

СТАН І ПРОБЛЕМИ РОЗВИТКУ СЕЙСМОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ДЛЯ СЕЙСМОСТІЙКОГО ПРОЕКТУВАННЯ

Кендзера О.В., к.ф.-м.н.,
Вербицький С.Т., к.ф.-м.н.,
Семенова Ю.В., к.ф.-м.н.,
Вербицька О.С., інженер,
Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, Київ
kenzera@igph.kiev.ua

Анотація. На території України існує небезпека від місцевих землетрусів і сильних підкорових землетрусів зони Вранча (Румунія). Розглянуто питання розвитку методики визначення кількісних характеристик реальної сейсмічної небезпеки, необхідних для захисту населення і економіки країни від землетрусів. Результати науково-дослідних робіт знайшли практичне застосування при формуванні державних нормативних документів в галузі сейсмології і сейсмостійкого будівництва, при визначенні сейсмостійкості житла та інших важливих об'єктів. Досвід проведення сейсмологічних досліджень для будівництва засвідчив необхідність покращення методики врахування можливості виникнення резонансного підсилення коливань у верхній частині ґрунтової товщі, методики і технології проведення сейсмічного мікрорайонування та переходу від «спектральних» методів розрахунку реакції проєктованих споруд на сейсмічні впливи до методів інтегрування рівнянь руху у моделях системи «ґрунт-фундамент-будівля», з урахуванням можливих нелінійних і резонансних ефектів.

Ключові слова: землетрус, сейсмічна небезпека, сейсмічне районування, сейсмічне мікрорайонування, розрахункові акселерограми, сейсмостійкість.

СОСТОЯНИЕ И ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ СЕЙСМОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ СЕЙСМОСТОЙКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Кендзера А.В., к.ф.-м.н.,
Вербицкий С.Т., к.ф.-м.н.,
Семенова Ю.В., к.ф.-м.н.,
Вербицкая О.С., инженер,
Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Киев
kenzera@igph.kiev.ua

Аннотация. На территории Украины существует опасность от местных землетрясений и сильных подкоровых землетрясений зоны Вранча (Румыния). Рассмотрены вопросы развития методики определения количественных характеристик реальной сейсмической опасности, необходимых для защиты населения и экономики страны от землетрясений. Результаты научно-исследовательских работ нашли практическое применение при формировании государственных нормативных документов в области сейсмологии и сейсмостойкого строительства, при определении сейсмостойкости жилья и других важных объектов. Опыт проведения сейсмологических исследований для строительства показал необходимость улучшения методики учета возможности возникновения резонансного усиления колебаний в верхней части ґрунтовой толщи, методики и технологии проведения сейсмического микрорайонирования и перехода от «спектральных» методов расчета реакции проектируемых сооружений на сейсмические воздействия к методам интегрирования уравнений движения в моделях системы «ґрунт-фундамент-здание», с учетом возможных нелинейных и резонансных эффектов.

Ключевые слова: землетрясение, сейсмическая опасность, сейсмическое районирование, сейсмическое микрорайонирование, расчетные акселерограммы, сейсмостойкость.

THE STATE AND PROBLEMS OF SEISMOLOGICAL RESEARCHES FOR EARTHQUAKE ENGINEERING

Kendzera O.V., PhD,
Verbytskyi S.T., PhD,
Semenova Yu.V., PhD,
Verbytska O.S., engineer,
S.I. Subbotin Institute of Geophysics of NAS of Ukraine, Kyiv,
kendzera@igph.kiev.ua

Abstract. A hazard due to the local and strong subcrustal earthquakes from Vrancea zone (Romania) exists permanently at the territory of Ukraine. The question of the methodology for determining of the quantitative characteristics of real seismic hazard, that is necessary for the protecting of population and the economy from the earthquakes is discussed. Results of the research have found practical application in the formation of government regulations in the field of seismology and earthquake engineering, in the determining of earthquake resistance of residential buildings and other important facilities. The experience of conducting seismic studies for the building showed: the need for improved methods of accounting the possibility of resonance amplification of vibrations at the top of the soil column, the techniques and technology of seismic zoning and the need of the passage from "spectral" method of the calculating of reaction of designed structures affected by seismic influences to the methods of integrating the equations of motion in the models of "soil-foundation-building" system, taking into account possible non-linear and resonance effects.

