

## ГЕОФІЗИЧНІ ПРОБЛЕМИ БУДІВНИЦТВА В УКРАЇНІ

Кендзера О.В.

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України  
м. Київ, Україна

**АНОТАЦІЯ:** На території України існує небезпека від місцевих землетрусів і сильних підкоркових землетрусів зони Вранча (Румунія). ІГФ НАН України проводить дослідження з вивчення будови і динаміки земних надр, розвитку методики визначення кількісних характеристик реальної сейсмічної небезпеки. Результати науково-дослідних робіт використано при формуванні державних нормативних документів в галузі сейсмології і сейсмостійкого будівництва, при визначенні сейсмостійкості житла, АЕС, ГЕС та інших важливих об'єктів.

**АННОТАЦИЯ:** На территории Украины существует опасность от местных землетрясений и сильных подкорковых землетрясений зоны Вранча (Румыния). ИГФ НАН Украины проводит исследования по изучению строения и динамики земных недр, развития метода определения количественных характеристик реальной сейсмической опасности. Результаты научно-исследовательских работ использовано при формировании государственных нормативных документов в области сейсмологии и сейсмостойкого строительства, при определении сейсмостойкости жилья, АЭСЧ, ГЭС и других важных объектов.

**ABSTRACT:** Danger of the local earthquakes and strong subcortical earthquakes of Vrancea zone (Romania) is presence in Ukrainian territory. Institute of Geophysics National Academy of sciences of Ukraine are carrying out the researches and analysis of Earth interior dynamic and structure, it is developing the method for determination of specification of quantity for real seismic danger. The results of the researches are used there when formation of the State Normative documents in area of seismology, earthquake engineering and classification of seismic resistance of the buildings, NPP, hydro plants and other important objects.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** землетрус, сейсмічна небезпека, загальне і детальне сейсмічне районування, розрахункові акселерограми, сейсмостійкість.

## АКТУАЛЬНІСТЬ

До 70-тих років 20-го століття помилково вважалося, що на більшій частині території України, розташованій на древній Східноєвропейській тектонічній платформі, не можуть відбуватися значні землетруси. З огляду на це, більшість будинків і споруд на цій території будувалися без сейсмічного захисту. На даний час відомо, що сейсмічна небезпека території України визначається тісним сусідством її західних, південно-західних і південних областей з потужним сейсмоактивним поясом планети, який утворився в результаті колізії Африканської, Арабської і Євразійської материкових плит. Більшість пружної енергії, яка виділяється в поясі, реалізується у вигляді землетрусів різної інтенсивності безпосередньо в ньому, але значна частина пружної енергії передається в тектонічні структури відносно спокійної Східноєвропейської платформи. В цих структурах можуть виникати небезпечні місцеві землетруси. Світовий досвід показує, що внутріплитові землетруси відбувалися в межах усіх древніх тектонічних платформ світу, хоча і набагато рідше, ніж в сейсмоактивних поясах [1]. На жаль, землетруси на відносно стабільних тектонічних платформах приводять до значних економічних втрат, через невідготовленість будинків і споруд до їх впливів.

На рис. 1 показано спричинені Кримським землетрусом 1927 р. руйнування споруди «Ластівчине гніздо», побудованої на скельній основі [2].

По усій території України відчуваються сильні підкорові землетруси зони Вранча (Румунія). Останні сильні землетруси відбулися у 1940, 1977, 1986 і 1990 роках.

В цілому, до 40% території України можуть бути охоплені безпосереднім впливом небезпечних сейсмічних подій і до 70% - спільним впливом землетрусів із підтопленням, зсувами, просадками та іншими інженерно-геологічними процесами, які негативно впливають на стійкість споруд [3].

Сейсмонебезпечні райони України, з прогнозованою інтенсивністю сейсмічних струшувань 6-9 балів, займають біля 20% території ( $\approx 120$  тис. км<sup>2</sup>), на якій проживає понад 10 млн. чоловік. Райони з інтенсивністю 7-9 балів займають територію біля 12% і включають майже 80 населених пунктів, в яких проживає понад 7 млн. чоловік [3].

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України (ІГФ НАН України) виконує фундаментальні і прикладні геофізичні дослідження, результати яких необхідні для сейсмічного захисту житла, промислових споруд, енергетичних об'єктів і забезпечення стабільного розвитку країни.

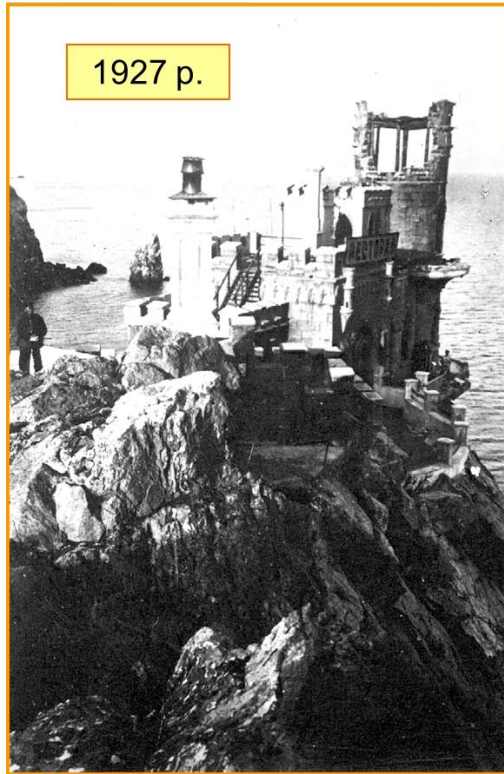


Рис. 1. «Ластівчине гніздо» зруйноване кримським землетрусом 1927 р.

## **СПОСТЕРЕЖЕННЯ – ОСНОВА СЕЙСМІЧНОГО ЗАХИСТУ**

Згідно українських нормативних документів, захищатися від сейсмічної загрози повинні власники (розпорядники) будинків і споруд. Але інформацію: від чого слід захищатися – в країні можна одержати лише на основі даних режимних сейсмологічних спостережень, які здійснюють сейсмологічні станції НАН України та інтегровані в неї локальні сейсмологічні мережі. Сучасна конфігурація мережі сейсмічних станцій НАН України показана на рис. 2. До її складу входять 38 режимних сейсмічних станцій, регіональний (м. Львів) і Національний (м. Київ) сейсмологічні центри.

