

УДК 627.522:624.042.7

DOI 10.47049/2226-1893-2024-2-18-27

МЕТОДИ ПОКРАЩЕННЯ СЕЙСМОСТІЙКОСТІ ПРИЧАЛЬНИХ ПОРТОВИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

К.В. Єгунов

д.т.н., проф., завідувач кафедри «Цивільна інженерія та архітектура»

А.В. Войтюк

аспірант 1 курсу спец. 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

Одеський національний морський університет, Одеса, Україна

***Анотація.** У дослідженні виконано аналіз діючих та скасованих нормативних документів, що регламентують аспекти проектування причальних портів гідротехнічних споруд у сейсмічно активних районах. Виокремлено рекомендації щодо концепцій конструювання окремих вузлів причальних споруд типу естакада та типу бульварк. Окреслено напрямки проведення подальшого дослідження у сфері покращення сейсмічної стійкості портів причальних споруд.*

***Ключові слова:** сейсмотійке гідротехнічне будівництво, сейсмічна стійкість, причальна споруда, бульварк, естакада, покращення сейсмотійкості, портові гідротехнічні споруди.*

UDC 627.522:624.042.7

DOI 10.47049/2226-1893-2024-2-18-27

METHODS OF IMPROVING THE SEISMIC RESISTANCE OF BERTH AND PORT HYDROTECHNICAL STRUCTURES

K. Egupov

Dr. Sci. (Engin.), prof.

Head of the Department «Civil Engineering and Architecture»

A. Voitiuk

First-year PhD Student, Specialty 192 «Hydrotechnical construction,
water engineering and water technologies»

Odesa national maritime university, Odesa, Ukraine

***Abstract.** This study analyzes current and repealed regulatory documents governing the design aspects of port wharf structures in seismically active areas. Recommendations are highlighted for the design concepts of specific components of hydraulic structures of the pile and bulkhead types. Directions for further research in the field of improving the seismic resistance of port wharf structures are outlined.*

© Єгунов К.В., Войтюк А.В., 2024

Keywords: seismic-resistant hydraulic engineering, seismic resistance, wharf structure, bulkhead, trestle, seismic resistance improvement, port hydraulic structures.

Вступ. Сейсмічна активність проявляється на значній частині території України, в тому числі на значних ділянках чорноморського узбережжя, а також басейну ріки Дунай. Сейсмічні явища на планеті відбуваються доволі часто і приносять значні збитки людству. Їх руйнівна сила проявляється і в нинішній час, про що свідчать землетруси останніх декількох років.

Десятки років тому інженери вже намагались вирішити проблему проектування споруд у сейсмічно активних районах із врахуванням відповідних впливів. Дані дослідження роками ведуться вченими багатьох країн світу.

Історично склалась тенденція до більш детального дослідження сейсмічних впливів на об'єкти промислового та цивільного будівництва, натомість у гідротехнічному будівництві кількість досліджень та розглянутих варіантів із покращення сейсмічної стійкості портових споруд є значно меншою. Найбільшу інтенсивність вітчизняні дослідження сейсмостійкого будівництва портових гідротехнічних споруд, зокрема – причальних, отримали у 60-х – 80-х роках минулого століття.

Актуальність. У сучасній українській нормативній документації існують два чинних нормативних документи, що стосуються безпосередньо гідротехнічного будівництва та сейсмічних впливів: це ДБН В.2.4-3:2010 «Гідротехнічні споруди. Основні положення» [1] та ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво у сейсмічних районах України» [2]. Обидва ці документи мають дещо узагальнюючий характер та не несуть детальних рекомендацій щодо проектування тих чи інших типів причальних портових споруд, що зумовлено їх структурою та призначенням.

Серед сучасних українських норм проектування відсутні державні стандарти (ДСТУ), що присвячені рекомендаціям із компонування та посилення конструкцій причальних споруд, проекти яких розробляються для сейсмічно активних районів.

Разом із тим, на території України, до 2023 року діяв російськомовний советський нормативний документ РД 31.31.38-86 «Інструкція з посилення і реконструкції причальних споруд» (рос.), розроблений ДП «ЧорноморНДІпроект» у 1987р. З моменту випуску даного нормативного документу пройшло вже 37 років, за які докорінно змінилась нормативна база, вимоги до будівельних матеріалів та їх номенклатура, фактична ситуація на будівельному ринку.