Keywords: earthquake, seismic hazard, seismic zoning, seismic micro zoning, design accelerograms, seismic resistance.

Вступ. Наявність на території України сейсмічної небезпеки від місцевих землетрусів і сильних підкорових землетрусів зони Вранча вимагає проектування сейсмостійких будинків і промислових споруд на основі надійних даних про рівень і параметри сейсмічної небезпеки. Оцінка сейсмічної небезпеки визначається в балах макросейсмічної шкали і у вигляді розрахункових акселерограм, які описують прогнозований вигляд повного вектору коливань при майбутніх максимальних землетрусах, які можуть реалізуватися на будівельному майданчику із заданою імовірністю не перевищення за заданий період часу. Розрахункові параметри сейсмічної небезпеки встановлюються шляхом виконання трьох видів сейсмічних досліджень: загального сейсмічного районування (ЗСР), детального сейсмічного районування (ДСР) і сейсмічного микрорайонування (СМР). Крім різниці у масштабах ці дослідження орієнтуються на одержання різних параметрів. В результаті ЗСР будуються карти розподілу по території країни зон різної сейсмічної бальності, або зон з прогнозованим рівнем максимальних пікових прискорень (МПП). Слід врахувати, що останні можна будувати лише при наявності густої мережі сейсмологічних станцій і достатньої кількості інструментальних спостережень за землетрусами. На даний час, як правило, забезпечити такі дані не вдається. Спроби побудови розподілу МПП з карт прогнозованої сейсмологічної бальності є фізично не обґрунтованим. Для одержання надійних оцінок сейсмічної небезпеки у формі розрахункових акселерограм необхідно для будівельних майданчиків житлових будинків, важливих і екологічно небезпечних споруд в сейсмічних районах країни проводити комплекси робіт з їх сейсмічного микрорайонування.

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. Розбудова мереж сейсмологічних і інженерно-сейсмометричних станцій, звичайно, потребує певних капітальних вкладень, але вони багаторазово окупляться в майбутньому за рахунок здешевлення сейсмостійкого будівництва, допоможуть запобігти загибелі людей і мінімізувати економічні втрати викликані катастрофічними землетрусами.

Аналіз останніх досліджень. Розвиток системи сейсмологічних спостережень на території України почався з 1899 року, коли за рішенням Австрійської Академії наук на базі астрономічної обсерваторії Львівської політехніки була організована перша сейсмологічна станція, оснащена передовою на той час сейсмологічною апаратурою. Поштовх до організації сейсмологічних спостережень за сильними землетрусами на території планети і місцевими сейсмічними подіями дав землетрус, який відбувся 17.08.1875 р. на території Львівської області в районі населених пунктів Великі Мости, Белз, Сілець і Межиріччя. Землетрус мав магнітуду 5,3 за шкалою Ріхтера і глибину вогнища 19 км. Глибина була визначено за допомогою аналізу даних макросейсмічних спостережень. Землетрус відчувався людьми на великій території: від Чернівців на південному-сході, до Варшави на північному-заході. В тектонічному плані джерело землетрусу пов'язують з зоною зчленування Східноєвропейської і Західноєвропейської тектонічних платформ.

З початком 2-ї світової війни станція «Львів» була закрита. Більшість матеріалів спостережень – знищена. Лише невелика їх частина на даний час зберігається в фондах відділу сейсмічності Карпатського регіону ІГФ НАН України. Свою роботу сейсмічна станція «Львів» поновила 25 жовтня 1949 року в складі Геофізичного інституту Академії Наук СРСР.

У 1907 році була відкрита сейсмічна станція в м. Чернівці при Чернівецькому державному університеті. Після війни у 1954 році сейсмічна станція «Чернівці» відновила свою роботу в складі Чернівецького державного університету.

