



УДК 699.841+624.042.7



КЕНДЗЕРА О.В.

Канд. фіз.-мат. наук, член-кор. НАН України, заступник директора, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна Національної академії наук України, м. Київ, Україна,
e-mail: kenzera@igph.kiev.ua,
тел.: +38 (044) 423-81-43,
ORCID: 0000-0003-0691-0227



СЕМЕНОВА Ю.В.

Канд. фіз.-мат. наук, науковий співробітник, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна Національної академії наук України, м. Київ, Україна,
e-mail: ulaska@ukr.net,
тел.: +38 (097) 780-89-88,
ORCID: 0000-0003-4628-8663



ВЕРБИЦЬКИЙ С.Т.

Канд. фіз.-мат. наук, провідний науковий співробітник, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна Національної академії наук України, м. Львів, Україна,
e-mail: sergever@gmail.com,
тел.: +38 (067) 927-08-00,
ORCID: 0000-0003-1138-8648



ЄГУПОВ В.К.

Інженер, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна Національної академії наук України, м. Одеса, Україна,
e-mail: slava.yegupov@gmail.com,
тел.: +38 (096) 369-09-17,
ORCID: 0000-0001-5093-6948



ЛІСОВИЙ Ю.В.

Молодший науковий співробітник, Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна Національної академії наук України, м. Київ, Україна,
e-mail: lisovyi@ukr.net,
тел.: +38 (097) 494-16-11,
ORCID: 0000-0001-6145-9251

ВПЛИВ ЛОКАЛЬНИХ ҐРУНТОВИХ УМОВ НА СЕЙСМІЧНІ КОЛИВАННЯ МАЙДАНЧИКА ТАШЛИЦЬКОЇ ГАЕС

АНОТАЦІЯ

Метою роботи є дослідити вплив фільтруючих властивостей осадової товщі на сейсмічні коливання будівельних або експлуатаційних майданчиків, розміщених на території України. Проаналізовано вплив фізико-механічних властивостей осадової товщі на сейсмічний ефект на поверхні в межах території Ташлицької гідроакумулювальної електростанції (ГАЕС) при можливих сейсмічних впливах з різними максимальними піковими прискореннями, що з імовірністю 99% не будуть перевищені за найближчі 50 років. Перевірено твердження, згідно з яким, зменшення товщини осадового шару завжди покращує сейсмічні умови будівництва. Результати отримано шляхом моделювання реакції ґрунтової товщі на сейсмічні впливи з використанням програмного продукту ProShake. При моделюванні поведінка кожно-

го шару сейсмогеологічної моделі ґрунтової товщі задавалася моделлю Кельвіна-Фойгта (в'язко-пружною). Кожний шар сейсмогеологічної моделі ґрунтової товщі характеризувався такими параметрами, як: товщина шару, густина, швидкості поздовжніх і поперечних хвиль, нелінійні залежності модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від зсувної деформації. Використання при розрахунках залежностей модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від зсувної деформації дозволяють врахувати нелінійну реакцію ґрунтової товщі на сейсмічні впливи. Показано, що зменшення товщини осадового шару під будівельним майданчиком не завжди зменшує значення параметрів сейсмічних впливів. Рентабельність з усунення верхнього пухкого осадового шару слід оцінювати у кожному конкретному випадку. Проектувальникам слід враховувати інформацію



про фільтруючі властивості ґрунтової товщі під будівельним майданчиком, вибираючи параметри проєктованих споруд такими, що забезпечують їх максимальну стійкість при сейсмічних впливах. Зміна параметрів ґрунтових умов на будівельному майданчику може істотно вплинути на сейсмічний ефект на його поверхні. Отримані дані про фільтруючі властивості ґрунтової товщі на кожній із ділянок досліджуваної території, для якої визначаються кількісні характеристики сейсмічної небезпеки, дозволяють одночасно забезпечити стійкість проєктованих об'єктів та істотно зменшити вартість сейсмостійкого будівництва за рахунок уникнення резонансного підсилення осадовою товщею сейсмічних коливань на власних періодах проєктованих споруд.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: підсилення сейсмічних коливань, модель ґрунтової товщі, фільтруючі властивості, резонансні явища, сейсмостійке будівництво, сейсмічне мікрорайонування.

ВЛИЯНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ ГРУНТОВЫХ УСЛОВИЙ НА СЕЙСМИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ ПЛОЩАДКИ ТАШЛЫКСКОЙ ГАЭС

КЕНДЗЕРА А.В. Канд. физ.-мат. наук, членкор. НАН Украины, Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Киев, Украина, e-mail: kendzera@igph.kiev.ua, тел.: +38 (044) 423-81-43, ORCID: 0000-0003-0691-0227

СЕМЕНОВА Ю.В. Канд. физ.-мат. наук, научный сотрудник, Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Киев, Украина, e-mail: ulaska@ukr.net, тел.: +38 (097) 780-89-88, ORCID: 0000-0003-4628-8663