В нинішніх умовах, коли неабиякий розвиток отримали вантажопотоки на р. Дунай, постає необхідність актуалізації нормативної бази в питаннях посилення і реконструкції причальних споруд, покращення їх сейсмостійкості та модернізації із врахуванням всіх природних факторів, зокрема – складних інженерно-геологічних умов.

Метою дослідження є **вивчення підходів та рекомендацій щодо підвищення сейсмічної стійкості причальних споруд для забезпечення їхньої надійної експлуатації в сейсмічно активних районах.** Дослідження покликано зак-

ласти основу для подальшої розробки сучасних керівних нормативних документів в частині проектування сейсмостійких портових ГТС.

Виклад основного матеріалу. У практиці гідротехнічного будівництва за десятиліття розвитку портової інфраструктури сформувалось декілька підходів до компонування та подальшого розрахунку причальних споруд у сейсмічно активних регіонах. У випадку проектування нових споруд у вигляді башт, прийнято виконувати посилення конструкції за допомогою різноманітного анкерування та влаштування екрануючих елементів. Нерідко, у випадках будівництва причальних споруд на слабких ґрунтах та в складних інженерно-геологічних умовах, поширене застосування отримали заходи із часткової заміни ґрунтів основи на піщані та супіщані насипні ґрунти. Проте, варто розглянути інші рекомендації для різних типів причальних портових споруд, частково раніше описані у Єврокодї 7 «Геотехнічне проектування» [3].

У спорудах естакадного типу рекомендовано передбачати пластичні поглиначі енергії коливань (рис. 1), що виникають в умовах сейсмічного впливу.

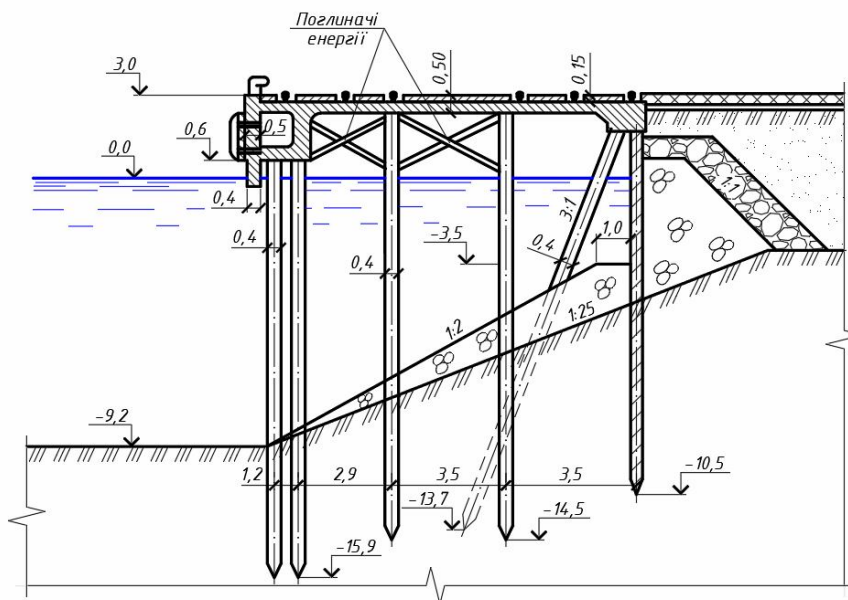


Рис. 1 Принципова схема устрою поглиначів енергії коливань

Такі зв'язки можуть бути виконані у вигляді діагональних зв'язків між палями естакади. Додатковим рішенням з покращення сейсмічної стійкості споруди естакадного типу може бути виконання сейсмоізоляції плити верхньої будови. У випадках, коли необхідно виконати зворотну засипку споруди, технічною документацією має бути передбачено використання однорідного піщано-гравійного ґрунту, або каменю. При цьому не рекомендовано влаштовувати зворотну засипку причальної споруди шляхом намиву ґрунту. Слід передбачати пошарову засипку ґрунту за стінку при обов'язковому ущільненні кожного відсипаного елемента [4].

