

**УТОЧНЕННЯ СЕЙСМІЧНОГО РИЗИКУ  
ОБ'ЄКТІВ МОРСЬКОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ**

**К.В. Єгунов<sup>1</sup>, В.К. Єгунов<sup>2</sup>, О.В. Мурашко<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>д.т.н., професор, директор Науково-дослідного інституту  
фундаментальних і прикладних досліджень,  
Одеський національний морський університет, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-8342-820X, yegupov.k@gmail.com

<sup>2</sup>к.е.н., провідний інженер,  
Інститут геофізики ім. С.І. Суботіна НАН України, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0001-5093-6948, slava.yegupov@gmail.com

<sup>3</sup>к.т.н., доцент,  
Одеська державна академія будівництва і архітектури, Одеса, Україна,  
ORCID ID: 0000-0002-2812-5951, alexeymurashko@gmail.com

**Анотація**

Землетрус є найсерйознішим і об'єктивним іспитом для будь-якої ідеї, спрямованої на підвищення сейсмостійкості будівель та споруд. У матеріалах про поведінку будинків і споруд при землетрусах є чимало відомостей, що дозволяють робити висновки щодо реакції будівель та споруд на сейсмічні впливи. Збереження будівель та споруд при реальних землетрусах зумовило популярність сейсмостійкого проектування на основі прогнозування кількісних характеристик майбутніх сейсмічних впливів в багатьох країнах, що ведуть сейсмостійке будівництво. Сейсмічні райони з прогнозованою інтенсивністю землетрусів 7, 8 та 9 балів займають до 20% території України. У них розташовано багато промислових і культурних центрів з великими обсягами будівництва. Раціональне проектування сейсмостійких конструкцій, підвищення їх надійності має важливе народногосподарське значення. У статті проаналізовано основні підходи до проведення сейсмічного мікрорайонування (СМР) та запропоновано практичний підхід до уточнення прогнозованої сейсмічної інтенсивності (бальності) будівельних майданчиків з урахуванням результатів детального сейсмічного районування (ДСР) і сейсмічного мікрорайонування (СМР). Розроблена апаратура і методика польових досліджень, розроблено напівемпіричну методику побудови розрахункових акселерограм. Встановлено, що нерівномірності поля коливань ґрунту, фільтрація сейсмічних хвиль геологічним середовищем і виникнення резонансних коливань в спорудах при сильних підкоркових землетрусах зони Вранча можуть привести до збільшення сейсмічних навантажень у декілька разів. Запропоновано рекомендацію, згідно з якою уточнення сейсмічності майданчиків будівництва повинно виконуватися на основі сейсмічного мікрорайонування. Наводяться результати розрахунку і порівняння одержаних результатів з результатами застосування методик, викладених у статті. Виконано перевірочні розрахунки конструкції причалу судноремонтного пірсу № 2 ТОВ 'Іллічівський судноремонтний завод' з використанням учбових програмних комплексів SCAD (спектральний метод) та PLAXIS (розрахунок на синтезовані акселерограми).

**Ключові слова:** сейсмічний ризик, безвідмовна робота, 'естакада', розрідження ґрунту, морський порт, причал.

UDC 550.34:69.07:338.2

## REFINING SEISMIC RISK OF OBJECTS OF MARINE INFRASTRUCTURE

K.V. Yehupov<sup>1</sup>, V.K. Yehupov<sup>2</sup>, O.V. Murashko<sup>3</sup>

<sup>1</sup>DSc, Director of the Research Institute of Fundamental and Applied Research,  
Odessa National Maritime University, Odessa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-8342-820X, yegupov.k@gmail.com

<sup>2</sup>PhD, Lead Engineer,  
Institute of Geophysics by S.I. Subbotin of the NAS of Ukraine, Odessa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0001-5093-6948, slava.yegupov@gmail.com

<sup>3</sup>PhD,  
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa, Ukraine,  
ORCID ID: 0000-0002-2812-5951, alexeymurashko@gmail.com

### **Abstract**

**Introduction.** An earthquake is the most serious and objective test for any idea aimed at improving the seismic stability of buildings and structures. The materials on the behavior of buildings and structures during earthquakes contain a great deal of information that allows us to judge the response of buildings and structures to seismic impacts. The conservation of buildings and structures in real earthquakes has led to the popularity of seismic design based on the prediction of quantitative characteristics of future seismic impacts in many earthquake-resistant countries. Seismic regions with an estimated earthquake intensity of 7, 8 and 9 points occupy up to 20% of the territory of Ukraine. They have many industrial and cultural centers with large volumes of construction. **Purpose.** The rational design of earthquake-resistant structures, increasing their reliability is of great economic importance. **Results.** The basic approaches to the conduct of seismic microrayonation are analyzed. A practical approach to specifying the predicted seismic intensity of the building sites, taking into account the results of detailed seismic zoning (DSR) and seismic microrayonation is proposed. The equipment and methods of field research, semiempirical method of constructing calculated accelerograms was developed. It has been established that irregularities of the field of oscillations of the soil, seismic wave filtration into the geological environment and the occurrence of resonant oscillations in buildings under strong suburban earthquakes in the Vbranch zone can lead to an increase in seismic loads several times. A recommendation is proposed that the seismicity of the construction sites should be performed on the basis of seismic microroaring. **Conclusions.** The results of the calculation for the object and the comparison of the results with the results of the application of the methods described in the article are presented. Verification calculations of the construction of the berth of the ship repair yard № 2 of the LLC 'Ilichevsk Ship Repair Plant' were carried out using the SCAD educational program complexes (spectral method) and PLAHIS (calculation on the synthesized accelerograms).