ВЕРБИЦКИЙ С.Т. Канд. физ.-мат. наук, ведущий научный сотрудник, Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Львов, Украина, e-mail: sergever@gmail.com, тел.: +38 (067) 927-08-00, ORCID: 0000-0003-1138-8648

ЕГУПОВ В.К. Инженер, Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Одесса, Украина, e-mail: slava.yegupov@gmail.com, тел.: +38 (096)) 369-09-17, ORCID: 0000-0001-5093-6948

ЛЕСОВОЙ Ю.В. Младший научный сотрудник, Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, г. Киев, Украина, e-mail: lisovyi@ukr.net, тел.: +38 (097) 494-16-11, ORCID: 0000-0001-6145-9251

АННОТАЦИЯ

Целью работы является исследование влияния фильтрующих свойств осадочной толщи на сейсмические колебания строительных или эксплуатационных площадок, расположенных на территории Украины. Проанализировано влияние физико-механических свойств осадочной толщи на сейсмический эффект на поверхности в пределах территории Ташлыкской гидроаккумулирующей электростанции (ГАЭС) при возможных сейсмических воздействиях с различными максимальными пиковыми ускорениями, которые с вероятностью 99% не будут превышены в ближайшие 50 лет. Проверено утверждение, согласно которому, уменьшение мощности осадочного слоя всегда улучшает сейсмические условия строительства. Результаты получены путем моделирования реакции толщи грунта на сейсмические воздействия с использованием программного продукта ProShake. При моделировании поведение каждого слоя сейсмогеологической модели ґрунтовой толщи задавалась моделью Кельвина-Фойгта (вязко-упругой). Каждый слой сейсмогеологической модели ґрунтовой толщи характеризовался такими параметрами, как: толщина слоя, плотность, скорости продольных и поперечных волн, нелинейные зависимости модуля сдвига и коэффициента поглощения от сдвиговой деформации. Использование при расчетах зависимостей модуля сдвига и коэффициента поглощения от сдвиговой деформации позволяют учесть нелинейную реакцию ґрунтовой толщи на сейсмические воздействия. Показано, что уменьшение толщины осадочного слоя под строительной площадкой не всегда уменьшает проявления сейсмических воздействий. Рентабельность по устранению верхнего рыхлого осадочного слоя следует оценивать в каждом конкретном случае. Проектировщикам следует учитывать информацию о фильтрующих свойствах ґрунтовой толщи под строительной площадкой, выбирая параметры проектируемых сооружений такими, которые обеспечивают их максимальную устойчивость при сейсмических воздействиях. Изменение параметров ґрунтовых условий на строительной площадке может существенно повлиять на сейсмический эффект на его поверхности. Полученные данные о фильтрующих свойствах ґрунтовой толщи на каждом из участков исследуемой территории, для которой определяются количественные характеристики сейсмической опасности, позволяют одновременно обеспечить устойчивость проектируемых объектов и существенно уменьшить стоимость сейсмостойкого строительства путем избегания резонансного усиления осадочной толщиной сейсмических колебаний на собственных периодах проектируемых сооружений.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: усиление сейсмических колебаний, модель ґрунтовой толщи, фильтрующие свойства, резонансные явления, сейсмостойкое строительство, сейсмическое микрорайонирование.



THE INFLUENCE OF LOCAL SOIL CONDITIONS ON THE SEISMIC VIBRATIONS OF THE SITE OF THE TASHLYK HYDROELECTRIC PUMPED STORAGE POWER PLANT (HEPSPP)

KENDZERA O.V. PhD, Corresponding Member of NAS of Ukraine, S.I. Subbotin Institute of Geophysics, NAS of Ukraine,

Kiev Ukraine,

e-mail: kendzera@igph.kiev.ua,

tel.: +38 (044) 423-81-43,

ORCID: 0000-0003-0691-0227

SEMENOVA Y.V. PhD., Researcher, S.I. Subbotin Institute of Geophysics, NAS of Ukraine,

Kiev, Ukraine,

e-mail: ulaska@ukr.net,

tel.: +38 (097) 780-89-88,

ORCID: 0000-0003-4628-8663

VERBYTSKYI S.T. PhD., Leading Researcher, S.I. Subbotin Institute of Geophysics, NAS of Ukraine,

Lviv, Ukraine

e-mail: sergever@gmail.com,

tel.: +38 (067) 927-08-00,

ORCID: 0000-0003-1138-8648

IEGUPOV V.K. Engineer, S.I. Subbotin Institute of Geophysics, NAS of Ukraine,

Odessa, Ukraine,

e-mail: slava.yegupov@gmail.com,

tel.: +38 (096) 369-09-17,

ORCID: 0000-0001-5093-6948

LISOVYI Y.V. Researcher, S.I. Subbotin Institute of Geophysics, NAS of Ukraine,

Kiev, Ukraine,

e-mail: lisovyi@ukr.net,

tel.: +38 (097) 494-16-11,

ORCID: 0000-0001-6145-9251

ABSTRACT

The aim of the paper is to study the sedimentary stratum filtering properties influence on the seismic vibrations of construction or operational sites located on the territory of Ukraine. The influence of the sedimentary stratum physical and mechanical properties on the seismic effect on the surface of the Tashlyk HEPSPP territory under possible seismic impacts with various maximum peak accelerations, which will not be exceeded with a probability of 99% within the next 50 years, is analyzed. The assertion is confirmed that the sediment layer thickness reduction always improves the seismic conditions of construction process. The results are obtained by simulating a soil layer reaction to seismic impacts using the ProShake software. Under simulation, the behavior of each layer of the soil stratum seismic geological model was specified by the Kelvin-Voigt model (viscoelastic). Each layer of the soil thickness seismic geological model was characterized by such parameters as layer thickness, density, primary and shear waves' velocities and nonlinear strain-dependent shear modulus and damping ratio. The use