Збірні елементи верхньої будови та балочні елементи кранових колій мають сполучатися у вигляді жорстких з'єднань, що виключатимуть можливість зсуву у будь-якому напрямку. Разом із тим, в якості опор споруд естакадного типу рекомендовано використовувати палі із металевих труб. Палі ж необхідно занурювати до глибини залягання ґрунтів основи, структура яких не порушується при сейсмічному впливі (рис. 2). Верхні кінці палей мають бути жорстко замоноличені у ригель при ригельній конструкції верхньої будови та у плиту – в випадку використання плитної конструкції.

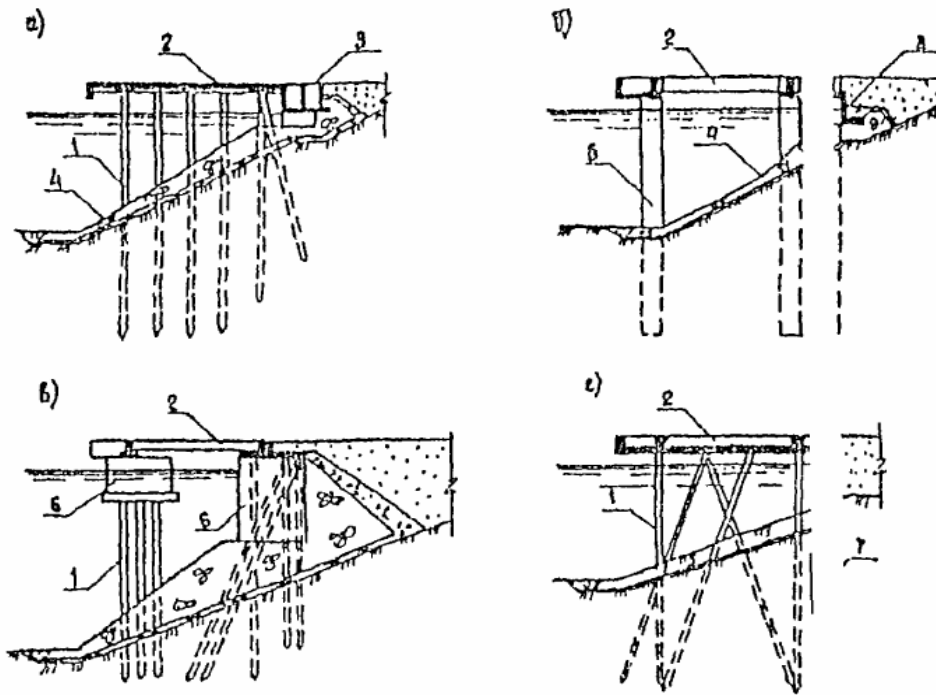


Рис. 2. Типи споруд естакадного типу:

- а – на залізобетонних призматичних палях;*
- б – на палях-оболонках діаметром 1,2м;*
- в – на опорах у вигляді куців палей із захистом металевими оболонками;*
- г – із похилими палями та заднім шпунтом*

Горизонтальну жорсткість споруд естакадного типу у поперечному та поздовжньому напрямку, за необхідності, рекомендовано збільшувати за допомогою застосування похилих палей, або введенням горизонтальних зв'язків.

У конструкціях палевих набережних і оторочок, естакада і тилове сполучення мають з'єднуватися між собою вільно опертими і ковзаючими по одній із опор перекидними плитами, що забезпечують роздільну роботу естакади і тилового сполучення (рис. 3).