Щороку станції сейсмологічної мережі України фіксують сотні сейсмічних подій як на її території, так і на території суміжних районів. Для прикладу, на рис. 3 показано положення вогнищ землетрусів на

південному заході Східноєвропейської платформи, зареєстрованих Карпатською мережею сейсмічних станцій НАН України в 4-му кв. 2015 р.

В ІГФ НАН України розроблено проект подальшого розвитку сейсмологічної мережі, орієнтований на одержання матеріалів, необхідних для забезпечення оптимального сейсмостійкого проектування і будівництва важливих і екологічно небезпечних об'єктів, житлових будинків і громадських споруд.

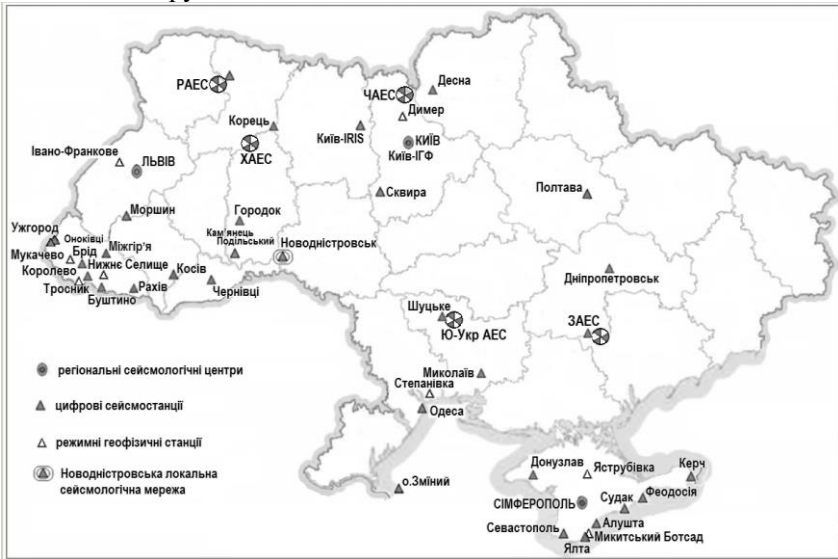


Рис. 2. Основною ланкою, яка поставляє об'єктивні дані для діяльності в галузі захисту від землетрусів, є мережа сейсмічних спостережень НАН України

Для вирішення проблеми сейсмічного захисту країни наукові дослідження ведуться в наступних напрямках: розробка теорії розв'язання прямих і обернених задач геофізики, вивчення глибинної будови, динаміки та енергетики земної кори окремих регіонів і локальних структур; вивчення сейсмічності території країни і суміжних районів, розробка програмних засобів збору та обробки геолого-геофізичної інформації, створення банків даних, вивчення характеристик спостережних геофізичних явищ, параметрів зареєстрованих полів та характеристик їх джерел; побудова комплексних геофізичних моделей геологічного середовища; інтерпретація результатів геофізичних досліджень; створення апаратурно-програмних комплексів для геофізичних спостережень; вирішення практичних інженерно-геологічних задач; досліджень динаміки напружено-деформованого стану геологічного середовища; розробка методики дослід-

ження кількісних параметрів сейсмічної небезпеки для встановлення сейсмосійності особливо важливих будівель і споруд; сейсмічне мікрорайонування територій населених пунктів, майданчиків нетипових та експериментальних будинків і споруд, проєктованих в сейсмічних районах країни.

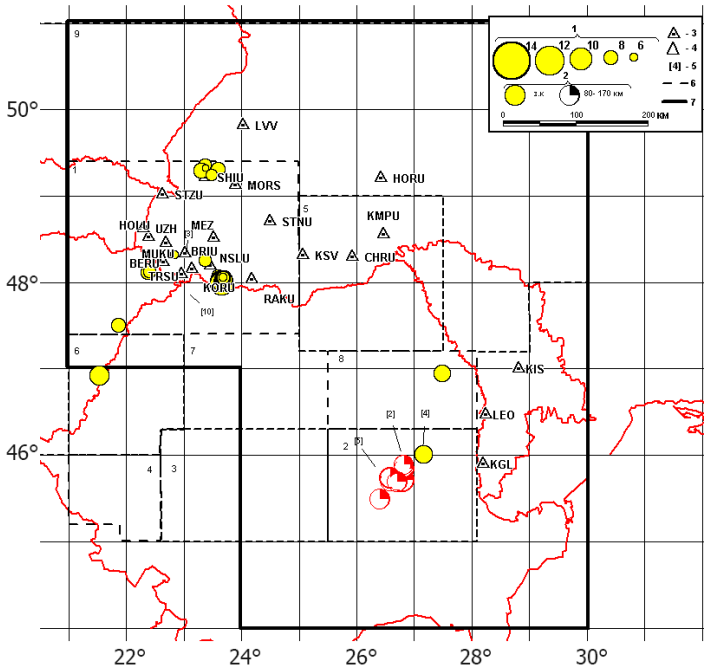


Рис. 3. Вогнища землетрусів Карпатського регіону зареєстрованих мережею сейсмічних станцій НАН України в 4 кварталі 2015 р.

Позначення: 1 – енергетичний клас землетрусу; 2 – глибина вогнища: корові і підкорові події; 3 – сейсмічні станції Карпатської мережі ІГФ НАН України і опорні сейсмостанції Молдови; 4 – номери районів підвищеної сейсмічної активності (рої землетрусів); 5 – границі умовних районів сейсмічних досліджень згідно міжнародного поділу; 6 – границі сейсмічного регіону контрольованого Карпатською мережею сейсмологічних станцій

Сейсмологічні дослідження ІГФ НАН України проводяться відповідно до Постанови Кабінету Міністрів України від 11.09.1996 року № 728 , Постанови Кабінету Міністрів України від 28.06.97 року № 699, Закону України від 22.02.2000 р. № 1487-III і Закону України від 8.06.2000 р. № 1809-III.

В результаті виконання співробітниками ІГФ НАН України фундаментальних і прикладних досліджень в галузі вивчення глибинної будови та еволюції Землі геолого-геофізичними методами, геофізичних досліджень навколишнього середовища з метою вивчення геодинаміки, та пов'язаних з нею, загрозливих природних і природно-техногенних явищ, аналізу і узагальнення досягнень світової геофізичної науки - подальшого розвитку і удосконалення набули методи загального (ЗСР), детального сейсмічного районування (ДСР) та сейсмічного мікрорайонування (СМР) для потреб сейсмостійкого проектування і будівництва житла, важливих і екологічно-небезпечних споруд (АЕС, ГЕС, хвостосховищ небезпечних відходів, газонапірних станцій, продуктопроводів тощо).