of the strain-dependent shear modulus and damping ratio for calculations allows us to take into account the soil stratum nonlinear reaction to seismic actions. It is shown that a decrease in the thickness of the sedimentary layer under the construction site does not always reduce the seismic impacts manifestations. The profitability of eliminating the upper loose sediment layer should be assessed in each specific case. Designers need to take into account information about the filtering properties of the soil stratum beneath the construction site and choose such designed structures parameters that can ensure the structures maximum stability under seismic influences. The change in the parameters of ground conditions under the construction site can significantly affect the seismic effect on its surface. The obtained data on the soil stratum filtering properties of each area of the surveyed territory, for which the quantitative characteristics of the seismic hazard are determined, simultaneously allow to ensure the stability of the designed facilities and significantly reduce the cost of constructing earthquake resistant buildings by avoiding the seismic oscillations resonant amplification by sedimentary stratum at natural periods of the designed structures.

KEY WORDS: increase of seismic oscillations; model of soil layer; filtering properties; resonance phenomena; antiseismic construction; seismic microzoning.

ВСТУП

До 70-тих років ХХ ст. помилково вважалося, що на більшій частині території України, розташованій на древній Східноєвропейській тектонічній платформі, значні сейсмічні події неможливі, тому більшість споруд будували без урахування заходів сейсмічного захисту [1]. Сейсмонебезпечні райони з прогнозованою інтенсивністю сейсмічних струшувань 6–9 балів становлять близько 20% території України (близько 120 тис. км²) з населенням понад 10 млн. чол. Райони з прогнозованою інтенсивністю 7–9 балів становлять 12% території країни, в них розташовано майже 80 населених пунктів, на території яких проживає 7 млн. чол. [2]. По всій території України відчуваються сильні підкорові землетруси зони Вранча (Румунія), останні з них відбулися у 1940, 1977, 1986 і 1990 рр. Особливістю сильних землетрусів Вранча є значна глибина вогнищ (70–190 км). Встановлена тенденція до заглиблення вогнищ із збільшенням магнітуди землетрусів. Загалом, до 40% території України може бути охоплено безпосереднім впливом небезпечних сейсмічних подій і до 70% – спільним впливом землетрусів і підтоплень, зсувів, просядок та інших інженерно-геологічних процесів, що негативно впливають на стійкість споруд [1, 2].

Досвід діяльності в галузі сейсмічного захисту таких розвинутих країн, як Японія, США, Канада, Франція, Італія та ін. показує, що основною концепцією сейсмічного захисту повинно стати не прогнозування часу виникнення землетрусів, а впровадження сейсмостійкого проектування і будівництва



житла і промислових об'єктів на базі об'єктивних знань про кількісні параметри реально існуючої сейсмічної небезпеки в районах їх розміщення і на конкретних будівельних майданчиках [1].

У зв'язку з можливістю виникнення резонансних явищ для проектування сейсмостійких будівель необхідні не тільки відомості про силу і місце можливих землетрусів, але й надійні дані про власні періоди коливальних проєктованих об'єктів і фільтруючі властивості ґрунтів в їх основі. Ґрунтова товща під будівельним майданчиком поводить, як фільтр: на деяких частотах вона передає коливання майже без змін, а на інших - підсилює їх, або послаблює. Під час проектування сейсмостійких будівель і споруд важливо не допускати, щоб переважаючі частоти ґрунтової товщі збігалися з власними частотами будівель і споруд [3, 4].

Питання впливу осадового шару на параметри сейсмічної небезпеки є актуальним вже тривалий час. Встановлено, що поверхнева геологія, яка суттєво впливає на поширення сейсмічних хвиль, є одним з головних факторів, що визначає сейсмічний ефект на поверхні ґрунтових комплексів. При інтенсивних сейсмічних впливах поведінка ґрунтів стає нелінійною і проблема оцінки реакції ґрунту суттєво ускладнюється. Реакція ґрунту залежить від літологічного складу, фізичних параметрів, потужності, водонасиченості ґрунтових шарів, а також від інтенсивності землетрусу, частотного складу коливань в його джерелі і на покрівлі консолідованого фундаменту під майданчиком. Теоретичні та експериментальні основи прояву нелінійних реологічних властивостей ґрунтів наведено в фундаментальних роботах [5-9].