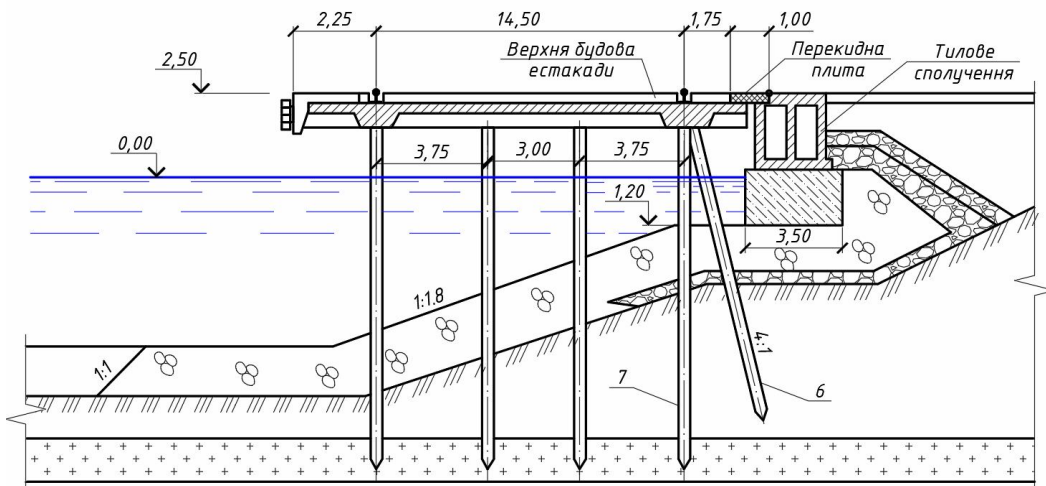


Рис. 3. Принципова схема розташування перекидної плити

У спорудах типу заанкерований больверк з метою підвищення сейсмічної стійкості анкерної плити (стінки), перед її лицьовою гранню влаштовувати щільне ґрунтове ядро із крупно-уламкових або піщаних ґрунтів [4]. Конструкції сполучення анкерних тяг із спорудами та анкерними опорами мають виключати виникнення згинальних моментів в опорах. Кріплення кінців анкерних тяг рекомендовано виконувати шарнірними (рис. 4).

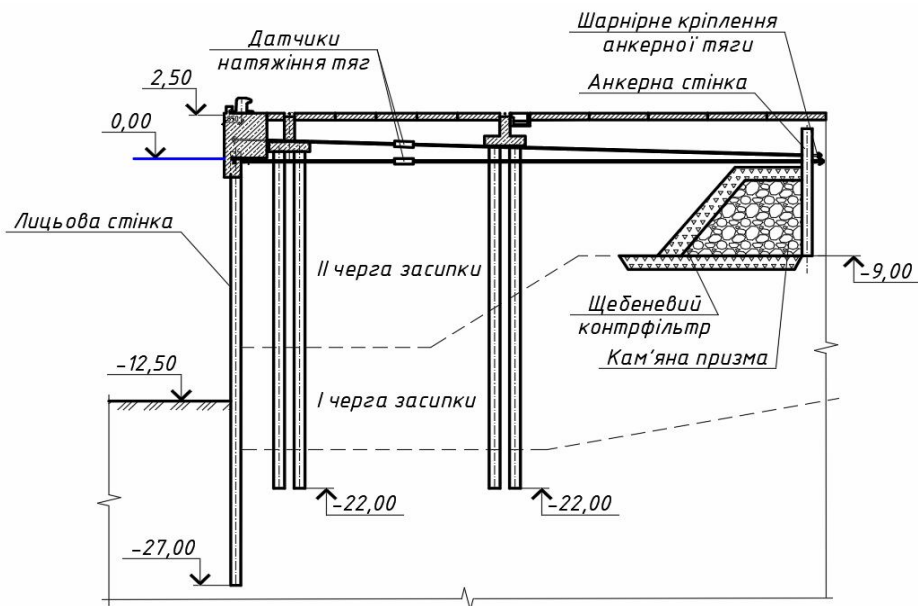


Рис. 4 Принципова схема влаштування ґрунтового ядра з каменю

У межах секції довжина та марка сталі анкерних тяг мають бути ідентичні у кожній тязі. При будівництві споруди рекомендовано забезпечити однакове попереднє напруження анкерних тяг. Анкерні тяги рекомендовано оснащувати спеціальними елементами, що забезпечують однакове попереднє напруження анкерних тяг.

Кранові колії за стінками рекомендовано влаштовувати на паливих фундаментах із передачею навантажень на глибинні шари ґрунтів основи.

