

ВІДГУК

офіційного опонента Маслова Бориса 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. виконана в рамках вирішення проблеми розвитку і вдосконаленню існуючих емпіричних і теоретичних основ методики сейсмічного районування у фізичних параметрах коливань ґрунту територій з недостатнім забезпеченням даними інструментальних спостережень. Методика дає змогу перейти при розрахунках споруд на сейсмостійкість від використання сейсмічної інтенсивності землетрусів в балах і категорії ґрунту за сейсмічними властивостями до фізичних параметрів прогнозованих коливань ґрунту. Нову удосконалену методику реалізовано на прикладі території Києва.

Наразі, згідно з чинними будівельними нормами України в методах розрахунку на сейсмостійкість об'єктів використовуються умовні перерахунки бальності та категорії ґрунту за сейсмічними властивостями у фізичні параметри коливань ґрунту, що потребує сейсмологічного обґрунтування. Необхідність розвитку і вдосконалення 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 обумовлює **актуальність** обраної теми дисертаційного дослідження.

Метою роботи є розвиток теоретичних основ і методики сейсмічного районування територій крупних агломерацій та промислових об'єктів України у фізичних параметрах прогнозованих коливань ґрунтів.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному.

1. 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. 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. Дисертантом 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. 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. 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. Отримано розв'язки задачі сейсмічного районування території Києва у фізичних параметрах коливань ґрунту на основі розроблених дисертантом алгоритмів і методик.

7. 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. Впроваджено при оцінці сейсмічної небезпеки ряду відповідальних об'єктів методу 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.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному.

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 в 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.

Апробація результатів дисертації. Результати, отримані на різних етапах роботи, були представлені на міжнародних нарадах, симпозиумах та конференціях:

Конференція присвячена пам'яті Т.З. Вербицького та Ю.Т. Вербицького «Сейсмологічні та геофізичні дослідження в сейсмоактивних регіонах», Львів, 2017; Міжнародна наукова конференція «Розвиток систем сейсмологічного і геофізичного моніторингу природних і техногенних процесів на території Північної Євразії», присвяченій 50-річчю відкриття Центральної геофізичної обсерваторії в м. Обнінськ, Москва, 2017 р.; Третя міжнародна наукова конференція «Актуальні проблеми геосередовища і зондуючих систем», присвячена пам'яті видатним українським вченим у галузі електромагнітних досліджень: доктору фіз.-мат. наук Володимиру Миколайовичу Шуману, доктору геол. наук Сергію Миколайовичу Куліку, Київ, 2017 р.; International Scientific Conference “Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment” Kyiv, 2017; The 2017 China (Dongguan) International Science and Technology Cooperation Week and 1st China (International), CHINA, 2017; Міжнародна наукова конференція, присвячена 100-річному ювілею Національної академії наук України та Державної служби геології та надр України, Київ, 2018 р.; Всеукраїнська наук.- техн. конф «Будівництво в сейсмічних районах України», 2018 р.; 16th European Conference on Earthquake Engineering (16ECEE), Thessaloniki, Greece, 2018; 11th International Conference on Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment. Session: Geophysics In Engineering Geology, Soil Science, Archaeology, Kiev, 2018; 18th International Conference on Geoinformatics «Theoretical and Applied Aspects», Kiev, 2019; NATO Advanced Research Workshop G5566 «Building Civil

Protection Capacity to Mitigate Geohazards in the Caucasus: A Regional Approach», Tbilisi, Republic of Georgia, 2019; AlpArray Scientific Meeting hosted by Mountain-Building in 4-Dimensions (4D-MB) Senckenberg Institut, Frankfurt am Main, Germany, 2019; Conference Proceedings, Geoinformatics: Theoretical and Applied Aspects 2020, Kiev, 2020; 22th International Conference on Advances in Civil and Mechanical, Singapore, 2020.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота викладена на 369 сторінках машинописного тексту, складається з анотації, вступу, 6 розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та 2 додатків. Обсяг основного тексту дисертації складає 283 сторінки.