## ЛОКАЛЬНА СЕЙСМІЧНІСТЬ УКРАЇНСЬКОЇ ЧАСТИНИ СХІДНОЄВРОПЕЙСЬКОЇ ПЛАТФОРМИ

На платформній частині України відомо кілька відчутних місцевих землетрусів. Їх вогнища знаходилися в межах земної кори, внаслідок чого сейсмічний ефект мав локальний характер. Інтенсивність сейсмічних струшувань в епіцентральної зоні досягала 6-7 балів за шкалою MSK-64. За історичними даними, наведеними в [4,7], такі землетруси проявилися на межі Кіровоградської та Черкаської областей - 7 балів (в 1873 р.); у Донецькій області (район Костянтинівки) -  $6 \pm 1$  бал (в 1937 р.); Харківській - 5-6 балів (в 1858 і 1913 роках); Чернігівській -  $5 \pm 1$  бал (в 1905 р.); Тернопільській - 6 балів (у 2002 р.) і в ряді інших місць. Рідкі сейсмічні події природного характеру в умовах древньої платформи викликають підвищений інтерес сейсмологів навіть у разі невеликої магнітуди, особливо якщо вони відчувалися населенням.

3 лютого 2015 в 05 год. 56 хв. за Гринвічем на границі Сумської та Полтавської областей України відбувся землетрус з магнітудою  $m_b = 4.6$ . Він був зареєстрований усіма сейсмологічними станціями країни і десятками станцій глобальної сейсмічної мережі. За історичними даними безпосередньо в цій частині України ще не спостерігалися землетруси такої величини. Епіцентр землетрусу знаходився в зоні, де з імовірністю не перевищення 95% за найближчих 50 років можливі землетруси з інтенсивністю струшувань 5 балів, а з імовірністю не перевищення 99% - 6 балів [5].

Епіцентр землетрусу розташовувався в зоні зчленування двох великих структурних елементів Східноєвропейської платформи – північного крила Дніпрово-Донецької западини (ДДЗ) і південного схилу Воронезького кристалічного масиву (ВКМ).

Для вивчення сейсмічних проявів співробітниками ІГФ НАН України було проведено макросейсмічне обстеження його наслідків. За

даними візуального спостереження та обробки інформації, отриманої в результаті опитування населення в районах, де відчувався землетрус, побудована карта-схема його макросейсмічних проявів. Показано, що в епіцентральної зоні землетрусу на ґрунтах 2-ї категорії за сейсмічними властивостями спостерігалися 6-ти бальні сейсмічні ефекти. На відкритій місцевості люди відчували два потужні поштовхи. В будинках падали незакріплені предмети, пересувалися і падали меблі, люди лякалися і вибігали з будинків. Коливалася вода в резервуарах. В окремих цегляних будинках спостерігалися тріщини в стінах і руйнування димових труб, в багатьох сільських будівлях з'явилися тріщини в штукатурці. Землетрус відчувався в радіусі 50 км від макросейсмічного епіцентру. За результатами обстежень визначено координати макросейсмічного епіцентру землетрусу: широта 50.49°N, довгота 34.22°E. Максимальні спостережувані сейсмічні ефекти, в цілому, відповідають інтенсивності, показаній на карті загального сейсмічного районування ЗСР-2004-С, яка є складовою частиною Державних будівельних норм ДБН-В.1.1:12-2014 «Будівництво в сейсмічних районах України» [5].

Про необхідність уважніше вивчати сейсмічність платформної частини території країни, звертаючи особливу увагу на територію зони сполучення північного краю потужного сейсмоактивного поясу нашої планети, який виник внаслідок колізії великих континентальних плит: Євразійської, Африканської, Арабської і Індійської. Зокрема, свідчить землетрус, який відбувся 07.08.2016 р. в 11 год. 15 хв. з магнітудою, яка за даними різних станцій оцінюється як 4.6-4.9. Вогнище землетрусу було на глибині 10 км поблизу м. Маріуполя Донецької області. В результаті землетрусу ніхто не постраждав. Але відчували землетрус з різною інтенсивністю дуже багато людей. Координати вогнища землетрусу, отримані за даними українських сейсмічних станцій і найближчих сейсмічних станцій Глобальної сейсмічної мережі оцінюються як: широта 47,35°N, довгота 37,52°E. Завдяки великій глибині вогнища, землетрус відчувався на значній за площею території. В епіцентрі землетрус проявився з інтенсивністю 6 балів за шкалою MSK-64. Він відчувався людьми в Маріуполі, Бердянську, Запоріжжі, Дніпрі, Донецьку, Ростові на Дону і багатьох інших населених пунктах.

Попередній інструментально зареєстрований землетрус з вогнищем недалеко від Маріуполя відбувся в акваторії Азовського моря 4.01.2014 р (широта 46,10°N, довгота 36,60°E, глибина вогнища  $h = 15$  км, магнітуда  $M = 3,3$ ). До цього в Азовському морі були з землетруси зареєстровані в 1978 і 1990 рр.

## СЕЙСМІЧНІСТЬ КРИВОРІЗЬКОГО БАСЕЙНУ

Дослідження катастроф в районах інтенсивного видобутку корисних копалин показало, що в них відбуваються незворотні зміни в напружено-деформованому стані геологічного середовища, які призводять до активізації небезпечних природно-техногенних процесів. В першу чергу до них відносяться: зсуви, обвали порід, підтоплення, землетруси, гірські удари тощо. На даний час, як правило, основні кошти державного бюджету і місцевих громад спрямовуються виключно на ремонтно-захисні заходи локального характеру при ліквідації наслідків негативних природних і природно-техногенних явищ. Нові об'єкти проєктуються, споруджуються і експлуатуються без урахування реального стану геологічного середовища і процесів, які відбуваються в ньому.

В районі Кривого Рогу протягом останніх років відбулися декілька землетрусів, причини і природа яких вимагають подальшого дослідження. Сучасна активізація тектонічних розломів в цьому районі супроводжується розвитком підземних пустот, карстових утворень, зсувних ділянок та іншими загрозливими явищами. Найсильніший з криворізьких землетрусів відбувся 7.05.2008 р. з  $M=4,9$ ;  $h=10$  км. Останній з відчутних - мав місце 24.06.2013 р. Його інтенсивність в епіцентрі досягала 3 балів за шкалою MSK-64.