Незважаючи на досягнення українських учених в цій галузі [3, 4, 10], оцінка напружено-деформованого стану ґрунтів і визначення кількісних параметрів сейсмічної небезпеки на сьогоднішній день, в основному, проводяться в рамках лінійної (пружної) моделі, оскільки врахування нелінійних властивостей ґрунтів є складною задачею, на вирішення якої скеровано сучасний розвиток фундаментальної і прикладної механіки ґрунтів [11]. Чинні в Україні нормативні документи в галузі сейсмостійкого будівництва недостатньо враховують резонансні властивості ґрунтів. Відомо, що неглибокі корові землетруси характеризуються коротким (декілька секунд) хвильовим пакетом дуже інтенсивних коливань, що швидко загасають зі збільшенням гіпоцентральної відстані [3]. Такі коливання, в силу своєї малої тривалості, не здатні спровокувати резонансні явища в значних за розміром спорудах, або їх конструкціях. Якщо ж розглядати вплив сильних підкорових землетрусів зони Вранча з глибинами вогнищ в діапазоні 70 - 180 км, то такі землетруси на території України породжують хвилі довжиною в десятки секунд, здатні розхитати високі і протяжні будівлі і, завдяки значній тривалості коливань, призвести до резонансних підсилень сейсмічних впливів.

В роботі представлено результати моделювання реакції моделі ґрунтової товщі (складеної осадовими відкладами, або середньо та інтенсивно вивітряними гранітогнейсами) на території розташування основних споруд ГАЕС на максимально можливі сейсмічні впливи з урахуванням нелінійних явищ. Для розрахунків використовувався програмний продукт ProShake [12, 13]. При моделюванні поведінка кожного шару сейсмогеологічної моделі ґрунтової товщі задавалася моделлю Кельвіна-Фойгта (в'язко-пружною). Кожний шар сейсмогеологічної моделі ґрунтової товщі характеризувався такими параметрами, як: товщина шару, густина, швидкості поздовжніх і поперечних хвиль, нелінійні залежності модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від зсувної деформації. Використання в розрахунках залежностей величини модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини зсувної деформації дозволяють врахувати нелінійну реакцію ґрунтової товщі на сейсмічні впливи. Зміна параметрів модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від зсувної деформації у при моделюванні враховується шляхом проведення ітерацій до отримання задовільного розв'язку [11]. Ітеративні обчислення забезпечують відповідність параметрів модуля зсуву і коефіцієнта поглинання рівням деформацій у всіх шарах ґрунтової товщі.

Наведено також результати числового експерименту з моделювання реакції ґрунтової товщі на максимально можливі сейсмічні впливи з умовним зняттям у розрахунковій моделі осадових порід. Отримані дані дозволяють оцінити сейсмічну небезпеку на території Ташлицької ГАЕС та детально вивчити вплив локальних ґрунтових умов на кількісні параметри сейсмічних впливів.

При проведенні робіт з сейсмічного мікрорайонування (СМР) території Ташлицької ГАЕС у її межах було умовно виділено 5 ділянок, що характеризуються різними інженерно-геологічними умовами. Моделювання реакції ґрунтової товщі на сейсмічні впливи для кожної з цих ділянок, із зняттям осадової товщі та без нього, дозволило оцінити вплив осадового шару (навіть з невеликою потужністю) на реакцію ґрунтової товщі при можливих сейсмічних впливах з різними максимальними піковими прискореннями (МПП).

На рис. 1 представлено схему розташування ділянок на території Ташлицької ГАЕС, виділених за результатами її СМР комплексом з трьох методів: методу сейсмогеологічних аналогій, методу сейсмічних жорсткостей і методу реєстрації землетрусів, вибухів і короткоперіодних мікросейсм [14].

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТУ

На рис. 2 представлено огинаючі сукупності розрахованих спектрів реакції одиничних осциляторів з власним загасанням 5% від максимального на задані акселерограмами сейсмічні впливи з різними максимальними піковими прискореннями, якими моделюються коливання ґрунту на ділянці I (вододільна



Рис. 1. Схема розташування ділянок на території Ташлицької ГАЕС, виділені за результатами її СМР комплексом з трьох методів: методу сейсмо-геологічних аналогій, методу сейсмічних жорсткостей і методу реєстрації землетрусів, вибухів і короткоперіодних мікросейсм

рівнина), виділений за даними СМР у межах території розташування основних споруд Ташлицької ГАЕС у випадках: а) ґрунтова товща без осадових відкладів (умовне оголення до метаморфічних гірських порід); б) з осадовими відкладами товщиною 17 м.

На рис. 3 представлено огинаючі сукупності розрахованих спектрів реакції одиничних осциляторів з власним загасанням 5% від максимального на задані акселерограми сейсмічні впливи з різними максимальними піковими прискореннями, якими моделюються коливання ґрунту на ділянці IV (днище незатопленої частини Ташлицької балки), виділений в межах території розташування основних споруд Ташлицької ГАЕС у випадках: а) ґрунтова товща без осадових відкладів (умовне оголення до метаморфічних гірських порід); б) з осадовими відкладами товщиною 4 м.