Основний зміст роботи

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 *першому розділі* аналізується розвиток досліджень впливу місцевих ґрунтів на сейсмічний ефект 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 (США, Китай, Канада, країни Європи і ін.). Дисертантом відмічається, що в методах розрахунку будівель і споруд на сейсмостійкість параметри які визначають розрахункове значення горизонтального сейсмічного навантаження на будівлі та споруди, повністю залежать лише від категорії ґрунту за сейсмічними властивостями і сейсмічності майданчика будівництва в балах. У розділі обґрунтовується некоректність такого підходу в спектральному методі розрахунку до переходу від інтенсивності сейсмічних коливань в балах і категорії ґрунту за сейсмічними властивостями до фізичних параметрів коливань ґрунту. Із застосуванням експериментального теоретичного моделювання сейсмічної реакції двох сейсмогеологічних моделей шаруватих ґрунтових товщ, складених в обох випадках ґрунтами однієї категорії за сейсмічними властивостями, продемонстровано помилковість такого підходу. В розділі запропоновано використовувати розрахункові ґрунтові коефіцієнти отримані 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 *другому розділі* розглянуто широкий спектр фізичних параметрів сейсмічних коливань ґрунту і їх використання в задачах сейсмічного районування. Аналіз сейсмічної небезпеки та розробка проектних (прогнозних) сейсмічних коливань ґрунту значною мірою опираються на фізичні параметри

сейсмічних коливань. Обґрунтовано, що пікове прискорення є корисним параметром, але не надає інформації про частотний склад або тривалість коливання; тому обов'язково повинно бути доповненим додатковою інформацією для точної характеристики коливання ґрунту. Відмічається, що необхідно комплексно оцінювати потенціал небезпеки сейсмічних коливань в основі будівлі і визначати як амплітудний так і спектральний склад коливань. Розглядається та аналізується використання концепції спектрів максимальних реакцій (відгуків) одиничних осциляторів на сейсмічні навантаження у нормативних документах різних країн.

У *третьому розділі* розглянуто теоретичні основи методів аналізу сейсмічної реакції шаруватого ґрунту в задачах інженерної сейсмології. Проаналізовано чисельні еквівалентно лінійний і нелінійний методи врахування нелінійного деформування ґрунту в задачах сейсмічного районування, оскільки реальний ґрунт, навіть, при невеликих сейсмічних навантаженнях проявляє нелінійну поведінку. Приводяться розв'язки задачі сейсмічної реакції ґрунту в часовій та частотній області. Розроблено методику для побудови математичних моделей коливань шаруватого ґрунту, що описуються емпіричними параметрами, залежними від рівня деформації та які враховують прийняту типову класифікацію МАГАТЕ. Методика необхідна 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 віднесено: геологічний вік, глибина залягання і глибина залягання відносно відмітки рівня ґрунтових вод тощо.

У *четвертому розділі* розглянуто механізми трансформації сейсмічних хвиль при поширенні у шаруватій ґрунтовій товщі. Аналіз поширення сейсмічних хвиль в реальних умовах шаруватої ґрунтової товщі необхідний для обґрунтування вибору ідеалізованої моделі поведінки ґрунту, коли всі особливості не можуть бути детально описані і необхідно дослідити загальну поведінку хвиль на границях. Реальні ґрунти як природні багатокомпонентні системи є досить специфічним середовищем для поширення сейсмічних хвиль: вони змінюють не тільки динамічні характеристики цих хвиль (або до повного поглинання або трансформації хвилі), а й свої властивості, причому ці процеси тісно пов'язані між собою.