**Key words:** seismic risk, trouble-free operation, 'overpass', ground dilution, seaport, pier.

УДК 550.34:69.07:338.2

## УТОЧНЕНИЕ СЕЙСМИЧЕСКОГО РИСКА ОБЪЕКТОВ МОРСКОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ

К.В. Егупов<sup>1</sup>, В.К. Егупов<sup>2</sup>, А.В. Мурашко<sup>3</sup>

<sup>1</sup>д.т.н., профессор, директор Научно-исследовательского института  
фундаментальных и прикладных исследований,  
Одесский национальный морской университет, Одесса, Украина,  
ORCID ID: 0000-0002-8342-820X, yegupov.k@gmail.com

<sup>2</sup>к.е.н., ведущий инженер,  
Институт геофизики им. С.И. Субботина НАН Украины, Одесса, Украина,  
ORCID ID: 0000-0001-5093-6948, slava.yegupov@gmail.com

<sup>3</sup>к.т.н., доцент,  
Одесская государственная академия строительства и архитектуры, Одесса, Украина,  
ORCID ID: 0000-0002-2812-5951, alexeyturashko@gmail.com

### **Аннотация**

Землетрясение является серьезным и объективным экзаменом для любой идеи, направленной на повышение сейсмостойкости зданий и сооружений. В материалах о поведении зданий и сооружений при землетрясениях немало сведений, позволяющих судить о реакции зданий и сооружений на сейсмические воздействия. Сохранение зданий и сооружений при реальных землетрясениях обусловило популярность сейсмостойкого проектирования на основе прогнозирования количественных характеристик будущих сейсмических воздействий во многих странах, ведущих сейсмостойкое строительство. Сейсмические районы с прогнозируемой интенсивностью землетрясений 7, 8 и 9 баллов занимают до 20% территории Украины. В них расположено много промышленных и культурных центров с большими объемами строительства. Рациональное проектирование сейсмостойких конструкций, повышение их надежности имеет важное народнохозяйственное значение. В статье проанализированы основные подходы к проведению сейсмического микрорайонирования (СМР) и предложен практический подход к уточнению прогнозируемой сейсмической интенсивности (бальности) строительных площадок с учетом результатов детального сейсмического районирования (ДСР) и сейсмического микрорайонирования (СМР). Разработана аппаратура и методика полевых исследований, обоснована полумпирическая методика построения расчетных акселерограмм. Установлено, что неравномерность поля колебаний почвы, фильтрация сейсмических волн геологической средой и возникновение резонансных колебаний в сооружениях при сильных подкорковых землетрясениях зоны Вранча могут привести к увеличению сейсмических нагрузок в несколько раз. Предложена рекомендация, согласно которой уточнения сейсмичности площадок строительства должны выполняться на основе сейсмического микрорайонирования. Приводятся результаты расчета и сравнения полученных результатов с результатами применения методик, изложенных в статье. Выполнены проверочные расчеты конструкции причала судоремонтного пирса № 2 ООО 'Ильичевский судоремонтный завод' с использованием учебных программных комплексов SCAD (спектральный метод) и PLAXIS (расчет на синтезированные акселерограммы).

**Ключевые слова:** сейсмический риск, безотказная работа, 'эстакада', разжижение грунта, морской порт, причал.

## Вступ

Порти є стратегічно важливими елементами національної і міжнародної торгівлі. До теперішнього часу значна частина причалів морських портів України практично вичерпала нормативний термін служби. При цьому розвиток нових видів перевезень та поява нових типів суден виявили одну з головних причин морального старіння причальних споруд – для прийому судів нових типів портам необхідно забезпечити глибини у причалів від 11,5 до 20 м.

Перераховані обставини зумовили необхідність модернізації експлуатованих споруд. Більше того, подальше нарощування вантажообігу портів нині неможливе без реконструкції (посилення) певної частини причального фронту або будівництва нового, що у свою чергу накладає підвищені вимоги до забезпечення надійності конструкцій. Відповідно, 7 з 13 морських портів України знаходяться в сейсмічно небезпечних районах з бальністю вище 7. Сейсмічні впливи призводять до руйнування портових гідротехнічних споруд та до порушення функціонування діяльності порту, оцінка сейсмічних впливів та видів відмов поряд з забезпеченням безвідмовної роботи причальних споруд, є важливим і актуальним завданням.

## Визначення навантажень і впливів на об'єкти підвищеної відповідальності

З 10 червня 2017 р. вступив в силу Закон України від 17 січня 2017 року № 1817 VIII 'Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо вдосконалення містобудівної діяльності'.

На рівні закону визначено поняття класу наслідків (відповідальності) і критерії для віднесення об'єктів до класів СС1, СС2 і СС3.

Всі об'єкти поділяються за такими класами наслідків (consequence class) відповідальності: незначні наслідки – СС1; середні наслідки – СС2; значні наслідки – СС3.

Визначення класу наслідків будівель базується на рекомендаціях [1, 2], в яких реалізована процедура оцінки надійності споруд і їх конструктивних елементів та призначені коефіцієнти, які використовуються в розрахункових ситуаціях.

На рівні Євросоюзу встановлюються вимоги до проектування будівельних конструкцій. Вимоги до проектування конкретних об'єктів встановлюються кожною країною окремо з урахуванням специфіки територій, національних традицій, економічного стану держави тощо.

Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд (затверджено Постановою Кабінету Міністрів України від 20 грудня 2006 р. № 1764), зі змінами, внесеними згідно до Постанов Кабінету Міністрів України: № 1390 (1390-2011-п) від 28.12.2011, № 112 (112-2017-п) від 01.03.2017. Остання Постанова розроблена з урахуванням вимог Регламенту (ЄС) № 305/2011 Європейського Парламенту та Ради від 09 березня 2011 року про зближення законів, підзаконних актів та адміністративних положень і визначає основні вимоги до будівельних виробів, будівель і споруд по забезпеченню безпеки життя і здоров'я людини, безпеки експлуатації, механічного опору та стійкості, пожежної безпеки, економії енергії, захисту навколишнього середовища,

а також процедури оцінки відповідності виробів установленим вимогам та визначає порядок їх застосування.

Вимоги безпеки і одночасно прагнення до здешевлення будівель і споруд породжує проблему, яка висувається на перший план у зв'язку з високими темпами зростання будівництва. В сучасних містах, де різко збільшується техногенне навантаження на будівельні об'єкти, достовірна інформація про величину вразливості споруд та рівень сейсмічної небезпеки є необхідною умовою сталого розвитку.

Забезпечення безпеки будівельних проектів є в даний час одним з найбільш актуальних і найважливіших завдань державної політики в галузі національної безпеки.

Сучасна методологія і методи оцінки сейсмічної небезпеки дозволяють коректніше оцінити прогнозовані сейсмічні впливи для різних періодів повторюваності подій із заданою мірою відносного сейсмічного ризику (рис. 1). Результати досліджень українських сейсмологів переконливою свідчать про те, що сейсмічна небезпека в Одеському регіоні до 2007 року була суттєво занижена на картах Загального сейсмічного районування СР-78. Імовірність виникнення землетрусів з інтенсивністю 7 балів в цьому районі є досить високою (табл. 1) [1].