Теоретичні обчислення показали, що такі зміни в розрахунковій моделі, як видалення ґрунтової товщі (зняття осадового шару – ґрунту з низькою жорсткістю) до метаморфічних гірських порід призводять до зменшення сейсмічного ефекту на поверхні. Зменшення проявляється у всіх розра-

хованих спектрах реакції в зміні таких параметрів, як максимальна амплітуда та ширина спектру. Зменшення потужності осадового шару призводить до зменшення максимальної амплітуди і ширини спектру сейсмічних коливань на поверхні.

Якщо порівнювати геологічну будову інженерно-геологічних районів I (вододільна рівнина) та IV (днище незатопленої частини Ташлицької балки), виділених в межах території розміщення основних споруд Ташлицької ГАЕС, то головний параметр, який їх відрізняє і впливає на сейсмічний ефект на поверхні, – це потужність осадових відкладів. В інженерно-геологічному районі I вона становить 17 м, а в районі IV – 4 м. З рис. 2 та рис. 3 видно, що різниця в 13 – 17 м товщини осадового шару може суттєво змінити спектральний склад та інтенсивність сейсмічних коливань на вільній поверхні.

Аналіз рис. 2 показує, що підсилюючі ґрунти в інженерно-геологічному районі I, з потужністю осадових відкладів 17 м, мають резонуючі властивості на частотах коливань 10 Гц.

З огинаючої сукупності спектрів реакції одиничних осциляторів, із власним загасанням 5% від максимального, на задані акселерограми сейсмічні впливи з різними максимальними піковими прискореннями, також видно, що

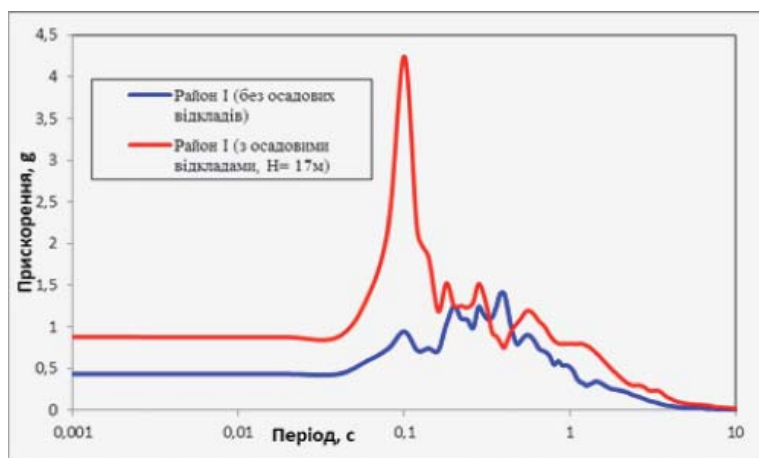


Рис. 2. Огинаючі сукупності спектрів реакції одиничних осциляторів (із загасанням 5%) на задані акселерограми сейсмічні впливи з різними максимальними піковими прискореннями, якими моделюються коливання ґрунту на ділянці I (вододільна рівнина) у випадках: а) ґрунтова товща без осадових відкладів (умовне оголення до метаморфічних гірських порід); б) з осадовими відкладами товщиною 17 м. Ділянка виділена в межах території розміщення основних споруд Ташлицької ГАЕС за даними її СМР

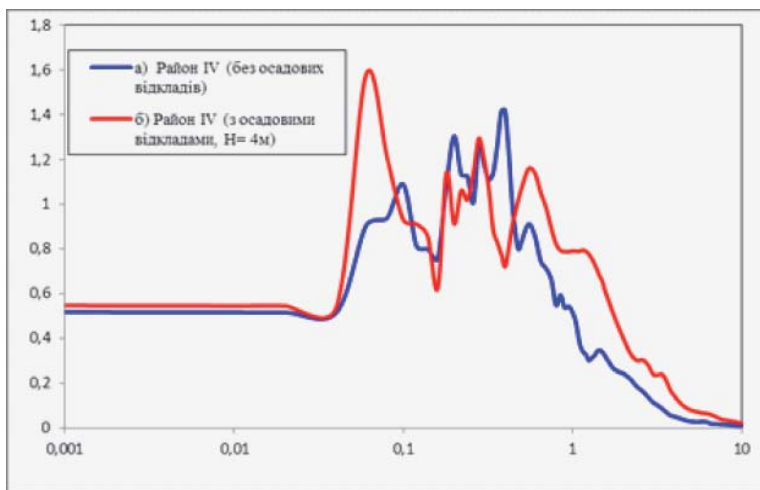


Рис. 3. Огинаючі сукупності спектрів реакції одиничних осциляторів (із загасанням 5%) на задані акселерограмами сейсмічні впливи з різними максимальними піковими прискореннями, якими моделюються коливання ґрунту на ділянці IV (днище незатопленої частини Ташлицької балки) у випадках: а) ґрунтова товща без осадових відкладів (модельне оголення до метаморфічних гірських порід); б) з осадовими відкладами товщиною 4 м

максимальні пікові прискорення в сейсмічних коливаннях спостерігаються на частоті 10 Гц ($T=0,1$ с). Якщо осадовий шар товщиною 17 м в розрахунковій моделі геологічного середовища умовно зняти, то фільтруючі властивості інженерно-геологічного району № I зміняться: частота переважаючих за амплітудою коливань зміститься в бік високих частот і вийде за межі інженерного частотного діапазону (від 0,01 Гц до 20 Гц), що в свою чергу вплине на спектри реакції одиничних осциляторів і призведе до зменшення величини максимальних пікових прискорень в сейсмічних коливаннях з інженерними частотами.