Представлено результати досліджень впливу зміни окремих параметрів ґрунтової товщі (зокрема, вологості, ущільнення наявного в розрізі піску та оголення ґрунтової товщі до корінної породи). Результати дослідження впливу фактору ущільнення намивного піску з плином часу на спектральні характеристики ґрунтового середовища під будівельним майданчиком показали, що ґрунтові умови під будівництвом, складені свіжонамивними пісками, будуть покращуються в сейсмічному відношенні. Про це свідчить зменшення ширини частотного діапазону резонансного підсилення ґрунтами сейсмічних коливань та зміщення резонансних частот у більш високочастотну

область. Збільшення вологості прискорює пониження міцності ґрунту при сейсмічному навантаженні. Це дисертант пояснює послабленням структурних зв'язків і збільшенням рухливості частинок в міру потовщення їх гідратних оболонок, а отже, і зменшенням згасання коливань у ґрунтовому матеріалі при збільшенні його вологості до критичного рівня, вище якого вихідна міцність системи різко падає, що і призводить до зниження відносного розушільнення. Величина вологості максимального розушільнення практично не залежить від параметрів сейсмічного навантаження і визначається фізико-хімічною активністю ґрунту. Дослідження впливу зміни вологості моделей реальної ґрунтової товщі на трансформацію сейсмічних коливань, показали, що зі збільшенням вологості ґрунту спектр коливань стає більш низькочастотним. розширення спектральної області зі збільшенням вологості є більш чутливим для пісків порівняно з глинистими ґрунтами. Спостерігається тенденція зменшення несучої здатності піску, погіршення сейсмічних властивостей зі збільшенням вологості, і вплив вологості на таку динаміку збільшується зі зменшенням крупності піску.

У *п'ятому розділі* обґрунтовано необхідність удосконалення методики сейсмічного районування (зонування) у фізичних параметрах коливань ґрунту та запропоновано алгоритм аналітично-емпіричного підходу, який реалізовано на прикладі території Києва. Перевага аналітично-емпіричного підходу полягає в можливості його застосування при сейсмічному зонуванні територій зі слабкою та помірною сейсмічністю та з недостатньою кількістю результатів інструментальних сейсмологічних спостережень.

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 СМР, побудованої за методом інженерно-сейсмологічних аналогій, виключає необхідність у подальшому робити штучні переходи від позасистемної сейсмічної інтенсивності до фізичних характеристик прогнозованих коливань ґрунтів. Ґрунтові коефіцієнти, які враховують інформацію про сейсмічні жорсткості шаруватої ґрунтової товщі, дають змогу перейти до принципово нового опису взаємозв'язку властивостей ґрунту і параметрів сейсмічних впливів з використанням безперервних (не дискретних) величин. Розраховано прогнозні (очікувані) амплітудні і спектральні параметри сейсмічних коливань шаруватого ґрунту таксонометричних ділянок Києва при прогнозованих сейсмічних впливах з максимальною амплітудою до 0,06g. 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.

Для таксонометричних ділянок Києва розраховано спектри реакції одиничних осциляторів з 5%-ним згасанням на 26 сейсмічних рухів, заданих акселерограмами, пронормованими по амплітуді до 0,06g. У результаті кількісної інтерпретації та аналізу розрахованих спектрів реакції встановлено сильну пряму кореляцію між піковими значеннями спектрального прискорення і площею підспектральної області та слабку зворотну між абсолютною шириною спектра і площею підспектральної області. Виділено таксонометричні ділянки, що характеризуються найбільшими значеннями спектрального прискорення.

У *шостому розділі* приводяться результати впровадження розробленої дисертантом методики побудови математичних моделей шаруватого ґрунту з нелінійними емпіричними 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). У результаті чисельного аналізу сейсмічної реакції ґрунтової основи перерахованих об'єктів визначено прогнозовані (очікувані) кількісні параметри сейсмічної небезпеки: амплітудний та спектральний склад сейсмічних коливань ґрунтів в основі відповідальних споруд.

Основні наукові і практичні результати дисертаційної роботи:

1. Розроблено алгоритм розв'язку задачі сейсмічного районування територій в амплітудних та спектральних параметрах прогнозованих коливань ґрунтів.

