами, які б описували як амплітуди так і спектральний склад коливання.

Теоретичні основи методів аналізу сейсмічної реакції шаруватого ґрунту в задачах інженерної сейсмології розглянуто у **третьому розділі**. Розглядаються моделі поведінки ґрунту при сейсмічному навантаженні в комп'ютерних програмах нелінійного аналізу сейсмічної реакції. Також приводяться розв'язки задачі прогнозування сейсмічної реакції шаруватої ґрунтової товщі в часовій та

частотній областях. Аналізуються основні параметри ґрунту, які визначають форму гістерезисних залежностей напруження-деформація. Розроблено методику для побудови математичних моделей коливань шаруватого ґрунту, що описуються параметрами, залежними від рівня деформації, які враховують прийняту типову класифікацію, узгоджену з рекомендаціями МАГАТЕ для реалістичного аналізу сейсмічної реакції ґрунтових комплексів, характерних майданчикам промислових об'єктів на території України. Виділено показники характеристики ґрунту для встановлення відповідності прийнятих МАГАТЕ класифікаціям ґрунтів. До основних показників при визначенні зміни нелінійних параметрів ґрунту зі збільшенням деформації кожного ґрунтового шару дисертантом віднесено: геологічний вік, глибина залягання і глибина залягання відносно відмітки рівня ґрунтових вод тощо.

У **розділі 4** розглянуто механізми трансформації сейсмічних хвиль при поширенні у шаруватій ґрунтовій товщі. Пояснюються ефекти підсилення та послаблення сейсмічних коливань приповерхневими ґрунтами. Пояснюється вплив тонких шарів на трансформацію сейсмічних коливань. В розділі представлено результати дослідження впливу зміни вологості моделей реальних ґрунтових товщ на сейсмічний ефект. Дослідження проведено з використанням чисельного моделювання поведінки ґрунту в умовах сейсмічного навантаження. Виявлено, що збільшення вологості як глинистих, так і піщаних ґрунтів призводить до розширення спектральної області та перетоку енергії в більш низькочастотну область. Розширення спектральної області зі збільшенням вологості є більш чутливим для пісків порівняно з глинистими ґрунтами. Представлено результати дослідження впливу ущільнення (консолідації) намівного та насипного піску на сейсмічну реакцію при динамічному навантаженні. Виявлено, що ущільнення піску призводить до зменшення ширини частотного діапазону підсилення сейсмічних коливань та перетоку енергії в більш високочастотну область, що вказує на покращення несучої здатності насипного піску як ґрунтової основи. Також в результаті чисельного моделювання сейсмічної реакції моделей ґрунтової товщі Ташлицької ГАЕС та

експериментальної моделі з умовним зняттям осадових порід доведено, що зняття осадового шару не завжди призведе до зменшення проявів сейсмічних впливів на досліджуваному майданчику. Рекомендовано в кожному конкретному випадку враховувати як інформацію про очікувані в досліджуваному районі землетруси (їх максимальну інтенсивність, спектральний склад та тривалість) так і дані про будівельні характеристики проектного об'єкту. Це дозволить встановити доцільність (або її відсутність) зняття осадового шару для покращання сейсмічних умов майданчика.

У розділі 5 представлено використання розробленої дисертантом методики сейсмічного районування територій у фізичних параметрах прогнозованих коливань ґрунтів для території Києва. В межах міста дисертантом виділено методом сейсмогеологічних аналогій таксонометричні ділянки. Побудовано математичні сейсмогеологічні моделі виділених таксонометричних ділянок та визначено їх частотні характеристики. У розділі розраховано усереднену частотну характеристику ґрунтових умов території Києва з врахуванням нелінійного деформування ґрунтів при сейсмічних навантаженнях. В результаті чисельного динамічного аналізу поширення сейсмічних коливань в сейсмогеологічних моделях 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 сейсмічні впливи. Запропоновані 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 СМР, побудованої за методом інженерно-сейсмологічних аналогій, виключає необхідність у подальшому робити штучні переходи від позасистемної сейсмічної інтенсивності до фізичних характеристик прогнозованих коливань ґрунтів. Розраховано прогнозні

(очікувані) амплітуди і спектральні параметри сейсмічних коливань поверхні таксонометричних ділянок Києва. З використанням розробленої дисертантом методики побудовано карту сейсмічного районування Києва в пікових прискореннях ґрунту для випадку прогнозованих сейсмічних впливів з максимальною амплітудою до 0,06g.

У розділі 6 приведено використання розробленого дисертантом методики побудови математичних моделей шаруватого ґрунту з нелінійними параметрами, залежними від рівня деформації, та алгоритму розрахунку нелінійної сейсмічної реакції шаруватого ґрунту при оцінці сейсмічної небезпеки таких відповідальних споруд України, як: Ташлицька ГАЕС, Середньодніпровська ГЕС, Южно-Українська АЕС, Запорізька АЕС, Канівська ГЕС та компресорна станція «Яготин».

Основні положення та результати дисертації опубліковано у двох розділах монографії видавництва “Springer” та двадцяти восьми статтях у фахових виданнях. Матеріали дисертації доповідались на багатьох міжнародних наукових конференціях. Здобувач має шістнадцять тез доповідей на міжнародних конференціях.

Зауваження до дисертаційної роботи:

1. В роботі часто зустрічається термін «ґрунт». Варто було б дати пояснення, яке саме визначення цього терміну приймається в дисертаційній роботі.

2. Автор не пояснює з яких міркувань в роботі розраховувались спектри реакції одиничних осциляторів із загасанням 5%, а не 10% чи 15%, наприклад.

3. У розділі 6 представлені визначені фізичні параметри сейсмічних коливань ґрунту в основі відповідальних об’єктів з використанням методик, розроблених дисертантом. Оскільки побудовані математичні моделі шаруватого ґрунту з нелінійними параметрами залежними від рівня деформації є вагомим результатом, логічним було б винести в табличній формі у додаток ці параметри пошарово для кожної моделі.

4. У розділі 2 рис.2.4 не містить підписів до символів.

5. В роботі зустрічаються рисунки з окремими назвами і термінами на англійській мові.

Разом з тим, наведені зауваження скоріше носять характер наукової дискусії і суттєво не впливають на загальну високу оцінку дисертаційної роботи.

Автореферат повністю відображає зміст дисертації.

На основі проведеного аналізу вважаю, що дисертаційна робота Семенової Юлії Володимирівни «Фізичні параметри коливань ґрунтів в задачах сейсмічного районування», поданої на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук, за обсягом проведених наукових досліджень, їх актуальності, новизною та науковим рівнем 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 автор Семенова Юлія Володимирівна заслуговує на присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика.

Офіційний опонент
доктор геологічних наук, доцент,
радник генерального
директора ТОВ «ГЕОЮНІТ»



Г.Д. Лісний

Підпис Г.Д.Лісного підтверджую.
Начальник відділу кадрів
ТОВ «ГЕОЮНІТ»

А.А.Прокопенко