Дослідження сейсмічних властивостей інженерно-геологічного району № IV (днище незатопленої частини Ташлицької балки), виділеного в межах території розташування основних споруд Ташлицької ГАЕС, показало, що товщина осадових відкладів товщиною 4 м має незначний вплив на трансформацію сейсмічних коливань. Це видно на рис. 3, на якому представлена розрахована для району № IV об'єднана сукупність спектрів реакції одиничних осциляторів (загасання 5%) на задані акселерограмами сейсмічні впливи з різними максимальними піковими прискореннями. Незначний вплив осадових відкладів малої товщини пояснюється відсутністю накопичення в них енергії падаючих, відбитих, заломлених та перевипромінених сейсмічних хвиль і тим, що їх власні частоти знаходяться поза інженерним діапазоном.

геологічного району № IV – 19,3 м. Розраховані для їх моделей спектри реакції свідчать, що потужні осадові відклади зміщують спектральний склад прогнозованих коливань в бік низьких частот, одночасно зменшуючи їх потужність.

Значний за товщиною осадовий шар за рахунок своїх реологічних властивостей може понизити значення максимальних пікових прискорень коливань ґрунту на вільній поверхні і збільшити максимальні прискорення у низькочастотній області.

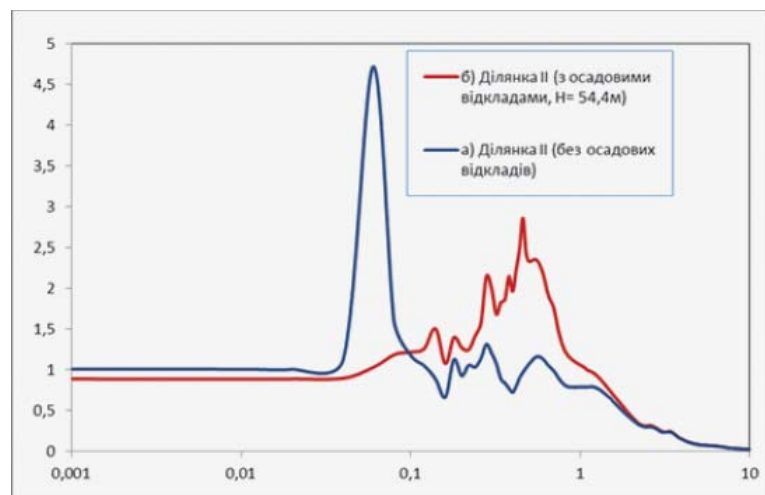


Рис. 4. Огинаючі сукупності спектрів реакції одиничних осциляторів (із загасанням 5%) на задані акселерограмами сейсмічні впливи з різними максимальними піковими прискореннями, якими моделюються коливання ґрунту на ділянці II (Ташлицька гребля) у випадках: а) ґрунтова товща без осадових відкладів (умовне зняття до метаморфічних гірських порід); б) з осадовими відкладами потужністю 54,4 м, середньо та інтенсивно вивітрілими гранітогнейсами потужністю 37,3 м на кристалічному фундаменті (півпросторі)



Зняття осадового шару, як видно з рис. 4, призведе до істотного збільшення пікового значення прискорень і їх переміщення в діапазон високих частот. Тобто, може спостерігатися ефект, протилежний до зображеного на рис. 2 і 3. Потужний шар середньо та інтенсивно вивітрених гранітогнейсів (в даному випадку товщиною 37,3 м) своїми резонансними властивостями перевищує вплив тонкого осадового шару. Таким чином, під час проектування сейсмостійкого об'єкту зняття осадового шару не завжди призведе до зменшення проявів сейсмічних впливів на будівельному майданчику. В кожному конкретному випадку необхідно враховувати як інформацію про очікувані в досліджуваному районі землетруси (їх максимальну інтенсивність, спектральний склад та тривалість), так і дані щодо будівельних характеристик проектного об'єкту. Це дозволить встановити доцільність (або її відсутність) зняття осадового шару для покращання сейсмічних умов майданчика. Незначна зміна параметрів осадового комплексу може суттєво вплинути на спектральний склад і величину сейсмічних коливань, що, в свою чергу, може збільшити сейсмічну вразливість проектованої споруди до реальних землетрусів з близьких потенційно сейсмоактивних зон та зони Вранча, здатної генерувати небезпечні землетруси практично на всій території України.