У 1934 році – в м. Ужгороді при Ужгородському державному університеті була відкрита сейсмічна станція «Ужгород». Після Великої Вітчизняної війни, роботу станція відновила з 1 лютого 1951 року.

До складу мережі сейсмічних станцій НАН України входять 38 режимних сейсмічних станцій, регіональний (м. Львів) і Національний (м. Київ) сейсмологічні центри. 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.

Сейсмічність території України. Незважаючи на наявність переконливої інформації про наявність потужних тектонічних землетрусів на усіх древніх платформах світу, 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 крипових рухів і землетрусів різної інтенсивності безпосередньо в ньому, але частина пружної енергії передається в тектонічні структури відносно спокійної Східноєвропейської платформи і накопичується на неоднорідностях будови геологічного середовища. Ці тектонічні процеси є причиною виникнення небезпечних місцевих землетрусів.

Бурхливий розвиток інструментальних спостережень, який відбувся за останні роки в світі, показав, що древні тектонічні платформи також піддаються сучасним деформаціям, хоча значно повільнішим, ніж їх краї [1]. Деформації супроводжуються землетрусами. Ці висновки

ініціювали більш поглиблене дослідження даних про внутрішньо плитові землетруси на території древніх платформ, у тому числі на території Східноєвропейської платформи.

На жаль, землетруси на відносно стабільних тектонічних платформах приводять до значних економічних втрат, через невідповідність будинків і споруд до їх впливу. На території України існує небезпека як від місцевих землетрусів, так і від сильних підкорових землетрусів зони Вранча (Румунія).

Землетруси зони Вранча. Карпатські землетруси, які виникають в горах Вранча відчуються на великій території. Хвилі від них поширюються на сотні й тисячі кілометрів від епіцентру. На рис. 1 приведена карта ізосейст землетрусу 4 березня 1977 р. із зони Вранча на фоні фрагмента карти районування сейсмічної небезпеки на території Європи [2]. Видно, що навіть для цього землетрусу, величина якого була далекою від максимально можливої в зоні Вранча, інтенсивність сейсмічних впливів на території України досягала від 4 до 6 балів. Інтенсивність коливань віднесена до ґрунтів II-ї категорії за сейсмічними властивостями.

Витягнутість ізосейст підкорових землетрусів зони Вранча в північно-східному напрямку, за однією версією, обумовлена відносно слабким загасанням сейсмічних хвиль в цьому напрямку, а за іншою – особливістю діаграми спрямованості випромінювання з вогнища. Значні розміри площ сейсмічних струшувань різної інтенсивності пояснюються величезною енергією випроміненою з джерел землетрусів і значною глибиною їх залягання, на якій загасання сейсмічних хвиль з відстанню є незначним.

Для керування і забезпечення стабільного розвитку територій необхідна інформація про реально існуючий рівень сейсмічної небезпеки і ризик руйнування різних споруд.