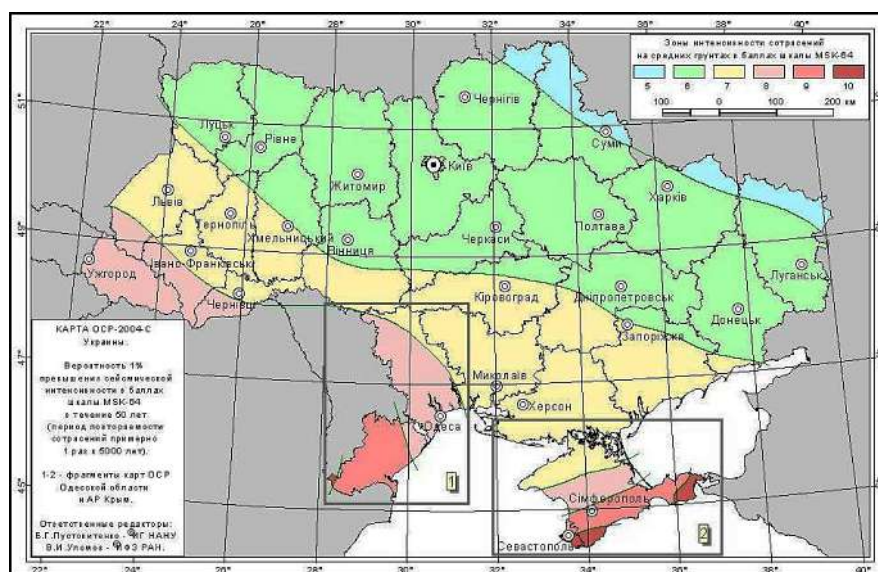


Рис. 1. Карта загального сейсмічного районування України для імовірності 1% перевищення сейсмічної інтенсивності в балах шкали України протягом 50 років [1].  
Джерело: власна розробка

Табл. 1. Сейсмічні події з магнітудою > 4 за 2008-2017 роки

Рік	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Магнітуда	4,0-5,0	4,0-5,3	4,5	4,0-4,8	4,0-4,6	4,0-5,3	4,0-4,7	4-4,5	4-5,8	4-4,8
Кількість	8	8	2	8	14	15	18	19	6	9

У табл. 2 приведено список руйнівних землетрусів, що відбулися в сейсмо-активній зоні Вранча, та інтенсивність їх проявів у великих містах Молдови, України і Росії [3].

**Табл. 2. Руйнівні землетруси Румунських Карпат (зони Вранча)**

Дата виникнення землетрусу	Магнітуда	Інтенсивність в епіцентрі, бали	Інтенсивність землетрусу в містах, бали				
			Кишинів	Львів	Чернівці	Одеса	Київ
26.10.1802	7,5	9-10	7	4	7	7	5
26.11.1829	6,5	8	7		6	6	4-5
23.01.1838	7,0	9	7	4-5	6	6	4-5
6.10.1908	6,75	8	6	5	6	6	5
10.11.1940	7,3	9	7-8	5	6	7	5
4.03.1977	7,2	9	6-7	4	5-6	5-6	4-5
30.08.1986	7,0	8-9	6	4	5	5	4
30.05.1990	6,7	8-9	6	4	5	5	4

### Уточнення сейсмічного ризику

Рівень втрат (ризик) при можливому землетрусі є результат комбінації уразливості споруди і сейсмічної небезпеки. В даний час в Україні ведеться інтенсивне освоєння територій під забудову не лише житлових будівель, але і унікальних, відповідальних споруд, руйнування яких при сейсмічних впливах може привести до істотних економічних втрат і екологічної катастрофи.

В даний час рекомендації щодо визначення навантажень при сейсмічних впливах регламентуються вимогами [1]. У національному стандарті [2] викладено методику визначення класу наслідків (відповідальності) об'єктів будівництва і регламентується вибір карт ЗСР-2004 для оцінки сейсмічної небезпеки їх майданчиків. Уточнення сейсмічності майданчиків будівництва, нормативна бальність яких визначається по картах ОСР-2004-В і ОСР-2004-С, а також майданчиків, розташованих поблизу границь зон бальності, виконується обов'язково на основі спеціальних досліджень з сейсмічного мікрорайонування (СМР).

Українськими і зарубіжними вченими виконано порівняльний аналіз сейсмічних впливів на напружено деформований стан відповідальних об'єктів [3]. Землетруси в містах Ніїгата (Японія), Мехіко (Мексика), а також Румунський землетрус та інші показали (рис. 2), що максимум динамічного коефіцієнта може зміщатися у бік низьких частот, викликаючи на них резонансні явища в ґрунті, що збільшує небезпеку для будівель підвищеної поверховості і для гнучких споруд.

Існує необхідність підвищення надійності систем життєзабезпечення населення країни і зниження ризику виникнення надзвичайних ситуацій при сейсмічних подіях. Для цього потрібно уточнювати розрахункові параметри сейсмічної небезпеки з врахуванням параметрів сейсмічного режиму, регіональних законів загасання сейсмічних коливань, впливу місцевих ґрунтових і морфологічних умов. Ці значення найнадійніше визначаються за даними інструментальних сейсмологічних спостережень. З метою їх одержання, спільними зусиллями Інституту геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, ДП 'Науково-дослідний

інститут будівельних конструкцій, Одеського національного морського університету і Української асоціації сейсмостійкого будівництва було створено першу в м. Одесі сейсмологічну станцію.

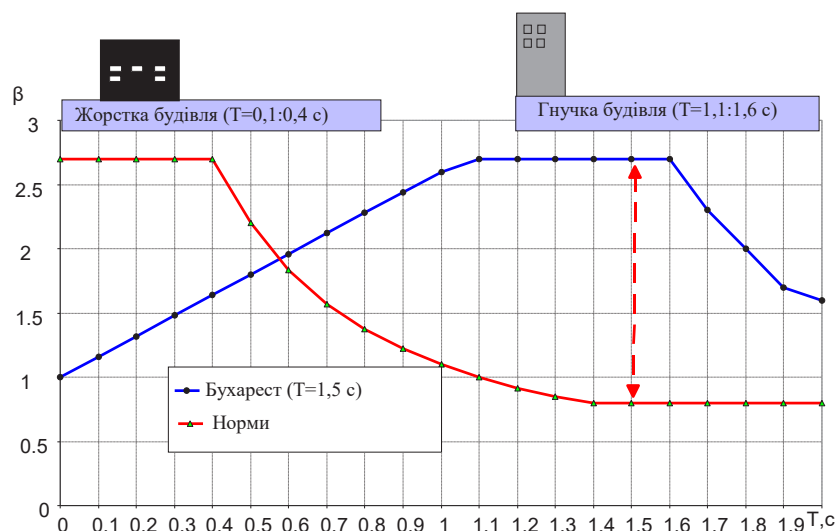


Рис. 2. Динамічний коефіцієнт коливань ґрунту в Бухаресті (1977 рік) при землетрусі із зони Вранча.  
Джерело: власна розробка

Ряд чинників ускладнює проектування і будівництво будівель підвищеної поверховості. До них відносяться: близько розташовані розломи, сейсмічна небезпека, несприятливі геологічні умови (в т.ч. ґрунти III, IV категорії за сейсмічними властивостями), підземні виробки (катакомби), зсувні схили, наявність високого рівня ґрунтових вод (підтоплені території).