З метою уникнення збільшення сейсмічних навантажень на споруду, рекомендується розташовувати зони складування вантажів, виробничі корпуси та інші об'єкти порту в тилівій частині причалу, на відстані не менше $2,5H$, де H – висота причалу (рис. 5).

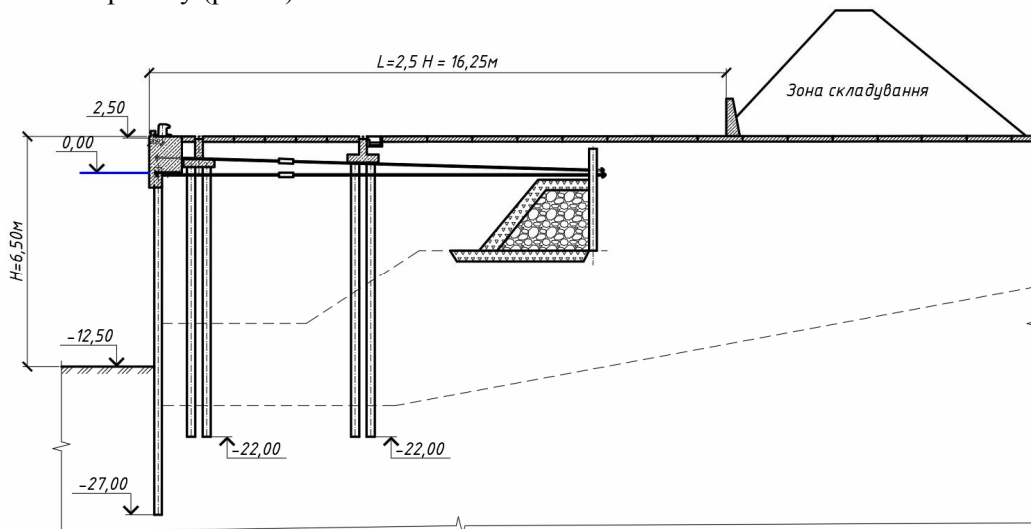


Рис. 5. Схема рекомендованого розташування зони складування вантажів

Обов'язковою конструктивною умовою для протяжних причальних споруд будь-якого типу є влаштування антисейсмічних швів. Дані шви доцільно суміщати із температурно-осадовими швами. Ширину антисейсмічних швів у спорудах естакадного типу варто призначати за результатами розрахунку і приймати не менше 40 мм.

Антисейсмічні шви у плитах покриття верхньої будови мають закриватися компенсаторами або нащільниками із оцинкованої сталі, алюмінію чи пластмаси, що не будуть перешкоджати їх взаємному переміщенню.

Доцільність з'єднань секцій естакад між собою спеціальними зв'язками, перешкоджаючими відносному зсуву секцій у напрямку, перпендикулярному поздовжньої осі споруди, визначається за результатами співставлення розрахунків на основні сполучення навантажень із врахуванням навалу судна і на особливе сполучення навантажень із врахуванням сейсмічних сил. При цьому конструкції зв'язків мають виключати можливість їх крихкого руйнування при сейсмічних коливаннях.

Окремо варто розглянути випадки, коли необхідно покращити антисейсмічні властивості раніше збудованої причальної споруди. У даному випадку можливе посилення ґрунту основи причальної споруди за допомогою цементації на певну глибину та відстань від лінії кордону в тил причалу, або у випадках, коли це можливо, за допомогою влаштування в тилу поля буронабивних паль. Нормативний документ РД 31.31.29-82 (рос.), що досі діє на території України, не розповсюджується на проектування комбінованих основ, що включає окрім мулоцементних, інші види паль, зокрема шпунтів, проте використання рекомендацій нормативного документа в частині проектування паливових полів та цементних сумішей є можливим для практичного застосування у сфері посилення основ причальних споруд типу заанкерований больверк. Зокрема, даний документ наводить приклади влаштування паливових полів шляхом змішування цементної суміші з ґрунтами основи у вигляді паль (рис. 6).