В ІГФ НАН України ініційовано проведення комплексу науково-дослідних робіт з виявлення, вивчення і картування загрозливих геологічних явищ в Криворізькому залізорудному басейні. Роботи скеровано на запобігання виникненню в майбутньому, на території інтенсивного видобутку корисних копалин, катастроф природно-техногенного характеру.

На виконання Постанови КМ України від 03 серпня 1998 року № 1198 «Про єдину державну систему запобігання і реагування на надзвичайні ситуації техногенного та природного характеру» на території платформної частини України створено і включено в режимну роботу сейсмологічну станцію «Кривий Ріг», йде налагодження роботи нових сейсмічних станцій «Дніпро» та «Кременчук», які будуть експлуатуватися в містах Дніпро та Кременчук спільно з ДГЕ «Дніпрогеофізика» ГПП «Укргеофізика» в рамках наукової співпраці між ІГФ НАН України і ГПП «Укргеофізика». Зазначені станції дозволить краще вивчати сучасну сейсмічність західної частини Східноєвропейської платформи в межах території центральної і східної України та суміжних з нею районів.

На основі вивчення записів місцевих сейсмічних подій в районі м. Кривий Ріг, які відбулися в 2006 - 2015 рр. і були зареєстровані мережею сейсмологічних станцій ІГФ НАН України, та узагальнення геолого-геофізичних даних про будову земної кори в досліджуваному районі, і



зокрема, про будову шовної зони на границі Інгульського та Середньопридніпровського мегаблоків Українського щита, було встановлено основні параметри вогнищ криворізьких землетрусів і висунуто гіпотезу про їх природно-техногенне походження. Встановлено, що при масштабних розробках покладів корисних копалин, із застосуванням потужних вибухів в шахтах (на глибинах 440...1300 м), в районі Криворізької залізорудної структури не можна виключати виникнення землетрусів з магнітудою вищою 5,0.

## **ВПЛИВ ЗЕМЛЕТРУСІВ ЗОНИ ВРАНЧА**

На значній частині території України проявляються сильні підкорові землетруси зони Вранча [2, 4, 6]. Зона розташована на крутому згині гірської дуги в місці зчленування Східних і Південних Карпат на території Румунії. Вона є частиною Середньоморсько-Альпійсько-Гімалайського сейсмоактивного поясу планети. Під значним впливом землетрусів зони Вранча перебувають південний захід (аж до Буковини включно) і центр України. Останні сильні землетруси в зоні Вранча відбувалися в 1940, 1977, 1986 і 1990 роках. У Румунії і сусідній Молдові вони викликали значні руйнування, а події 1940 і 1977 років, навіть, людські жертви.

Особливістю сильних землетрусів Вранча є значна глибина їх вогнищ (70–190 км). Встановлена тенденція до заглиблення вогнищ із збільшенням магнітуди землетрусів. Основна частина підкорових землетрусів виникає в локальній області об'ємом 75 x 50 x 25 км. Більшість землетрусів мають ізосейсти витягнуті на північний схід від зони Вранча. Істотні відмінності в їх конфігурації обумовлені відмінностями в будові середовища на шляхах поширення сейсмічних хвиль і особливостями механізмів вогнищ (діаграмами випромінювання сейсмічної енергії). Для зони Вранча характерним є підкидо-зсувний тип переміщення у вогнищах землетрусів при діагональній орієнтації головних стискуючих напружень.

Завдяки великим магнітудам і значним глибинам вогнищ, землетруси зони Вранча відчуваються населенням на величезній території: від Греції на півдні - до Фінляндії на півночі і від європейської частини Росії на сході до Німеччини на заході. Сильні підкорові землетруси зони Вранча відчуваються практично на всій території України. Побудовані в результаті макросейсмічних обстежень карти ізосейст підкорових землетрусів зони Вранча показують, що інтенсивність сейсмічних струшувань на території південно-західного регіону Східноєвропейської платформи плавно змінюється від 7-8 балів на південному заході Одеської області до 3-4 балів в північно-східних районах України.

## МЕТОДИКА ПРОГНОЗУВАННЯ КІЛЬКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ СЕЙСМІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ

За даними обробки сейсмологічних записів постійно поповнюється комп'ютерна база даних про світові землетруси та сейсмічні події, які відбулися в ближній зоні та безпосередньо на території України. Поповнюються бази цифрових сейсмограм сейсмічних подій і мікросейсмічних коливань, спостережених на сейсмічних станціях. Дані про параметри сейсмічності і сейсмічної небезпеки території України, результати оперативного визначення параметрів вогнищ землетрусів з  $M > 6$  на планеті та з  $M > 3$  на території України і інформація про їх макросейсмічні прояви - надаються Державній службі надзвичайних ситуацій, Мінрегіонбуду, Мінприроди, обласним держадміністраціям, прокуратурі, слідчим МВС України, засобам масової інформації та іншим зацікавленим установам для використання в їх діяльності. Сейсмологічні дані публікуються в щорічних «Сейсмологічних бюлетенях України», у фахових журналах і міжнародних збірниках.

В ІГФ НАН України розроблено і впроваджено в практику методику прогнозування кількісних параметрів сейсмічної небезпеки для потреб сейсмічного захисту, яка базується на результатах аналізу сейсмологічних спостережень, виконуваних мережею сейсмічних станцій НАН України та локальними сейсмологічними мережами, на сучасних методах обробки цифрових сейсмічних записів та нових апаратно-програмних засобах контролю метрологічних параметрів реєструючих сейсмологічних трактів.

Оцінку сейсмостійкості важливих споруд і їх окремих конструкцій проектувальники сейсмостійких об'єктів здійснюють з використанням розрахункових акселерограм і спектрів реакції (на акселерограми) систем одиничних осциляторів із різними періодами власних коливань і різними значеннями загасання [5, 6, 8].

Розрахункові акселерограми є функціями часу, які моделюють компоненти вектору прискорень в прогнозованих сейсмічних рухах поверхні ґрунту на будівельному (експлуатаційному) майданчику при землетрусах, які можуть реалізуватися на ньому один раз в 1000 років для проектного землетрусу (ПЗ) і один раз в 10000 років для максимального розрахункового землетрусу (МРЗ).