Ґрунти III, IV категорії за сейсмічними властивостями мають істотні нелінійні властивості, які проявлятимуться по-різному, залежно від інтенсивності і частотного складу сейсмічних впливів. Нелінійна поведінка ґрунту приводить до зміни, інколи дуже істотної, форм і спектрів сейсмічних хвиль в шарах ґрунту. Резонансні частоти ґрунтів виявляються залежними від інтенсивності впливу і, при досить інтенсивних землетрусах можуть суттєво відрізнятися від значень, визначених методами реєстрації вибухів, слабких землетрусів і короткоперіодних мікросейсм. При інтенсивних сейсмічних впливах змінюються геологічні властивості ґрунтів, що може бути пов'язане, наприклад, з переміщенням ґрунтових вод, розривом структурних зв'язків між частинками ґрунту та іншими явищами. На рис. 3 представлено амплітудно-частотні характеристики ґрунтового середовища, визначені для ряду будівельних майданчиків у м. Одесі з використанням програмного продукту Pr-shake [4]. У розрахунках враховувалися нелінійні властивості ґрунтів на досліджуваних майданчиках.

З рис. 3 видно, що ґрунтові умови більшості будівельних майданчиків Одеси характеризуються широким частотним діапазоном можливого резонансного підсилення. Отже, при сейсмостійкому проектуванні будівель і споруд в Одесі

необхідно проводити детальні дослідження резонансних властивостей ґрунтів, незалежно від складності конструкції, оскільки власні частоти коливань, як одноповерхових, так і висотних будівель, як правило, лежать в частотному діапазоні, в якому спостерігаються максимуми посилення коливань ґрунтами майданчиків.

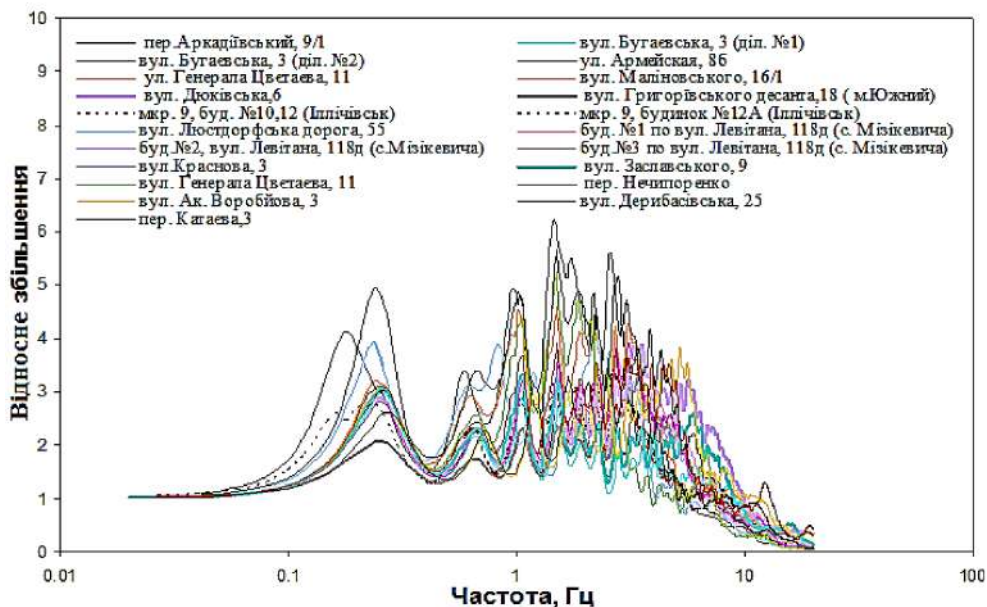


Рис. 3. Амплітудно-частотні характеристики ґрунтів майданчиків в м. Одеса.  
Джерело: власна розробка

З введенням в дію ДБН В.1.1-12:2014 [1] змінилися вимоги до проектування і будівництва будівель підвищеної поверховості, у порівнянні з вимогами ДБН В.1.1-12:2006 [5]:

- обов’язковою стала вимога про врахування перших двох форм власних коливань будівлі;

- введено поняття слабкий землетрус (СЗ), проектний землетрус (ПЗ), максимальний розрахунковий землетрус (МРЗ) і розмежовані сейсмічні навантаження, використовувані для проектування споруд різних класів наслідків;

- розмежовано вживання карт ЗСР для будов різних класів наслідків. Рішення про вибір карти при проектуванні конкретного об’єкта і віднесення об’єкта до класу наслідків (відповідальності) приймається генеральним проектувальником відповідно до ДСТУ-Н.В.1.2-16:2013 [2] і узгоджується із замовником.

При проектуванні об’єктів класу наслідків СС1 і СС2, для визначення розрахункової сейсмічної інтенсивності, необхідно використовувати карту ОСР-2004-А. При проектуванні житлових і суспільних будинків висотою понад 73,5 м – кодів і об’єктів, які віднесені до потенційно небезпечних, але неідентифікованих як об’єкт підвищеної небезпеки, рекомендується використовувати карту ОСР-2004-В. При проектуванні об’єктів класу наслідків СС3 для визначення розрахункової сейсмічної інтенсивності потрібно використовувати карту ОСР-2004-С:



- додано новий розрахунок споруд на сейсмічні впливи 'Нелінійний статичний розрахунок';

- знижено коефіцієнт поверховості, використований при розрахунку сейсмічного навантаження;

- додано графіки коефіцієнтів динамічності для будівель з різною величиною коефіцієнтів податливості, використання яких дозволяє понизити величину сейсмічного навантаження;

- вперше введено розділ 'Проектування систем сейсмоізоляції будівель';

- вперше введено розділ 'Схили', де приведено основні вимоги до розрахунку схилів.