Дані про моделі і частотні характеристики ґрунтових комплексів на ділянках, виділених на території майданчика Ташлицької ГАЕС при його сейсмічному мікрорайонуванні, а також встановлені на їх основі значення кількісних характеристик сейсмічної небезпеки, у вигляді набору трикомпонентних розрахункових акселерограм, відкривають можливість істотного здешевлення сейсмостійкого будівництва за рахунок оптимального вибору конструктивних рішень, що дозволять уникнути збігу частот в максимальних сейсмічних коливаннях, резонансних частот підстилаючої ґрунтової товщі і власних частот проектованої будівлі (споруди).

Для підвищення сейсмічної безпеки будинків і споруд необхідно уникати збігу спектральних характеристик проектованих (або наявних) об'єктів зі спектральними характеристиками ґрунтових товщ під будівельними (експлуатаційними) майданчиками.

ВИСНОВКИ

Під час інтенсивних землетрусів в потужних пухких осадових відкладах під будівельними та експлуатаційними майданчиками виникають нелінійні ефекти, що підсилюють низькочастотні коливання, небезпечні для висотних і протяжних структур. З огляду на це, особливо важливі об'єкти слід, за можливості, зводити на метаморфічних гірських породах з мінімальним шаром осадових відкладів. Такі комплекси порід під майданчиками практично не підсилюють низькочастотні сейсмічні коливання.

В роботі на прикладі Ташлицької ГАЕС пред-

ставлено результати дослідження впливу літології та фізичних властивостей осадового шару на реакцію локальних ґрунтових умов при сейсмічних впливах з різними максимальними піковими прискореннями. Переверіено твердження, згідно якого, зменшення потужності осадового шару завжди покращує сейсмічні умови. Результати отримано шляхом моделювання реакції ґрунтової товщі на сейсмічні впливи з використанням програмного продукту ProShake.

Показано, що зменшення товщини осадового шару не обов'язково зменшує прояви сейсмічних впливів на будівельному майданчику. Рентабельність з усунення верхнього пухкого осадового шару слід оцінювати для кожного будівельного майданчика окремо. Незначна зміна параметрів, що характеризують локальні ґрунтові умови, може істотно змінити параметри сейсмічної небезпеки майданчика.

Дані про фільтруючі властивості ґрунтової товщі на окремих ділянках території, для якої визначаються кількісні характеристики сейсмічної небезпеки, дозволяють істотно здешевити сейсмостійке будівництво за рахунок уникнення підсилення осадовою товщею сейсмічних коливань на власних періодах проектованих споруд.

Під час проектування будинків і споруд слід уникати небезпечних резонансних ефектів, які можуть виникати при збігу максимумів частотних характеристик проектованих (або наявних) об'єктів з частотними характеристиками ґрунтових товщ під будівельними (експлуатаційними) майданчиками та їх окремими ділянками, виділеними в результаті проведення комплексу робіт з сейсмічного мікрорайонування території розміщення важливих, експериментальних та екологічно небезпечних об'єктів.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Кендзера О.В. Сейсмічна небезпека і захист від землетрусів (практичне впровадження розробок Ін-ту геофізики ім. С. І. Субботіна НАН України) / О.В. Кендзера // Вісн. Нац. акад. наук України. – 2015. – № 2. – С. 44–57. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/jpdf/vnanu_2015_2_10.pdf.
2. Немчинов Ю.І., Хавкін О.К., Мар'єнков М.Г. та ін. Практичні питання динаміки будівель // Будівництво України. — 2013. — № 6. — С. 6 — 21.
3. Кендзера О.В., Семенова Ю.В. Деформаційні характеристики розрахункових моделей ґрунтової товщі // Вісн. Київського нац. ун-ту імені Тараса Шевченка. Геологія. – 2017. – № 78, С.17-29.
4. Kendzera, O.V., Rushchitsky, J.J. & Semenova, Yu.V. Seismicity on the territory of Ukraine and modern methods on seismic hazard parameters determination for building sites // The 2017 China (Dongguan) Intern. Science and Technology Cooperation Week and 1st China (International), CHINA, 8-10 December, 2017.
5. Wang, Y.H. & Siu, W.K. (2006). Structure characteristics and mechanical properties of