В залежності від: положення зони відносно майданчика, його сейсмічного режиму, величини виділеної у вогнищі енергії, механізму вогнища землетрусу, діаграми направленості випромінювання сейсмічної енергії а також від спектральних особливостей впливу середовища на шляху поширення сейсмічних хвиль від вогнища до майданчика АЕС - змінюються величини пікових прискорень, тривалість коливань, форма обвідної та спектральний склад розрахункових акселерограм.

В ІГФ НАН України розроблено методику побудови розрахункових акселерограм, яка відповідає вимогам МАГАТЕ [8] і базується на максимальному використанні інформації, що міститься в зареєстрованих сейсмічних подіях з небезпечних для об'єкта сейсмоактивних зон. Для генерування розрахункових акселерограм застосовується напівемпіричний підхід, який базується на використанні емпіричних аналогів функції Гріна, у вигляді записів слабких землетрусів (вибухів), зареєстрованих безпосередньо на майданчику, і на регіональних закономірностях формування амплітудних спектрів сейсмічних коливань [8-13]. Функції Гріна описують особливості випромінювання енергії з вогнища і вплив середовища на шляху сейсмічних хвиль від зон виникнення землетрусів до майданчика АЕС. Перевага запропонованого методу над зарубіжними аналогами полягає у тому, що відповідає необхідність теоретично розраховувати передаточні функції середовища з використанням його моделей, для надійного визначення параметрів яких необхідно проводити додаткові дороги і трудові дослідження.

### **ЧАСТОТНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ҐРУНТІВ ПІД БУДІВЕЛЬНИМИ МАЙДАНЧИКАМИ**

В ІГФ НАН України розвинуто методику визначення резонансних властивостей ґрунтових комплексів під будівельними майданчиками, яка враховує нелінійну поведінку ґрунтів при сейсмічних впливах. В її основі методики лежить аналітично-емпіричний підхід. Підсилення коливань ґрунтами має складний вигляд, залежить від багатьох факторів і може суттєво відрізнитися для різних будівельних майданчиків. При сейсмостійкому проектуванні будинків і споруд необхідно правильно враховувати фільтруючі властивості ґрунтових комплексів з врахуванням можливого суттєвого збільшення коливань на «резонансних» частотах. Частотні характеристики ґрунтів при значних сейсмічних навантаженнях слід розраховувати з урахуванням впливу реологічних властивостей ґрунтових товщ і нелінійних методів розрахунку їх частотних характеристик.

Для побудови АЧХ з врахуванням реологічних властивостей ґрунтів в ІГФ НАН України сформовано базу даних, яка в графічному і цифровому вигляді містить інформацію про залежність модуля зсуву і коефіцієнта поглинання від величини зсувної деформації для різних типів ґрунтів, характерних для майданчиків, розташованих на території України, зокрема в Києві, Одесі та в місцях розташування ряду важливих об'єктів. Розроблено та впроваджено алгоритм побудови розрахункових сейсмогеологічних моделей ґрунтової товщі з врахуванням її нелінійних деформаційних характеристик.

На рис. 4 представлено АЧХ моделей ґрунтових товщ під деякими будівельними майданчиками в м. Києві. Видно, що вони характеризуються одним або двома максимумами в частотному діапазоні від 0,2 до 2 Гц. Цей низькочастотний діапазон можливого підсилення коливань обов'язково потрібно враховувати при проектуванні висотного сейсмостійкого будівництва в Києві, оскільки найбільшу небезпеку для висотних будівель тут представляють низькочастотні коливання від підкорових вогнищ сильних землетрусів, що відбуваються в Східних Карпатах (зона Вранча, Румунія).

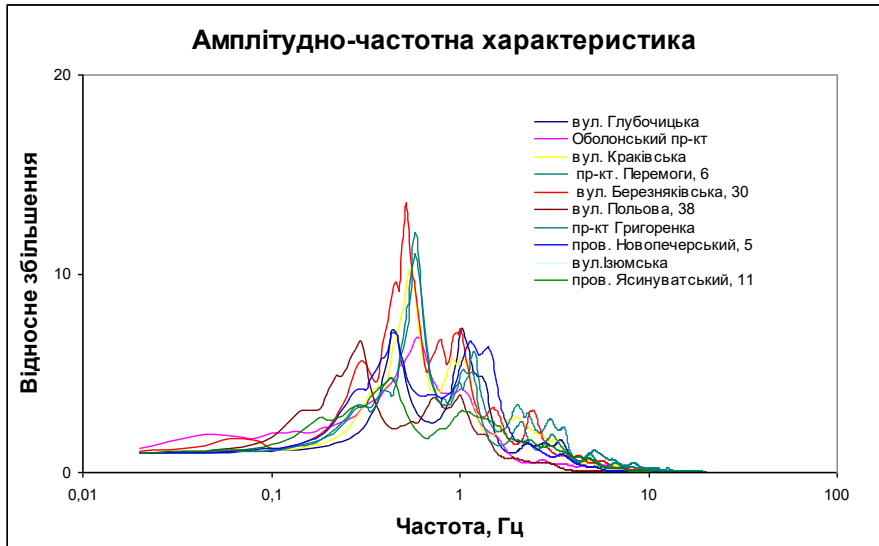


Рис. 4. АЧХ характеристики моделей ґрунтового середовища під будівельними майданчиками Києва (Семенова Ю.В.)

## ЛОКАЛЬНІ МЕРЕЖІ ДЛЯ МОНИТОРИНГУ СЕЙСМІЧНОЇ СИТУАЦІЇ НАВКОЛО АЕС

Використання розробленої в ІГФ НАН України напівемпіричної технології прогнозування величини, спектрального складу, тривалості та інших параметрів потенційно можливих сейсмічних впливів, із заданою імовірністю їх не перевищення за заданий період, стало можливим завдяки реалізації рекомендацій ІГФ НАН України щодо необхідності організації в районах розташування АЕС і ГЕС локальних мереж сейсмічних станцій. В результаті, Мінпаливенерго України разом з ДП НАЕК «Енергоатом» прийняли «План заходів з оцінки сейсмічної небезпеки і перевірки сейсмостійкості діючих АЕС», затверджений Постановою Колегії Державного

комітету з ядерного регулювання України №7 від 19.02.2009 р. На реалізацію цього плану ІГФ НАН України розробив проекти локальних мереж для моніторингу сейсмічної ситуації навколо усіх Українських АЕС.

Основними завданнями локальних мереж сейсмологічних спостережень навколо важливих об'єктів є:

- Одержання об'єктивної інформації про наявність (або відсутність) зміни геодинамічної ситуації в районі розташування об'єкту, шляхом реєстрації слабких землетрусів, які виникають на активізованих тектонічних структурах.