2. Розроблено теоретичні і методичні основи переходу від використання сейсмічної інтенсивності землетрусів в балах і категорії ґрунту за сейсмічними властивостями до фізичних параметрів прогнозованих коливань ґрунтів через запропоновані в роботі поправочні ґрунтові коефіцієнти, які враховують фільтруючі властивості ґрунтової товщі і механізми трансформації сейсмічних хвиль у ній. Перехід необхідний для покращення і більш ефективного та обґрунтованого застосування методів розрахунку споруд на аварійне сполучення навантажень з урахуванням сейсмічного впливу. Алгоритм розрахунку поправочних ґрунтових коефіцієнтів реалізовано на прикладі території Києва.

2. З використанням чисельного моделювання досліджено вплив зміни окремих параметрів ґрунтової товщі (зокрема, вологості, ущільнення піску та умовне зняття осадового шару, тобто оголення ґрунтової товщі до корінної породи) на спектральні характеристики її коливань. За результатами аналізу сейсмічної реакції моделей шаруватого ґрунту встановлено, 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. Результати аналізу сейсмічної реакції моделей ґрунтової основи на прикладі території Ташлицької ГЕС показали, що умовне зняття осадового шару не передбачає зменшення величини сейсмічних ефектів при сейсмічних впливах, оскільки необхідно враховувати зміну спектрального складу відносно власних коливань закладених в конструктивних рішеннях.

3. Теоретично обґрунтовано та впроваджено в практику сейсмічного районування України методику побудови математичних сейсмогеологічних моделей таксонометричних ділянок з врахуванням нелінійного деформування при сейсмічних навантаженнях.

4. Методом сейсмогеологічних аналогій 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.

5. Із застосуванням чисельного моделювання методом еквівалентно-лінійного аналізу сейсмічної реакції ґрунту визначено частотні характеристики таксонометричних ділянок Києва. Розраховано усереднену частотну характеристику ґрунтових умов території Києва з врахуванням нелінійного деформування ґрунтів при сейсмічних навантаженнях.

6. Виконано чисельний динамічний аналіз поширення сейсмічних коливань в сейсмогеологічних моделях та виділено сейсмічно слабкі шари в ґрунтових розрізах території Києва. Виділені ґрунти при певному розташуванні по глибині і певній потужності проявляються як сейсмічно слабкі прошарки з високими значеннями пікової зсувної деформації. У розрізах фрагмента Київ М-36-ХІІІ геологічної карти ДНВП "Геоінформ України" до таких ґрунтів віднесено моренні відклади та супісок в приповерхневому заляганні потужністю від 10 м; пісок алювіальний при потужності від 30 м. При менших потужностях у вказаних ґрунтах спостерігається різке збільшення коефіцієнта поглинання, проте без збільшення пікової зсувної деформації. Це вказує на те, що при меншій потужності вказаних ґрунтів, але при амплітуді сейсмічного впливу більшій ніж $0,06g$, можливо будуть спостерігатись піки зсувної деформації. З огляду на це, виділено ділянки на території Києва, в розрізах яких в приповерхневому заляганні містяться ґрунти здатні до нелінійних проявів більшою мірою, ніж на інших ділянках. Величина цього прояву буде прямо пропорційна величині падаючих сейсмічних коливань.

7. 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 СМР, побудованої за методом інженерно-сейсмологічних аналогій, виключає необхідність у подальшому робити штучні переходи від позасистемної сейсмічної інтенсивності до фізичних характеристик прогнозованих коливань ґрунтів. Ґрунтові коефіцієнти, які враховують інформацію про сейсмічні жорсткості шаруватої ґрунтової товщі, дають змогу перейти до принципово нового опису взаємозв'язку властивостей ґрунту і параметрів сейсмічних впливів з використанням безперервних (не дискретних) величин.

8. Розраховано прогнозні (очікувані) амплітудні і спектральні параметри сейсмічних коливань шаруватого ґрунту таксонометричних ділянок Києва при прогнозованих сейсмічних впливах з максимальною амплітудою до 0,06g.