- kaolinite soils. II. Effects of structure on mechanical properties. *Can. Geotech. J.* 43(6), 601–618.
6. Hashash, Y. (2012). *DeepSoil User Manual and Tutorial*. Department of Civil and Environmental Engineering Univ. of Illinois at Urbana-Champaign. Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign. 107 p.
 7. Bolisetti, C., Whittaker, A., Mason, H., Almufti, I. & Willford M. (2014). Equivalent linear and nonlinear site response analysis for design and risk assessment of safety-related nuclear structures. *Nuclear Engineering and Design*, 107–121. Online publication date: 1-Aug-2014. 10.1016/j.nucengdes.2014.04.033.
 8. Kalkanos, J., Baise L.G., Thompson E.M. & Dorfmann L. (2015). Comparison of 1D linear, equivalent-linear, and nonlinear site response models at six KiK-net validation sites, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering* 69, 207–219.
 9. Kim, B. & Hashash, Y. M. A. (2013). Site response analysis using downhole array recordings during the March 2011 Tohoku-Oki earthquake and the effect of long-duration ground motions, *Earthquake Spectra* 29, P. 37–54.
 10. Використання сейсмологічної інформації для науково-технічного супроводу проектування / [Єгупов К.В., Кендзера А.В., Вербицький С.Т. та ін.] // Сейсмологічні та геофізичні дослідження в сейсмоактивних регіонах: матер. наукової конф.-семінару, присвяченої пам'яті Т.З. Вербицького та Ю.Т. Вербицького, 1-2 червня 2017 р., с. м. т. Верхнє Синьовидне. – С. 58-61.
 11. Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. N.J.: Prentice Hall, Upper Saddle River, 672 p.
 12. ProShake Ground Response Analysis Program, version 1.1. User's Manual, EduPro Civil Systems, Washington, USA, 1998, 54 p.
 13. Schnabel, P.B., Lysmer, J. & Seed, H.B. (1972). SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites. Report No. EERC 72-12. Berkeley, California: Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, 102 p.
 14. Сейсмическое микрорайонирование / отв. ред. О.В. Павлов, В.А. Рогожина. –М.: Наука, 1984. – 236 с.

REFERENCES

1. Kendzera, O.V. (2015). Seismic hazard assessment and protection against earthquakes (Practical applications of developments of Subbotin Inst. of Geophysics of NAS of Ukraine). *Bull. of the Nat. Acad. of Sciences of Ukraine*, 2015, issue 2, pp. 44-57. Access mode: http://nbuv.gov.ua/jpdf/vnanu_2015_2_10.pdf [in Ukrainian].
2. Nemchinov, Y., Havkin, D., Marienkov, M., Dunin, V., Babik, K., Yegupov, K. et al. (2013). Practical aspects of the dynamics of buildings. *Scientific and production magazine «Construction of Ukraine»*, iss. 6, pp. 6-21 [in Ukrainian].
3. Kendzera, A.V. & Semenova, Yu.V. (2017). Deformation Characteristics of Computational

- Model of Soil Strata. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv: Geology*, 2017, iss. 78, pp. 17-29 [in Ukrainian].
4. Kendzera, O.V., Rushchitsky, J.J. & Semenova, Yu.V. (2017). Seismicity on the territory of Ukraine and modern methods of seismic hazard parameters determination for building sites. The 2017 China (Dongguan) Intern. Science and Technology Cooperation Week and 1st China (International), CHINA, 8-10 December, 2017 [in English].
 5. Wang, Y.H. & Siu, W.K. (2006). Structure characteristics and mechanical properties of kaolinite soils. II. Effects of structure on mechanical properties. *Can. Geotech. J.* 43(6), 601–618 [in English].
 6. Hashash, Y. (2012). *Deep Soil User Manual and Tutorial*. Department of Civil and Environmental Engineering Univ. of Illinois at Urbana-Champaign. Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign. 107 p. [in English].
 7. Bolisetti, C., Whittaker, A., Mason, H., Almufti, I. & Willford, M. (2014). Equivalent linear and nonlinear site response analysis for design and risk assessment of safety-related nuclear structures. *Nuclear Engineering and Design*, 107–121. Online publication date: 1-Aug-2014. 10.1016/j.nucengdes.2014.04.033 [in English].
 8. Kalkanos, J., Baise, L.G., Thompson, E.M. & Dorfmann, L. (2015). Comparison of 1D linear, equivalent-linear, and nonlinear site response models at six KiK-net validation sites. *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 69, pp. 207–219 [in English].
 9. Kim, B. & Hashash, Y. M. A. (2013). Site response analysis using downhole array recordings during the March 2011 Tohoku-Oki earthquake and the effect of long-duration ground motions. *Earthquake Spectra*, 29, pp. 37–54 [in English].
 10. Yegupov, K., Kendzera, A., Verbytsky, S., Semenova, Yu., Lisovyi, Yu. & Yegupov V. (2017). Use of seismological information for a scientific and technical design companion // *Seismological and geophysical studies in seismically active regions. The materials of the scientific conf.-seminar devoted to the memory of Z.T. Verbytsky and Y.T. Verbytsky*, June 1-2, 2017, Synovydne, pp. 58-61 [in English].
 11. Kramer, S.L. (1996). *Geotechnical Earthquake Engineering*. N.J.: Prentice Hall, Upper Saddle River, 672 p. [in English].
 12. ProShake Ground Response Analysis Program, version 1.1. User's Manual, EduPro Civil Systems, Washington, USA, 1998, 54 p. [in English].
 13. Schnabel, P.B., Lysmer, J. & Seed, H.B. (1972). SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites. Report No. EERC 72-12. Berkeley, California: Earthquake Engineering Research Center, Univ. of California, 102 p. [in English].
 14. Pavlov, O. V. & Rogozhina, V. A. (Eds.). (1984). *Seismic microzoning*. M.: Nauka, 236 p. [in Russian].

Стаття надійшла до редакції 12.06.2018 р.