- Одержання даних про резонансні властивості ґрунтів на майданчику, які дозволяють ефективно (відносно дешево) захищатись від майбутніх максимальних землетрусів, шляхом внесення змін у власні періоди коливань об'єктів і відповідальних конструкцій для уникнення резонансних ефектів.

- Одержання даних для визначення кількісних параметрів проектного (ПЗ) і максимального розрахункового землетрусів (МРЗ) із місцевих і віддалених сейсмоактивних зон, для побудови розрахункових акселерограм і спектрів реакції.

- Одержання об'єктивної інформації про параметри сейсмічних впливів на будівлі та відповідальні конструкції при реалізації сильних місцевих і віддалених землетрусів, необхідної для прийняття рішень про необхідність (або відсутність необхідності) додаткової перевірки надійності споруд і обладнання, яке зазнало сейсмічних впливів.

- Одержання інформації, необхідної для оптимального налагодження параметрів датчиків вібраційного захисту.

## **РОЗРОБКА НОРМАТИВНИХ ДОКУМЕНТІВ**

Протягом 2006-2014 років, які пройшли з часу розробки Державних будівельних норм ДБН В.1.1.12:2006 "Будівництво в сейсмічних районах України" [5], від проектних і наукових установ було отримано ряд зауважень та пропозиції щодо удосконалення деяких його положень. З огляду на це, та з метою гармонізації українських будівельних норм з міжнародними стандартами визначення параметрів сейсмологічної небезпеки та сейсмічного захисту будівель і споруд, на замовлення Міністерства регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, співробітниками ІГФ НАН України удосконалювалася сейсмологічна частина норм. В редакції Державних будівельних норм України (ДБН В.1.1-12:2014) «Будівництво в сейсмічних районах України» [6], були внесені наступні зміни:

- удосконалено підхід до використання карт загального сейсмічного районування (ЗСР) території України відповідно до класу наслідків (відповідальності) будівель і споруд, проєктованих в сейсмічних районах країни;
- уточнено вимоги до сейсмічного мікрорайонування будівельних майданчиків;
- удосконалено методи визначення кількісних параметрів сейсмічної небезпеки для спектрального і динамічного підходів у розрахунках сейсмостійкості будинків і споруд;
- удосконалено методи визначення сейсмостійкості проєктованих і наявних об'єктів.

ДБН В.1.1-12:2014 [6] стали чинними з 1.10.2014 р. і регламентують усі проєктні та будівельні роботи в сейсмічних районах країни.

Важливою складовою частиною Державних будівельних норм (ДБН В.1.1-12:2014) є набір карт загального сейсмічного районування території України [2,5,6] з розподілом прогнозованої інтенсивності сейсмічних струшувань (сейсмічної бальності), яка не буде перевищена за найближчі 50 років з імовірністю: 90, 95 та 99 відсотків для карт А, В і С - відповідно. Набір карт ЗСР для території України розроблявся ІГФ НАН України спільно з Кримською експертною радою з оцінки сейсмічної небезпеки і прогнозу землетрусів.

Порівняльний аналіз карт ЗСР, представлених в ДБН В.1.1-12:2014 [5, 6] з картою СР-78, яка була чинна на території країни до 2007 року, разом з Будівельними нормами СНиП 2-7-81, показує, що до появи норм [5, 6] багато важливих і екологічно небезпечних об'єктів на території України (в сейсмічних зонах з прогнозованою інтенсивністю сейсмічних струшувань 6 і більше балів) було побудовано у не сейсмостійкому варіанті. Для багатьох з них ризик руйнування при максимальних можливих землетрусах залишається невизначеним.

Для гармонізації з Європейськими стандартами (EUROCODE 8), було розроблено сейсмологічні розділи до проєкту Національного стандарту України ДСТУ-Б-В.1.1-28:2010 «Захист від небезпечних геологічних процесів. Шкала сейсмічної інтенсивності», був введений в дію Наказом Мінрегіонбуду України від 23 грудня 2010 року N 539. Слід зауважити, що макросейсмічні шкали MSK-64 і EMS-98 залишаються наукометричною основою ДСТУ-Б-В.1.1-28:2010.

## **СЕЙСМІЧНЕ МІКРОРАЙОНУВАННЯ**

Важливим напрямком досліджень сейсмічної небезпеки територій розміщення будівельних і експлуатаційних майданчиків є роботи з їх сейсмічного мікрорайонування (СМР). В результаті СМР одержуються уточнена, у порівнянні з додатками «А» і «Б» ДБН В.1.1-12-2014

«Будівництво у сейсмічних районах України», оцінка прогнозованої сейсмічної небезпеки в термінах сейсмічної бальності, а також генеруються розрахункові акселерограми, якими моделюють сейсмічні впливи при проектному і максимальному розрахунковому землетрусах. Роботи з СМР повинні виконуватися, як правило, в передпроектний період (крім СМР ділянок розміщення експлуатованих об'єктів), на підставі відповідних документів КМ та ВР України та вимог ДБН В.1.1-12-2014 «Будівництво у сейсмічних районах України». Рекомендується проводити роботи за наступною типовою програмою: «Програма робіт з сейсмічного мікрорайонування для оцінки сейсмічної небезпеки території розташування об'єкту».

Мета: визначити кількісні характеристики сейсмічної небезпеки в термінах сейсмічної бальності для проектного (ПЗ – раз в 500 років) і максимального розрахункового (МРЗ – раз в 5000 років) землетрусів і у вигляді розрахункових акселерограм і спектрів реакції, які використовуються для моделювання сейсмічних впливів (у вигляді повного вектору прискорень в прогнозованих сейсмічних коливаннях) від місцевих землетрусів і землетрусів зони Вранча. Дані про динамічні характеристики розрахункових землетрусів необхідні для забезпечення сейсмостійкості проєктованих відповідальних споруд, згідно вимог ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво в сейсмічних районах України».

*Основні задачі, які необхідно виконати для досягнення мети СМР:*

1. Організація та проведення польових сейсмологічних спостережень з метою реєстрації високочастотних мікросейсм (землетрусів і вибухів), як основи для розрахунку приросту сейсмічної бальності, обумовленої конкретними ґрунтовими умовами майданчиків розташування об'єкту, побудови розрахункових акселерограм і спектрів реакції.