9. 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.

10. Для таксонометричних ділянок Києва розраховано спектри реакції одиничних осциляторів з 5%-ним згасанням на 26 сейсмічних рухів, заданих акселерограмами, пронормованими по амплітуді до 0,06g. У результаті кількісної інтерпретації та аналізу розрахованих спектрів реакції встановлено сильну пряму кореляцію між піковими значеннями спектрального прискорення PSA і площею підспектральної області та слабку зворотну між абсолютною шириною спектра і площею підспектральної області. Виділено таксонометричні ділянки, що характеризуються найбільшими значеннями спектрального прискорення.

11. Методика побудови математичних моделей шаруватої ґрунтової товщі, яка задовольняє вимогам Міжнародного агентства з атомної енергії і враховує нелінійне деформування ґрунту, впроваджена при оцінці сейсмічної небезпеки відповідальних споруд Ташлицької ГАЕС, Канівської ГЕС, Запорізької АЕС, Южно-Української АЕС, Середньодніпровської ГЕС та компресорної станції «Яготин».

Можна сформулювати наступні **зауваження** щодо змісту дисертації:

1. Дисертантом виконується моделювання сейсмічної реакції шаруватого ґрунту на сейсмічні впливи з застосуванням програмного продукту Proshake. Незрозумілою є точність розрахунків, оскільки в тексті не приділено цьому питанню достатню увагу.

2. У п'ятому розділі дисертантом виділено в ґрунтових розрізах Києва сейсмічно-слабкі шари. Варто було б додати ілюстрації цих розрізів для повноти сприйняття отриманих результатів.

3. На деяких рисунках (наприклад рис. 3.5, 4.3, 4.8 в роботі зустрічаються підписи англійською мовою, відсутні підписи українською мовою.

5. Розраховані поправочні ґрунтові коефіцієнти враховують, окрім іншого, нелінійні та фільтруючі властивості ґрунтів щодо сейсмічних коливань. Можна більш детально висвітлити перевагу їх застосування порівняно із затвердженими в державних будівельних нормах.

Висновки.

Дисертаційна робота Семенової Ю.В. є самостійною роботою, включає нові наукові результати і положення, висунуті для публічного захисту, має важливе наукове та практичне значення для вирішення проблеми забезпечення геофізичними даними сейсмостійкості відповідальних об'єктів і свідчить про особистий внесок автора в науку.

Результати дисертаційної роботи є новими, важливими та апробованими на міжнародних наукових і науково-технічних конференціях, і опубліковані в 46 публікаціях як фахових виданнях України так і іноземних виданнях, зокрема 2 розділи в монографіях (видавництво "Springer"), 28 статей у фахових журналах та 16 тез доповідей на міжнародних конференціях. 8 робіт дисертанта індексуються у наукометричній базі SCOPUS та 9 у Web of Science.

Зміст автореферату дисертації Семенової Ю.В. в повній мірі відповідає змісту і науковим положенням, викладеним у дисертації.

Враховуючи аналіз дисертації, автореферату та опублікованих праць, вважаю, що дисертаційна робота Семенової Ю.В. «Фізичні параметри коливань ґрунтів в задачах сейсмічного районування», представлена на здобуття наукового ступеня доктора фізико-математичних наук, є завершеною, має вагомим практичне та теоретичне значення, заслуговує високої оцінки та 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 Ю.В. заслуговує на присудження наукового ступеня доктора фізико-математичних наук за спеціальністю 04.00.22 – геофізика.

Офіційний опонент:

доктор фізико-математичних наук,
головний науковий співробітник
відділу механіки повзучості Інституту механіки
ім. С.П. Тимошенка НАН України

Маслов Б.П.

09 09 2021

Підпис Б.П. Маслова «Засвідчую».
Вчений секретар Інституту механіки
ім. С.П. Тимошенка НАН України
д.ф.-м.н.



Жук О.П.