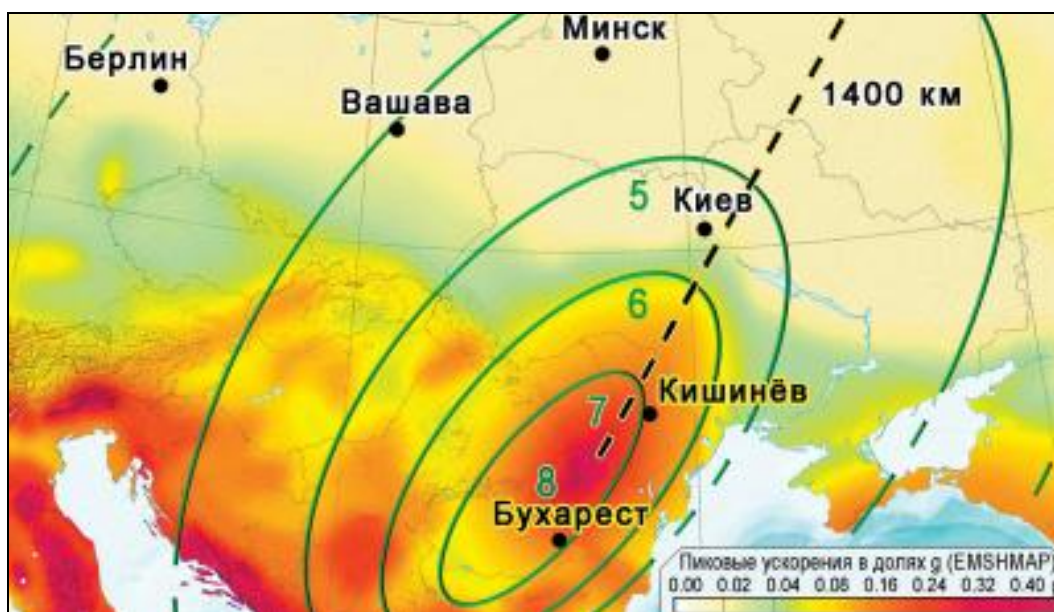


Рис. 1. Сейсмічний ефект (цифрами показана сейсмічна бальність за макросейсмічною шкалою MSK-64) підкорового землетрусу 4 березня 1977 р. із зони Вранча на фоні фрагмента карти районування сейсмічної небезпеки на території Європи (пікові прискорення в частках g з ймовірністю 10 % їх можливого перевищення протягом 50 років). Бежевий колір приблизно відповідає інтенсивності до 5 балів, зелений – 5...6, жовтий – 6...7, рожевий – 7...8, червоний – 8...9 і бордовий – 9 балів і більше [2]

Сейсмічний ризик – це характеристика ймовірності соціальних і економічних втрат, загибелі і травматизму людей та інших збитків на заданій території. Сейсмічний ризик визначається, з одного боку, рівнем сейсмічної небезпеки та, з другого боку, рівнем сейсмостійкості будівель і споруд, або рівнем їх сейсмічної вразливості [3]. В цілому, сейсмічний ризик для будинків і споруд на території України є достатньо високим, оскільки на усій території країни існує загроза від землетрусів зони Вранча, які можуть викликати на

ній 6...7-ми бальні сейсмічні струшування. При цьому приходиться констатувати, що згідно чинних до 2007 року будівельних норм СНиП 2-7-81* «Строительство в сейсмических районах», більшість будинків і, навіть, важливих об'єктів в північних, центральних і східних областях України зводилися без врахування реально існуючої сейсмічної небезпеки, показаної на картах загального сейсмічного районування ЗСР-2004, які є частиною чинних державних будівельних норм [4]. З огляду на значне зношення основних фондів, руйнування при землетрусах навіть незначної частини несейсмостійких будинків і споруд може призвести до значних економічних втрат і навіть загибелі людей.

Щороку станції сейсмологічної мережі України фіксують сотні сейсмічних подій як на її території, так і на території суміжних районів.

Місцева сейсмічність. 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 такі землетруси проявилися на межі Кіровоградської та Черкаської областей – 7 балів (в 1873 р.); у Донецькій області (район Костянтинівки) – 6 ± 1 бал (в 1937 р.); Харківській – 5...6 балів (в 1858 і 1913 роках); Чернігівській – 5 ± 1 бал (в 1905 р.); Тернопільській – 6 балів (у 2002 р.); в Донецькій – 6 балів (2016 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 $m_b = 4.6$. Епіцентр землетрусу знаходився в зоні зчленування двох великих структурних елементів Східноєвропейської платформи – північного крила Дніпрово-Донецької западини (ДДЗ) і південного схилу Воронежського кристалічного масиву (ВКМ). Землетрус 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. За результатами обстежень визначено координати макросейсмічною 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».

Зазначені локальні землетруси свідчать, зокрема, про необхідність уважніше вивчати сейсмічність платформної частини території країни, звертаючи особливу увагу на територію зони сполучення північного краю потужного сейсмоактивного поясу нашої планети, який охоплює територію нашої країни з південного заходу і півдня. Тут 07.08.2016 р. в 11 год. 15 хв. відбувся землетрус 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 $47,35^{\circ}\text{N}$, довгота $37,52^{\circ}\text{E}$. 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.