2. Сейсмічне мікрорайонування (СМР) майданчика методом сейсмо-геологічних аналогій за інженерно-геологічними даними про фізико-механічні властивості ґрунтів, одержані в результаті вишукувань, проведених відповідно до вимог ДБН А.2.1-1-2014 «Інженерні вишукування для будівництва» та з врахуванням категорії ґрунтів за Табл. 5.1 ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво в сейсмічних районах України». Виділення на майданчику відносно однорідних ділянок – таксонометричних одиниць. Побудова карти СМР за методом сейсмо-геологічних аналогій.

3. Вибір еталонного пункту в районі розташування об'єкта. Визначення для нього параметрів геологічного середовища - розподілу літологічного складу ґрунтів з глибиною та фізико-механічних властивостей ґрунтів: швидкості поздовжніх і поперечних хвиль, густини, характеристик загасання сейсмічних коливань з відстанню, реологічних властивостей ґрунтів.

4. СМР майданчика методом сейсмічних жорсткостей.

5. Побудова карти СМР майданчика за двома методами: сейсмо-геологічних аналогій та сейсмічних жорсткостей.

6. Визначення приростів сейсмічної бальності для кожної з виділених на досліджуваному майданчику таксонометричних одиниць за даними методів інженерно-геологічних аналогій, реєстрації землетрусів, вибухів та короткоперіодних мікросейсм.

7. Побудова карти СМР майданчика за комплексом трьох методів: сейсмо-геологічних аналогій, сейсмічних жорсткостей та методу реєстрації землетрусів, вибухів і короткоперіодних мікросейсм.

8. Уточнення параметрів проектного (ПЗ) і максимального розрахункового (МРЗ) землетрусів із місцевих потенційно сейсмоактивних зон і сейсмоактивної зони Вранча на еталонному пункті в районі досліджуваного майданчика.

9. Формування моделей будови геологічного середовища на виділених ділянках, для побудови розрахункових акселерограм. Для отримання якісних і надійних результатів необхідно забезпечити виконання вимог до проведення інженерно-геологічних вишукувань згідно ДБН А.2.1-1-2014 «Інженерні вишукування для будівництва».

10. Побудова, розрахункових моделей геологічного середовища (моделей ґрунтів) для кожної із виділених таксонометричних одиниць, за даними інженерно-геологічних вишукувань, проведених згідно ДБН А.2.1-1-2014. Розрахунок теоретичних частотних характеристик моделей ґрунтів для таксонометричних одиниць майданчика.

11. Одержання емпіричних частотних характеристик ґрунтів (геологічного середовища) під різними ділянками (таксонометричними одиницями) досліджуваного майданчика, для яких передбачається побудувати розрахункові акселерограми і спектри реакції. Емпіричні і теоретичні частотні характеристики ґрунтових комплексів необхідні для перерахунку розрахункових акселерограм з еталонного пункту на виділені ділянки (таксонометричні одиниці) майданчика.

12. Розробка моделей сейсмічних коливань ґрунту при ПЗ і МРЗ, генерування ансамблю розрахункових акселерограм і спектрів реакції для моделювання сейсмічних впливів на виділених ділянках досліджуваного майданчика при ПЗ і МРЗ із зони Вранча і локальних потенційно-сейсмоактивних зон.

Результати формуються у вигляді науково-технічного звіту з описанням використаних методів, результатами виконання програми досліджень у вигляді карти СМР майданчика з вказанням уточненої сейсмічної бальності для кожної із виділених таксонометричних одиниць (однорідних ділянок), а також ансамблем цифрових розрахункових акселерограм і спектрів реакції на них одиничних осциляторів з власними



загасаннями: 2, 5 і 10 відсотків від максимального. Цифрові матеріали слід формувати на магнітному носії і супроводжувати програмою їх візуалізації.

## ВИСНОВКИ

- В НАН України зосереджена мережа сейсмічних станцій України, яка забезпечує роботи з визначення кількісних параметрів реальної сейсмічної небезпеки і створює наукову основу для діяльності в сфері сейсмічного захисту населення та економіки країни. Ряд аспектів розробленої методики проведення сейсмічного та геофізичного моніторингу впроваджена при забезпеченні функціонування мережі сейсмічних та геофізичних станцій в Центральному, Карпатському і Кримському регіонах країни.

- Матеріали сейсмічних та геофізичних спостережень використовувалися в підрозділах Мінпаливвугілля України та Мінрегіонбуді України, НАЕК «Енергоатом» і у ВАТ «УКРГІДРОЕНЕРГО» при розробці організаційних заходів щодо забезпечення безаварійної експлуатації будівель, споруд, важливих і екологічно небезпечних об'єктів, які знаходяться у їх відомчому підпорядкуванні.

- Теоретичні розробки та матеріали сейсмічних спостережень використовуються профільними підрозділами центральних та місцевих органів влади, організаціями, що ведуть планування, проектування і геолого-геофізичні вишукування в сейсмічних районах, при розробці заходів для захисту населення і важливих господарських об'єктів від землетрусів.

- Методику проведення сейсмічного мікрорайонування будівельних майданчиків та методику побудови розрахункових акселерограм і спектрів реакції - використано для одержання кількісних параметрів прогнозованих сейсмічних впливів, необхідних будівельним організаціям Криму, Одеської області, Закарпаття, Києва та інших міст для проектування висотних і експериментальних будинків.

- Карти загального, детального сейсмічного районування та сейсмічного мікрорайонування, розрахункові акселерограми і спектри реакції одиничних осциляторів із заданими власними періодами і загасаннями, пікові прискорення та інші параметри сейсмічних впливів при максимальних прогнозованих землетрусах - використано при проведенні Державним підприємством НАЕК «Енергоатом» на вимогу МАГАТЕ «стрес-тестів» атомних реакторів, для динамічного розрахунку сейсмостійкості існуючих і проєктованих споруд Чорнобильської, Рівненської, Хмельницької, Южно-Української, Запорізької АЕС, Каховської ГЕС, Київської і Новодністровської ГЕС і ГАЕС.

• Запропоновано типову програму робіт з сейсмічного мікрорайонування для оцінки сейсмічної небезпеки території розташування проєктованих об'єктів, або об'єктів, які експлуатуються.