У вказаних нормах відмічено як необхідні для проектування будівель і споруд на сейсмонебезпечних територіях наступні геофізичні дані:

- інформація про величину, тривалість, спектральний склад і переважаючі періоди коливання ґрунтів для виключення можливих резонансних ефектів;

- швидкість проходження сейсмічної хвилі під майданчиком проектного будівництва;

- розрахункові акселерограми, що враховують вплив потенційно небезпечних сейсмоактивних зон і ґрунтових умов майданчика проектного будівництва.

Для визначення кількісних характеристик сейсмічної небезпеки будівельного майданчика необхідно виконати такі роботи:

- сейсмічне мікрорайонування (СМР) майданчика методом інженерно-геологічних аналогій;

- формування моделей будови геологічного середовища на виділених ділянках (таксонах) за результатами проведення інженерно-геологічних досліджень під будівництво [9], побудова карти СМР по методу інженерно-геологічних аналогій;

- вибір еталонного пункту в районі розташування об'єкта, визначення для нього таких параметрів геологічного середовища, як розподіл літологічного складу ґрунтів з глибиною і їх фізико-механічних властивостей: швидкості поздовжніх і поперечних хвиль, густини, пористості, характеристик загасання сейсмічних коливань з відстанню;

- уточнення параметрів проектного (ПЗ) і максимального розрахункового (МРЗ) землетрусів з місцевих потенційно сейсмоактивних зон і сейсмоактивної зони Вранча на еталонному пункті в районі досліджуваного майданчика;

- СМР майданчика методом сейсмічних жорсткостей, побудова карти СМР майданчика за результатами вивчення майданчика методами геологічних аналогій і сейсмічних жорсткостей;

- організація і проведення польових інструментальних сейсмологічних спостережень з метою реєстрації високочастотних мікросейсм (землетрусів і вибухів), як найбільш надійної основи для розрахунку приросту сейсмічної бальності, обумовленої конкретними ґрунтовими умовами майданчиків розташування об'єкта, побудови розрахункових акселерограм і спектрів реакції;

- визначення приростів сейсмічної бальності для кожної з виділених на досліджуваному майданчику таксонометричних одиниць (таксонів) і побудова карти СМР майданчика за результатами трьох методів: інженерно-геологічних аналогій,

сейсмічних жорсткостей і методу реєстрації землетрусів, вибухів, і короткоперіодних мікросейсм;

– визначення для кожного з таксонів розподілу літологічного складу ґрунтів з глибиною та їх фізико-механічних властивостей: швидкості поздовжніх і поперечних хвиль, густини, пористості та характеристик загасання сейсмічних коливань з відстанню;

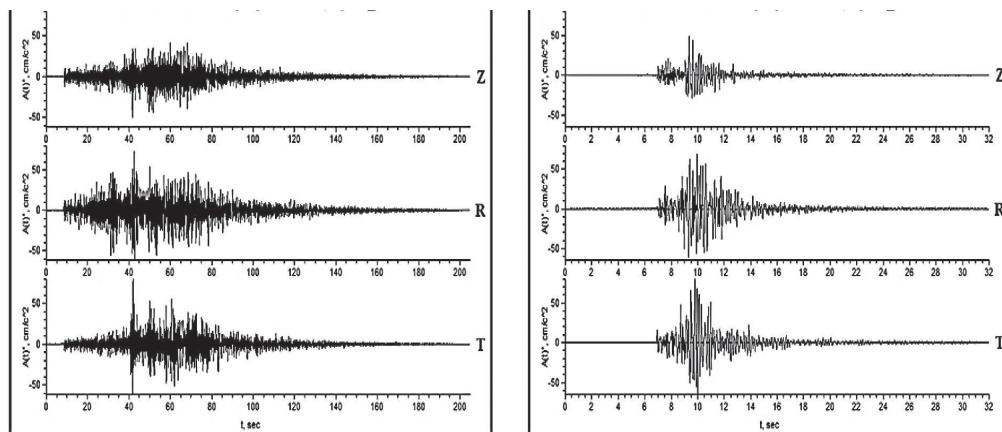
– побудова для кожного з виділених таксонів розрахункових моделей ґрунтових комплексів з врахуванням результатів СМР майданчика методом сейсмічних жорсткостей та матеріалів інженерно-геологічних досліджень, проведених згідно з вимогами ДБН А.2.1-1-2014 [1];

– розрахунок теоретичних частотних характеристик моделей ґрунтів для таксонометричних одиниць, виділених на майданчику за комплексом результатів трьох методів СМР;

– визначення емпіричних частотних характеристик ґрунтових комплексів під різними ділянками (таксонами) досліджуваного майданчика за матеріалами реєстрації землетрусів, вибухів і короткоперіодних мікросейсм;

– побудова ансамблю розрахункових акселерограм і спектрів реакції для ПЗ і МРЗ із зони Вранча і локальних потенційно сейсмоактивних зон з врахуванням емпіричних і теоретичних частотних характеристик ґрунтових комплексів під виділеними на майданчику таксонами.

На рис. 4 наведено приклад двох реалізацій трикомпонентних розрахункових акселерограм, побудованих для будівельного майданчика в м. Одеса.



*а* *б*  
Рис. 4. Графіки трикомпонентних розрахункових акселерограм:  
*а* – із зони Вранча; *б* – з локальної зони.  
Джерело: власна розробка

Роботи по СМР покликані не лише визначити значення приросту сейсмічної небезпеки (бальності) на будівельному майданчику за рахунок впливу її ґрунтових умов.

Отримані дані відкривають можливість суттєвого здешевлення сейсмостійкого будівництва за рахунок оптимального вибору конструктивних рішень, які дозво-

ляють уникнути збігу переважаючих частот, відповідають піковим прискоренням в сейсмічних хвилях, резонансних частот підстилаючої ґрунтової товщі і власних частот проєктованої будівлі (споруди).

При генеруванні розрахункових акселерограм використовуються різні комбінації теоретичних обвідних спектрів розрахункових акселерограм, нормованих частотних характеристик середовища і фазових спектрів, отриманих по різних записах реальних підкоркових землетрусів із зони Вранча і землетрусів з близьких сейсмоактивних зон, модифікованих з урахуванням умов майданчика.

### **Рекомендації з використання розрахункових акселерограм**

Прямі динамічні розрахунки будівель і споруд слід виконувати з використанням розрахункових акселерограм  $a_i(t) = A_i y_i(t)$ , де  $i$  – ознака складової вектора коливань,  $A_i$  – максимальне значення амплітуди прискорень,  $y(t)$  – нормована на одиницю функція, що описує коливання ґрунту в часі.