Перед тим, інструментально зареєстрований землетрус з вогнищем недалеко від Маріуполя відбувся в акваторії Азовського моря 4.01.2014 р (широта $46,10^{\circ}\text{N}$, довгота $36,60^{\circ}\text{E}$, глибина вогнища $h = 15$ км, магнітуда $M = 3,3$). До цього в Азовському морі, крім історичних землетрусів, були інструментально зареєстровані землетруси в 1978 і 1990 рр.

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. Щодо причин виникнення Криворізьких землетрусів, вченими висувається кілька версій [5-8]. Перша – промисловий вибух на одному з гірничодобувних підприємств м. Кривий Ріг (техногенний землетрус). Великі вибухи призводять до коливань земної поверхні, які поблизу епіцентру відчуваються людьми, а на далеких відстанях реєструються сейсмічними станціями, так само як і тектонічні землетруси. Друга – обвали в підземних порожнинах, які залишилися після видобутку залізної руди (природно-антропогенний землетрус). Третя – природний землетрус, оскільки дана територія розташована на периферії зазначеного вище потужного сейсмоактивного поясу планети.

Сейсмічна небезпека території України. Найбільш катастрофічні землетруси ХХ століття, що спричинили значні людські втрати і значні економічні збитки – це землетруси інтенсивністю вищою на 1...2 бали ніж ті, що прогнозувалися картами загального сейсмічного районування для районів їх виникнення. Ненадійність сейсмічного прогнозу відноситься також до чинної на території України до 2007 року карти загального сейсмічного районування СР-67. Недостатня надійність сейсмічних прогнозів пояснюється неточністю знань про будову середовища і процеси, які протікають на великих глибинах в зонах підготовки землетрусів. Незадовільна точність і надійність сейсмологічного прогнозування часу виникнення сильних землетрусів на даний час є принципово непереборною, оскільки природа сейсмічної активності, не дивлячись на значні досягнення світової і вітчизняної сейсмології в останні десятиліття, є надзвичайно складною і залишається недостатньо дослідженою. На даний час відносно надійно можна прогнозувати лише місце і силу майбутніх землетрусів. Такий прогноз для території України, одержаний шляхом використання усіх наявних геолого-геофізичних даних і міжнародно признаних методичних підходів, представлено на картах ЗСР-2004, які є невід'ємною частиною чинних Державних будівельних норм «Будівництво в сейсмічних районах України» [4].

Зростаючі темпи і об'єми будівництва висотних будівель і важливих інженерних споруд вимагають освоєння нових територій, які за експертними оцінками часто характеризуються складними інженерно-геологічними умовами та погіршеними сейсмічними властивостями. Обсяг будівництва висотних будівель постійно збільшується, при цьому спостерігається тенденція до підвищення кількості поверхів. Висотні будівлі відрізняються від традиційних об'єктів не тільки розмірами і складністю конструкцій. Із збільшенням висоти будинків різко збільшуються вертикальні навантаження на їх нижні поверхи і виникає небезпека руйнування несучих конструкцій. При цьому може знижуватися здатність конструктивних систем до дисипації енергії коливань, при збільшенні кількості циклів коливань при сейсмічних впливах можуть багаторазово зростати їх амплітуди. Міста розширюються, освоєюючи для забудови зазвичай території, ґрунти яких відносяться до III і IV категорій за сейсмічними властивостями згідно ДБН В.1.1-12:2014 [4]. Такі ґрунти мають суттєві нелінійні властивості, які будуть проявлятися по-різному, в залежності від інтенсивності і частотного складу сейсмічних коливань. При несприятливих умовах, навіть, відносно слабкі сейсмічні впливи, які раніше не розглядалися при розрахунках додаткових сейсмічних навантажень в проєктованих будинках і спорудах, завдяки резонансним ефектам можуть стати небезпечними.