## ЛІТЕРАТУРА

1. Kagan Y.Y. Universality of the seismic moment-frequency relation // *Pure and Appl. Geoph.* - Vol.155. -1999. – P. 537-573.
2. Національний атлас України / під ред. Руденка Л.Г. та ін. – К.: ДНВП "Картографія". - 2007. – 640 с.
3. Практичні питання динаміки будівель / [Немчинов Ю.І., Хавкін О.К., Мар'єнков М.Г. та ін.] // *Будівництво України.* - №6. - 2013. – С. 6-21.
4. Новый каталог сильных землетрясений на территории СССР (с древнейших времен по 1975 г.) / под ред. Н.В. Кондорской, Н.В. Шебалина. —М.: Наука, 1977. — 535 с.
5. Будівництво в сейсмічних районах України: ДБН В.1.1-12:2006. – [Чинні від 2007-01-02]. – К.: Мінбуд України, 2006. – 84 с. – (Будівельні норми України).
6. Будівництво у сейсмічних районах України: ДБН В.1.1–12:2014. - [Чинні від 2014-10-01]. – К.: Мінрегіон України, 2014. - IV, 110 с. – (Будівельні норми України).
7. Новодарьевское землетрясение 11 мая 2004 г. с  $M_w=3.8$ ,  $I_0=5-6$  (Украина) / [Габсатарова И.П., Кендзера А.В., Свидлова В.А. и др.] // *Землетрясения Северной Евразии 2004 г.* - Обнинск: ГС РАН. - 2010. — С.289-296.
8. Guide No. SSG-9. Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. ISBN 978-92-0-102910-2. – Vienna: IAEA. - 2010. – 62 p.
9. Ohsaki Y. On the significance of phase content in earthquake ground motions. *International Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics.* V.7. - 1979. – P.427-439.
10. О некоторых аспектах сейсмического районирования слабоактивных территорий / [Кендзера А.В., Стародуб Г.Р., Скляр А.М., Роман А.А.] // *Изучение сейсмических колебаний грунтов и сооружений.* – М.: Изд-во МГК при Презид. АН СССР. - 1989. – С.76-82. («Сейсмические исследования», №11).
11. Кендзера А.В. Моделирование расчетных акселерограмм вранчевских землетрясений для промышленной площадки ЧАЭС // *Проблеми Чорнобильської зони відчуження.* – Київ: Наукова думка. – Вип.3. – 1996. – С.29-38.
12. Кендзера О., Пронишин Р., Вербицкий С., Вербицкий Ю. Розвиток методів прогнозування кількісних характеристик сейсмічних впливів для території України. Кінцевий звіт по темі № д.р. UA01004860P. - Львів: ІФ НАН України. - 1997. – 129 с.
13. О возможности использования эмпирических передаточных функций среды при микрорайонировании территорий со сложным геологическим

строением / [Кендзера А.В., Скляр А.М., Роман А.А. и др.] // Оценка эффекта сильных землетрясений. - М.: Наука. - 1989. - С.82-89. (Вопр. инж. сейсм. Вып. 30).

## REFERENCES

1. Kagan Y.Y. Universality of the seismic moment-frequency relation // Pure and Appl. Geoph. - Vol.155. -1999. – P. 537-573.
2. National Atlas of Ukraine / Editors Rudenko L.G. at all. – Kyiv: State Research and Production Enterprise "Cartography". - 2007. – 640 p.
3. Nemchynov Yu.I., Havkin O.K., Marienkov M.G., Jarko L.O., Dunin V.A., Babik K.M., Egupov K.V., Kendzera A.V., Egupov V.K., Bulat A.F., Dyrda V.I., Lysyia M.I. Practical questions of dynamics of buildings // Scientific Production Journal "The Building in Ukraine". - №6. - 2013. – P.6-21.
4. New catalog of strong earthquakes on the territory of the USSR (from ancient times to 1975) / Ed. N.V. Kondorskaya, N.V. Shebalin. - Moscow: "Sciences", 1977. - 535 p.
5. State Building Codes B.1.1-12:2006. Protection from dangerous geological processes, operational harmful effects and of fire. Building in seismic regions of Ukraine. – Kyiv: Minregionbud of Ukraine, "Ukrarhbudinform". - 2006. – 84 p.
6. State Building Codes B.1.1-12:2014. Building in seismic regions of Ukraine. – Kyiv: Minregionbud of Ukraine, "Ukrarhbudinform". - 2014. – 110 p.
7. Gabsatarova I.P., Kendzera A.V., Svidlova V.A., Pronyshyn R.S., Porechnova E.I., Sychkina Z.N., Babakova E.A., Mikhailova R.S. Novodariievsk Earthquake 2004, 11 Mai with Mw=3.8, I<sub>0</sub>=5-6 (Ukraine) // Earthquakes of Northern Eurasia in 2004. - Obninsk: Geophysical Service of the Russian Academy of Sciences. - 2010. – P.289-296.
8. Guide No. SSG-9. Seismic Hazards in Site Evaluation for Nuclear Installations. ISBN 978-92-0-102910-2. – Vienna: IAEA. - 2010. – 62 p.
9. Ohsaki Y. On the significance of phase content in earthquake ground motions // International Journal of Earthquake Engineering and Structural Dynamics. V.7. - 1979. – P.427-439.
10. Kendzera A.V., Starodub G.R., Sklar A.M., Roman A.A. Some aspects of the seismic zoning of low activity areas. // Study of the seismic ground and structures motion. – Moscow: IGC Press of the Presidium of the Ac. of Sc. of USSR. - 1989. – P.76-82. ("Seismic studies", №11).
11. Kendzera A.V. The Design Accelerograms Modelling for Vrancea Earthquakes Simulation on the ChNPP Industrial Site // The Problems of Chornobyl Subtraction Zone. - Kiev: "Naukova Dumka". – Vol. 3. – 1996. – P.29-38.
12. Kendzera A., Pronyshyn R., Verbycky S., Verbycky Yu. Development of the methods for the seismic effects quantitative characteristics forecasting for the territory of Ukraine. The final report of the theme № s.r. UA01004860P. - Lviv: IGPh of NAS of Ukraine. - 1997. – 129 p.

13. Kendzera A.V., Sklar A.M., Roman A.A., Isichko E.S., Iliesh I.I., Starodub G.R., Kniazeva V.S. On the possibility of using of the empirical environment transfer functions for the micro zoning of the areas with complex geology // Evaluation of the effect of strong earthquakes. - Moscow: "Sciences". - 1989. - P.82-89. (The Questions of Earthquake Engineering. Vol. 30).

Стаття надійшла до редакції 22.08.2016 р.