При проєктуванні особливо важливих об'єктів в прямих динамічних розрахунках належить використовувати розрахункові акселерограми, побудовані для заданої ймовірності неперевикнення максимальних сейсмічних впливів, що відповідає картам ЗСР. Розрахункові акселерограми будуються на основі інструментальних записів сильних і проміжних за величиною землетрусів, зареєстрованих безпосередньо на будівельному майданчику, або в умовах, близьких до умов майданчика. Величини  $A_i$  в цьому випадку визначаються за допомогою робіт з уточнення сейсмічної небезпеки майданчика.

При проєктуванні нетипових і відповідальних будівель і споруд у прямих динамічних розрахунках допускається використовувати синтезовані розрахункові акселерограми, побудовані з урахуванням умов майданчика.

При відсутності інструментальних записів для генерації розрахункових акселерограм можуть використовуватися розрахункові методи і дані щодо приросту сейсмічної бальності за рахунок впливу місцевих ґрунтових умов майданчика, отриманих при проведенні його сейсмічного мікрорайонування.

При проєктуванні будинків і споруд, не прив'язаних до конкретного майданчика, в прямих динамічних розрахунках рекомендується застосовувати пакет трикомпонентних синтезованих акселерограм, які були побудовані на основі записів коливань ґрунтів, зареєстрованих в різних регіонах України за допомогою цифрових сейсмостанцій.

При виконанні прямих динамічних розрахунків будівель і споруд амплітуди синтезованих акселерограм необхідно множити на масштабний коефіцієнт  $K$ , величина якого залежить від сейсмічності майданчика.

Максимальні значення прискорень відносяться до горизонтальних складових коливань. При відсутності інструментальних записів значення вертикальних прискорень основи допускається приймати рівними 0,7 від значень горизонтальних прискорень.

При проведенні прямих динамічних розрахунків із використанням набору синтезованих акселерограм необхідно в якості розрахункових приймати ті, у яких періоди з переважаючими по амплітуді коливаннями, є близькими до періодів власних коливань будівель за першою формою.

Рекомендації щодо вибору розрахункових акселерограм повинні враховувати їх відповідність для конкретного майданчика за основними сейсмологічними параметрами:

- магнітудою;
- епіцентральною відстанню;
- глибиною і механізмом вогнища;
- ґрунтовими умовами майданчика тощо.

Значення сейсмічних навантажень, переміщень і деформацій конструкцій слід визначати з урахуванням особливостей нелінійного деформування конструкцій.

У разі роздільного використання у розрахунках будівель і споруд на сейсмічні впливи горизонтальних і вертикальних компонент акселерограм належить приймати найбільш небезпечні напрямки сейсмічних впливів.

Прямі динамічні розрахунки будівель із системами сейсмоізоляції, з адаптивними системами сейсмозахисту (що включаються і виключаються), динамічними гасителями коливань, демпферуючими пристроями та іншими сейсмозахисними елементами слід виконувати при науковому супроводі та за участю організацій, що мають ліцензію на виконання такого виду робіт.

#### **Апаратура і методика польових досліджень**

Запис мікросейсм виконувався двома триканальними цифровими сейсмічними станціями Das-05, останніми з модельного ряду автоматичних сейсмостанцій, виготовлених в Інституті геофізики НАН України. Як сеймоприймачі використовувалися СМ-3КВ (див. рис. 5-7).

Сейсмічна станція 'DAS-05' забезпечує:

- реєстрацію повного вектора сейсмічних коливань в динамічному діапазоні не менше 140 дБ;
- частоту реєстрації вимірюваної інформації в межах 0,012-100 Гц;
- синхронізацію зареєстрованих сигналів з еталонним часом по Грінвічу з точністю не менше ніж 0,1 мс;
- відносну погрішність вмонтованого годинника не вище 10-7 с;
- регулярну корекцію вмонтованого годинника радіосигналами точного часу, отриманими від супутникового gps-приймача;
- можливість роботи з автоматичним перемиканням як від електромережі 220 В, так і від акумуляторної батареї (12-24 В);
- контроль енергоємності і автоматичне заряджання акумуляторної батареї у режимі роботи від електромережі;
- споживання електроенергії в режимі чекання не більше 10 ватт;
- термін автономної роботи апаратури від акумуляторних батарей не менше 24 годин;
- калібрування сейсмічних каналів (передбачена можливість визначення амплітудної і фазової частотних характеристик сейсмічних каналів з точністю до 5 % у частотному діапазоні 0,01 до 50 Гц) дозволяє отримати інформацію, яка необхідна для визначення дійсних значень прискорення, швидкості або зсуву в зареєстрованих коливаннях.



Рис. 5. Загальний вид сейсмостанції 'Одеса-місто' в ОНМУ.  
Джерело: власна розробка

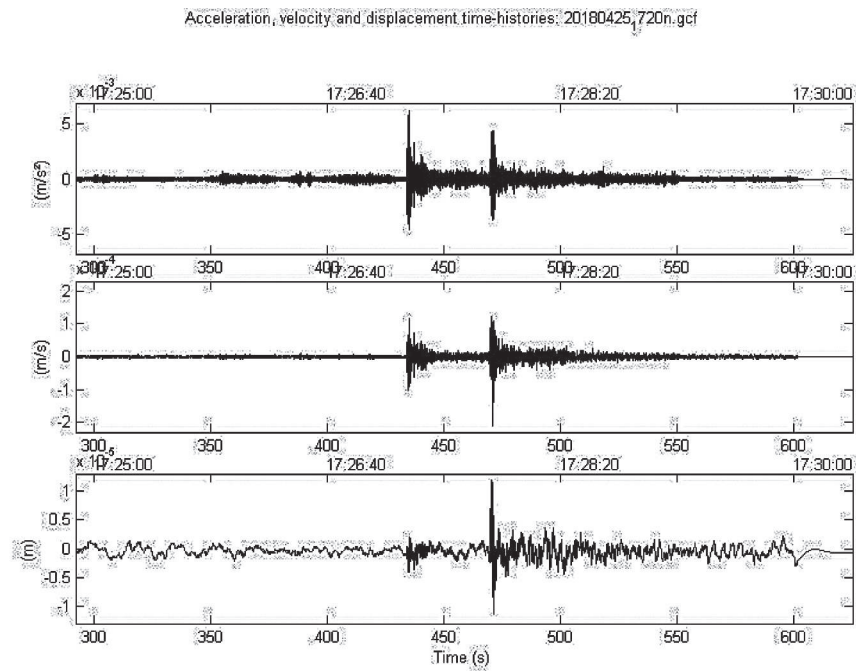


Рис. 6. Запис землетрусу із зони Вранча на станції 'Одеса-місто'.  
Джерело: власна розробка



Рис. 7. Сейсмічна станція 'DAS-05'.  
Джерело: власна розробка

Амплітудно-частотна характеристика цифрової сейсмічної станції розрахована генераторним способом за спеціальною програмою. Зареєстровані сейсмічні сигнали мають розмірність одиниць аналого-цифрового перетворювача (АЦП). Цифрова форма запису дозволяє за допомогою методів регуляризованого числового рішення зворотної задачі сейсмометрії перейти до 'дійсного' вигляду коливань. Для цього використовують частотні характеристики (ЧХ) реєструючих каналів. Амплітудно-частотні і фазово-частотні характеристики вимірювальних каналів приведені на рис. 8.