Висновки. При проєктуванні важливих промислових об'єктів, експериментальних будов і будинків підвищеної поверховості на даний час не достатньо повно враховується можливість виникнення резонансного підсилення коливань у верхній частині ґрунтової товщі. Необхідно всесторонньо розвивати методіку формування розрахункових моделей неідеально-пружних ґрунтів на основі максимально повного використання результатів інженерно-геологічних вишукувань під будівництво на конкретних будівельних майданчиках. Слід розвивати також експериментальну базу фізичного моделювання

поведінки типових для України ґрунтових комплексів з урахуванням їх реологічних властивостей при різних за величиною і спектральним складом сейсмічних навантажень. Є потреба у подальшому розвитку методики і технології проведення сейсмічного мікрорайонування з використанням усього комплексу методів: інженерно-геологічних аналогій, сейсмічних жорсткостей та реєстрації мікросейсм і сейсмічних подій. І нарешті, назріла необхідність у переході від звичних, але малоефективних «спектральних» методів розрахунку реакції проєктованих споруд на сейсмічні впливи до методів інтегрування рівнянь руху у моделях системи «ґрунт – фундамент – будівля», з урахуванням можливих нелінійних і резонансних ефектів.

Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна 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. Вивчається будова і динаміка земних надр, розвивається методика визначення кількісних характеристик реальної сейсмічної небезпеки, необхідних для захисту від землетрусів. Запропоновано типову програму робіт з сейсмічного мікрорайонування для оцінки сейсмічної небезпеки території розташування проєктованих об'єктів, або об'єктів, які експлуатуються. Розвинуто методику визначення резонансних властивостей ґрунтових комплексів під будівельними майданчиками, яка враховує нелінійну поведінку ґрунтів при значних сейсмічних впливах. В основі методики лежить аналітично-емпіричний підхід до розрахунку частотних характеристик ґрунтів. 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.

Література

1. Kagan Y.Y. Universality of the seismic moment-frequency relation / Y.Y. Kagan // *Pure and Appl. Geoph.* – Vol.155. – 1999. – P. 537-573.
2. Уломов В.И. О сейсмических воздействиях на высотные здания и сооружения г. Москвы / В.И. Уломов // *Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века*, 2008. – №2. – С. 24-65.
3. Айзенберг Я.М. Концепция федеральной программы сейсмической безопасности Российской Федерации. Основные аспекты / Я.М. Айзенберг // *Современное состояние развития сейсмостойкого строительства*. – Красноярск: Красноярская государственная архитектурно-строительная академия, 2005. – С. 9-11.
4. ДБН В.1.1-12:2014. Будівництво в сейсмічних районах України. Київ: Мінрегіобуд України, Укрархбудінформ, 2014. – 110 с.
5. Кутас В.В. Сейсмичность западной части Восточного-Европейской платформы в пределах Украины / В.В. Кутас, В.Д. Омельченко, А.В. Кендзера, Г.М. Дрогицкая, И.А. Калитова // *Геофиз. Журнал*, 2007. – №5, Т. 29. – С. 59-72.
6. Кутас В.В. Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 г. / В.В. Кутас, В.Д. Омельченко, Г.М. Дрогицкая, И.А. Калитова // *Геофиз. Журнал*, 2009. – №1, Т. 31. – С. 42-52.
7. Пустовитенко Б.Г. Инструментальные и макросейсмические данные о процессах в очаговой зоне Криворожского землетрясения 25 декабря 2007г. / Б.Г. Пустовитенко, В.Е. Кульчицкий, А.А. Пустовитенко, А.М. Скляр // *Геофиз. Журнал*, 2010. – №2, Т.32. – С. 75-97.
8. Кендзера А.В. Криворожское землетрясение 25 декабря 2007 г. Инструментальные данные / А.В. Кендзера, О.Е. Старовойт, В.Д. Омельченко, Л.И. Надежка, Ю.М. Вольфман, И.П. Габсатарова, С.П. Пивоваров, Ю.В. Лесовой // *Геофизический журнал*, 2012. – № 2, Т.34. – С. 60-71.

Стаття надійшла 23.11.2016