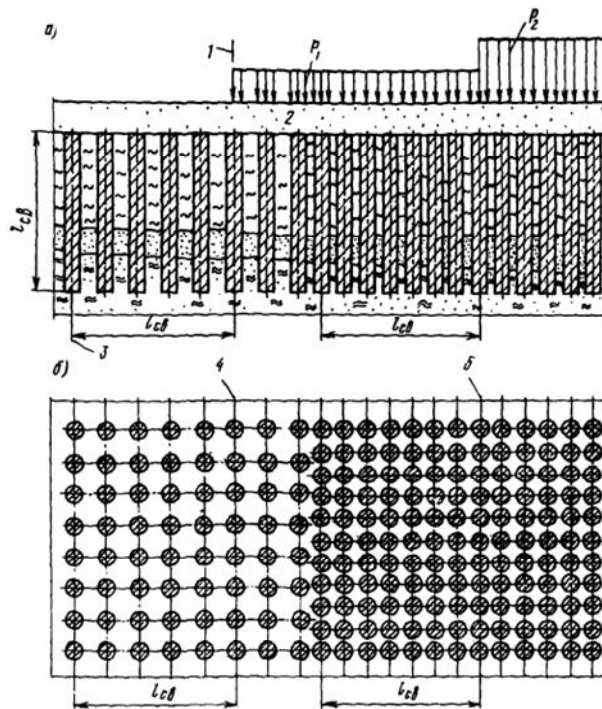


Рис. 6. Відносне розташування меж зон діючих навантажень і паливових полів з різною несучою здатністю:

a – поперечний переріз;

б – план;

1 – зовнішня межа вантажного майданчика;

2 – розподільчий шар;

3 – вісь зовнішнього ряду паль;

4 і *5* – межі зон розрахункових навантажень (відповідно P_1 і P_2)

Також можливо використовувати метод струменевої ін'єкційної цементації ґрунтів основи причалу. В такому випадку схема роботи причальної споруди типу больверк змінюється на принцип, притаманний для споруд гравітаційного типу, коли конструкція посилюється за рахунок зменшення горизонтальної складової активного тиску ґрунту на лицьову стінку (рис. 7).

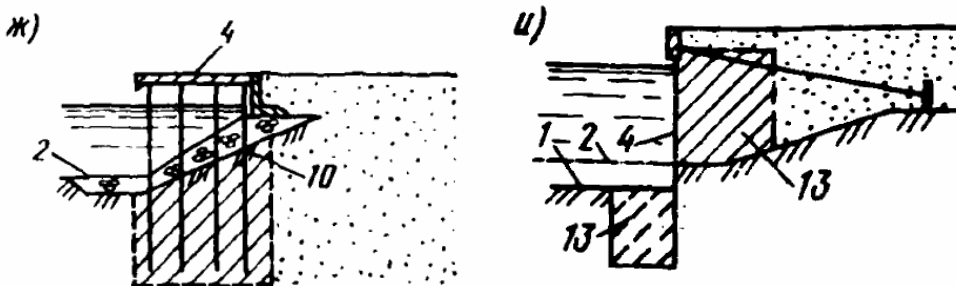


Рис. 7. Посилення причальних споруд шляхом струменевої цементації:

ж) – естакада;

и) – заанкерований больверк;

1 – проектний профіль дна;

2 – фактичний профіль дна;

4 – конструкція больверку;

10, 13 – закріплення методом цементації ґрунту

Принцип струменевої цементації є найбільш сучасним методом штучного посилення основ раніше побудованих причальних споруд, проте на даний момент відсутні випадки реалізованого застосування такого виду покращення сейсмостійкості причальних споруд, однак є приклади закладення такого методу у робочі проекти причальних споруд на р. Дунай.

Даний тип покращення сейсмостійкості причальних споруд потребує виконання додаткових досліджень із застосуванням чисельних методів та програмного забезпечення із застосуванням методів МКЕ, в тому числі із використанням реальних акселерограм для програмного моделювання прямого сейсмічного впливу на причальні споруди.