Рис. 8. Структурна схема сейсмічної станції 'DAS-05'.  
Джерело: власна розробка

### Розрахунок причальних споруд на синтезовані акселерограми

Виконано перевірочні розрахунки конструкції причалу судноремонтного пірсу № 2 ТОВ 'Іллічівський судноремонтний завод' з врахуванням проектних рішень по реконструкції гідротехнічної частини пірсу № 2 ІСРЗ для прийому суден типу 'Панамакс' під обробку зернових вантажів. Розрахунок виконаний із застосуванням програмного комплексу SCAD, що реалізовує метод скінченних елементів.

Навантаження і дії, прийняті для розрахунку конструкцій, відповідають ДБН В.1.2-2:2006 'Навантаження і дії' [1] і СНіП 2.06.04-82 'Навантаження і дії на гідротехнічні споруди (хвильові, льодові і від суден)' [10].

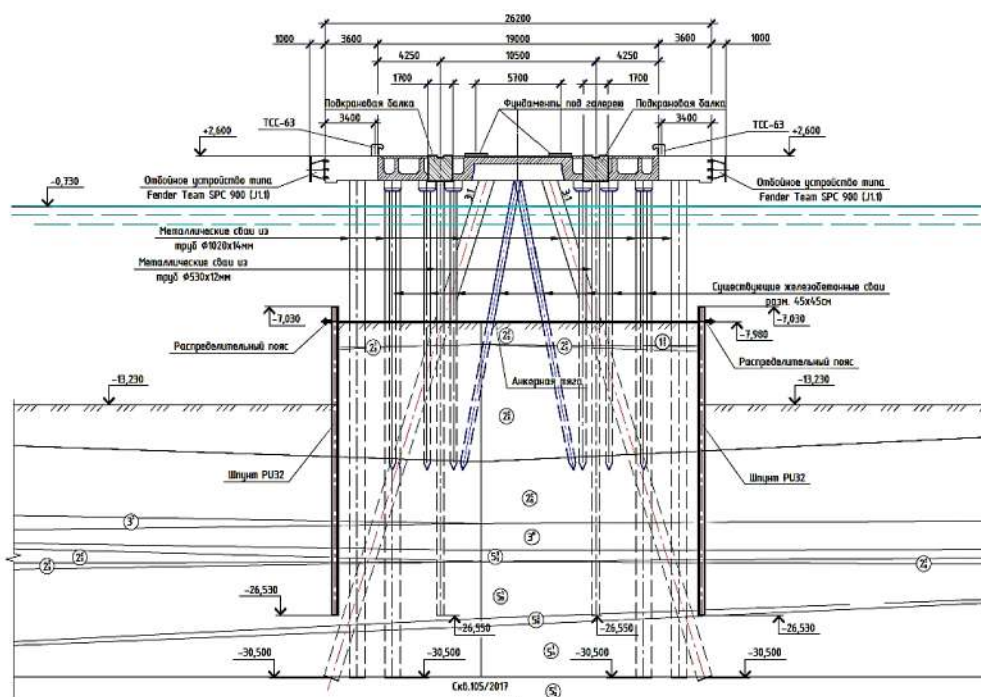


Рис. 9. Поперечний розріз 1-1.  
Джерело: власна розробка

Рис. 10. План свайної основи типової секції причалу після реконструкції.  
Джерело: власна розробка

Формування розрахункових акселерограм. На рис. 11 змальовані графіки трикомпонентної розрахункової акселерограми, що моделює розрахункові землетруси з локальних осередкових зон на вільній поверхні ґрунту досліджуваного майданчика.

Для досліджуваного майданчика побудований набір з 3-х трикомпонентних розрахункових акселерограм, що моделюють вплив місцевих розрахункових землетрусів з інтенсивністю 7 балів на майданчику проєктованого будівництва об'єкта реконструкції гідротехнічної частини пірсу.

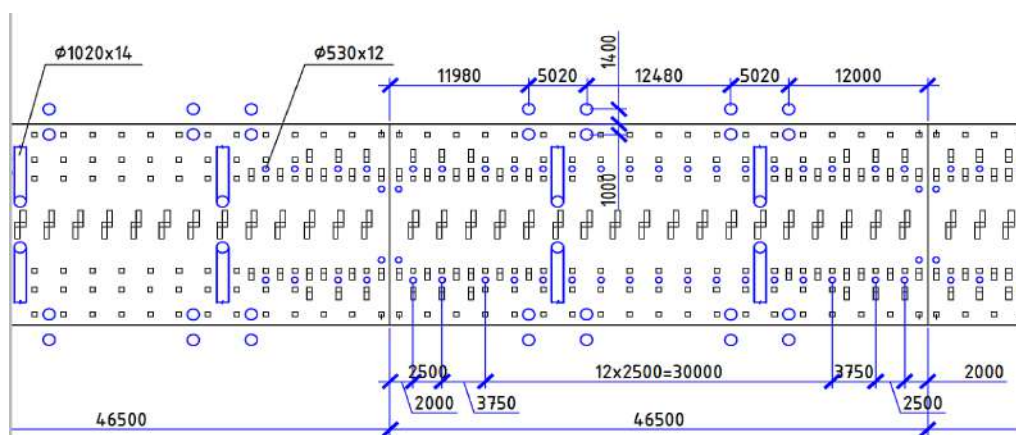


Рис. 11. Розрахункова акселерограма, що моделює вплив місцевих розрахункових землетрусів з інтенсивністю 7 балів на майданчику проектного будівництва об'єкта реконструкції гідротехнічної частини пірсу.