Висновок. За результатами виконаного дослідження отримано дані про рекомендації нормативних документів, що втратили чинність на території України. Основними напрямками подальшої наукової роботи є: вивчення випадків пошкоджень причальних споруд від дії сейсмічних навантажень, класифікація найбільш поширених випадків порушення рекомендацій щодо проектування сейсмостійких причальних споруд та проведення досліджень ефективності заходів зі струменевої цементації ґрунтів основи з метою покращення сейсмостійкості ГТС.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН 1.1-12:2014. «Будівництво в сейсмічних районах України». – К.: Мінрегіонбуд України, Укрархбудінформ, 2014. – 110 с.
2. ДБН В.2.4-3-2010 «Гідротехнічні споруди. Основні положення». – К.: Мінрегіонбуд України, Укрархбудінформ, 2010. – 36 с.
3. EN 1997-1:2004 Eurocode 7: Geotechnical design – Part 1: General rules (Єврокод 7: Геотехнічне проектування. Частина 1. Загальні правила) з технічною поправкою EN 1997-1:2004/AC:2009, Мінрегіонбуд України, 2004р. – 192 с.
4. Єврокод 8. Проектування сейсмостійких конструкцій. Частина 1. Загальні правила, сейсмічні дії, правила щодо споруд (EN 1998-1:2004, IDT). Мінрегіонбуд України, 2004р. – 304 с.
5. РД 31.31.29-82 «Посібник з проектування мулоцементних основ та фундаментів портових споруд» – Одеса ДП «ЧорноморНДІпроект» 1983. – 16 с.
6. Єзупов, К., & Войтюк, А. (2023). Аналіз сейсмічного впливу на причальну споруду типу заанкерований больверк у складних інженерно-геологічних умовах. Вісник Одеського національного морського університету, (69), 75-92. <https://doi.org/10.47049/2226-1893-2023-2-75-92>
7. Chopra, A.K. Capacity-Demand-Diagram Methods Based on Inelastic Design Spectrum / A.K. Chopra, R.K. Goel // Earthquake Spectra. – 1999. – Vol. 15. – № 4. – P. 637-656

REFERENCES

1. DBN 1.1-12:2014. «Construction in seismic areas of Ukraine». – K.: Ministry of Regional Development of Ukraine, Ukrakhbudinform, 2014. – 110 p.
2. DBN V.2.4-3-2010 «Hydraulic structures. Substantive provisions». – K.: Ministry of Regional Development of Ukraine, Ukrarchbudinform, 2010. – 36 p.
3. EN 1997-1:2004 Eurocode 7: Geotechnical Design - Part 1: General Rules with technical amendment EN 1997-1:2004/AC:2009, Ministry of Regional Development, Construction, Housing, and Communal Services of Ukraine, 2004 – 192 p.
4. Eurocode 8: Design of Structures for Earthquake Resistance. Part 1: General Rules, Seismic Actions, and Rules for Buildings (EN 1998-1:2004, IDT). Ministry of Regional Development, Construction, Housing, and Communal Services of Ukraine, 2004 – 304 pages.
5. RD 31.31.29-82 «Manual for the Design of Mud Cement Foundations for Port Structures». – Odesa: SE «CHERNOMORNIIPROEKT», 1983. – 16 p.

6. Yegupov K., & Voityuk A. (2023). *Analysis of Seismic Impact on a Quay Wall Structure of the Anchored Sheet Pile Type under Complex Engineering and Geological Conditions. Bulletin of the Odessa National Maritime University, (69), 75-92. <https://doi.org/10.47049/2226-1893-2023-2-75-92>*
7. Chopra A.K. *Capacity-Demand-Diagram Methods Based on Inelastic Design Spectrum / A.K. Chopra, R.K. Goel // Earthquake Spectra. – 1999. – Vol. 15. – № 4. – P. 637-656*

Стаття надійшла до редакції 12.04.2024

Посилання на статтю: Єгупов К.В., Войтюк А.В. «Методи покращення сейсмостійкості причальних портових гідротехнічних споруд» // Вісник Одеського національного морського університету: Зб. наук. праць, 2024. № 2 (73). С. 18-27. DOI 10.47049/2226-1893-2024-2-18-27.

Article received 12.04.2024

Reference a journal artic: Egupov K., Voitiuk A. Methods of improving the seismic resistance of berth and port hydrotechnical structures // *Herald of the Odessa national maritime university*: Coll. scient. works, 2024. № 2(73). P. 18-27. DOI 10.47049/2226-1893-2024-2-18-27.