Джерело: власна розробка

## Висновки

На базі проведених досліджень отримано наступне:

- розроблено апаратуру і методику польових досліджень, яка дозволяє отримати реальні дані про коливання ґрунту на майданчиках будівництва;
- розроблено напівемпіричну методику побудови розрахункових акселерограм, яка базується на максимальному використанні інформації, що міститься в акселерограмах землетрусів з місцевих вогнищевих зон і землетрусів зони Вранча, зареєстрованих на території міста Одеса;
- проаналізовано сейсмічний вплив локальних інженерно-геологічних умов на будівельних майданчиках. За допомогою теоретичного моделювання сейсмічних впливів і чисельних експериментів встановлено, що фільтрація сейсмічних хвиль геологічним середовищем і виникнення резонансних коливань в спорудах при сильних підкоркових землетрусах зони Вранча можуть привести до збільшення сейсмічних навантажень у декілька разів;
- доведено, що побудовані з врахуванням результатів сейсмічного мікрорайонування розрахункові акселерограми і спектри реакції, відкривають можливість здешевлення сейсмостійкого будівництва за рахунок оптимального вибору конструктивних рішень, які дозволяють уникнути збігу переважаючих частот, що відповідають піковим прискоренням в сейсмічних хвилях, резонансних частот підстилаючої ґрунтової товщі і власних частот проєктованих будівель та споруд із збереженням необхідної надійності.

Отримані результати досліджень були використані при науково-технічному супроводі проєктування, реконструкції і зведенні реальних будівель і споруд, а запропоновані підходи, моделі та прикладні методики апробовані при оцінці несучої здатності і деформативності будівель і споруд.



### ЛІТЕРАТУРА

1. ДБН 1.1-12:2014. Державні будівельні норми України. Будівництво в сейсмічних районах України. Київ: Мінрегіонбуд України, Укрархбудінформ, 2014. 110 с.
2. ДСТУ-Н Б В.1.2-16:2013. Визначення класу наслідків (відповідальності) та категорії складності об'єктів будівництва. К.: ДП 'Украрх-будінформ', 2014.
3. Немчинов Ю.И. Сейсмостойкость зданий и сооружений. К., 2008. 480 с.
4. Schnabel P.B., Lysmer J., Seed H.B. SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites. Report № UCB. EERC-72/12. University of California, Berkeley. December. 1972. 102 p.
5. ДБН В.1.1-12:2006. Строительство в сейсмических районах Украины. К.: Министерство строительства, архитектуры и жилищно-коммунального хозяйства Украины, ДП 'Укрархбудінформ'. 2006. 92 с.
6. РД 31.3.06-2000. Руководство по учету сейсмических воздействий при проектировании морских гидротехнических сооружений типа 'Больверк'.
7. РД 31.31.55-93. Инструкция по проектированию морских причальных сооружений. Москва: Федеральная служба морского флота России, 1996. 110 с.
8. РД 31.31.35-85. Основные положения расчета причальных конструкций на надежность. Москва: 'Мортехинформреклама', 1986. 31 с.
9. РСН 60-86. Инженерные изыскания для строительства. Сейсмическое микрорайонирование. М.: Госстрой РСФСР, 1987. 17 с.
10. СНиП II-7-81\*. Строительные нормы и правила. Строительство в сейсмических районах. Москва: МИНСТРОЙ России, 1985. 116 с.
11. Егупов К.В. Причальные сооружения эстакадного типа: учебное пособие. Москва: В/О Мортехинформреклама, 1991. 85 с.
12. PIANC Seismic Design Guidelines for Port Structures, International Navigation Association, / A.A. Balkema Publishers, Tokyo, 2001.

### REFERENCES

1. DBN 1.1-12: 2014. State building norms of Ukraine. Construction in seismic areas of Ukraine [Derzhavni budivelni normy Ukrainy. Budivnytstvo v seismichnykh raionakh Ukrainy]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, Ukrarkhbudinform. 110 p. [in Ukrainian].
2. DSTU-N B V.1.2-16: 2013. Determining the class of consequences (responsibility) and the complexity category of construction objects [Vyznachennia klasu naslidkiv (vidpovidalnosti) ta katehorii skladnosti ob'ektiv budivnytstva]. K.: Ukrarch-Budinform [in Ukrainian].

3. Nemchinov, Yu.I. (2008). *Earthquake resistance of buildings and structures* [Seismostoikost zdaniy i sooruzhenii]. 480 p. [in Russian].
4. Schnabel, P.B., Lysmer, J., & Seed, H.B. (1972). *SHAKE: A Computer Program for Earthquake Response Analysis of Horizontally Layered Sites*. Report № UCB. EERC-72/12. University of California, Berkeley. 102 p.
5. DBN B.1.1-12: 2006. Construction in seismic regions of Ukraine [Stroitelstvo v seismicheskikh raionakh Ukrainy]. K.: Ministry of Construction, Architecture and Housing and Communal Services of Ukraine, DP 'Ukrarkhbudinform'. 92 p. [in Russian].
6. RD 31.3.06-2000. Guidelines for accounting for seismic effects in the design of marine hydraulic structures like "Bolverk" type [Rukovodstvo po uchetu seismicheskikh vozdeistvii pri proektirovanii morskikh gidrotekhnicheskikh sooruzhenii tipa 'Bolverk'] [in Russian].
7. RD 31.31.55-93. (1996). Instructions for the design of marine berthing facilities. Moscow: Federal Service of the Navy of Russia [Instruktsiia po proektirovaniu morskikh prichalnykh sooruzhenii]. 110 p. [in Russian].
8. RD 31.31.35-85 (1986). The main provisions of the calculation of berth structures for reliability [Osnovnye polozheniia rascheta prichalnykh konstruktsii na nadezhnost]. Moscow: Mortechninformreklama. 31 p. [in Russian].
9. RSN 60-86 (1987). Engineering surveys for construction. Seismic microzoning [Inzhenernye izyskaniia dlia stroitelstva. Seismicheskoe mikroraiionirovanie]. M.: Gosstroy of the RSFSR. 17 p. [in Russian].
10. SNiP II-7-81\* (1985). Building regulations. Construction in seismic areas [Stroitelnye normy i pravila. Stroitelstvo v seismicheskikh raionakh]. Moscow: Ministry of Russia. 116 p. [in Russian].
11. Egupov, K.V. (1991). *Trestle type berths: study guide* [Prichalnye sooruzheniia estakadnogo tipa: uchebnoe posobie]. Moscow: V/O Mortechninformreklama. 85 p. [in Russian].
12. PIANC Seismic Design Guidelines for Port Structures, International Navigation Association (2001). / A.A. Balkema Publishers, Tokyo.