DOI: https://doi.org/10.33644/2313-6679-1-2025-5

УДК 627.522:624.042.7

ЄГУПОВ К.
Доктор техн. наук, професор, Одеський національний морський університет,
м. Одеса, Україна,
e-mail: yegupov.k@gmail.com,
тел.: +38 (097) 238-02-08,
ORCID: 0000-0002-8342-820X

ВОЙТЮК А.
Аспірант спец. 192 «Будівництво та цивільна інженерія», Одеський національний морський університет,
м. Одеса, Україна,
e-mail:anatolijl.voitiuk21@gmail.com,
тел.: +38 (068) 128-17-16,
ORCID: 0009-0003-3810-5772

ПРОБЛЕМАТИКА СЕЙСМІЧНОЇ СТІЙКОСТІ ПОРТОВИХ ГІДРОТЕХНІЧНИХ СПОРУД

АНОТАЦІЯ

Статтю присвячено дослідженню ефектів, що виникають в ґрунтах основи при взаємодії з портовими причальними спорудами, та методів розробки сейсмічно стійких рішень для причальних споруд, що працюють в складних інженерно-геологічних умовах. Зроблено аналіз розповсюдження сейсмічних хвиль від джерела землетрусу до ділянки розташування споруди. Виконано аналіз українських та зарубіжних джерел, сформульовано критерії пошкоджень для причальних споруд основних типів: гравітаційного, больверк та естакадного. Для больверків та естакадних споруд наведено схеми, що описують бажану послідовність для досягнення граничних станів із збільшенням рівня сейсмічного навантаження з точки зору безпечної роботи причальних споруд. Виокремлено найбільш відповідальні, з точки зору безвідмовної роботи споруди, конструктивні елементи та пошкодження, які слід враховувати при розробці проєктної документації гідротехнічної частини причальних споруд. Визначено напрямки подальших досліджень у сфері сейсмостійкого гідротехнічного будівництва. В роботі наведено приклад розрахунку причальної споруди типу заанкерований больверк у складних інженерно-геологічних умовах (ґрунти III категорії складності), запроєктованої у сейсмостійкому варіанті – з двома рівнями анкерування по висоті. Розрахунок виконується у програмному комплексі, заснованому на методі кінцевих елементів (далі – МКЕ) із застосуванням розрахункової акселерограми, синтезованої на основі польових даних для Ізмаїльського району Одеської області. За результатами розрахунку отримано дані про загальні деформації споруди, переміщення та моменти, що виникають в основних конструктивних елементах причальної споруди типу заанкерований больверк. Зроблено висновки про сейсмічну стійкість причальної споруди у запропонованому конструктивному виконанні на основі отриманого коефіцієнту загальної стійкості споруди.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: сейсмічна дія, розрідження ґрунту, критерії пошкоджень, портові споруди, гравітаційна споруда, больверк, естакада, причал.

ISSUES OF SEISMIC STABILITY OF PORT HYDRAULIC STRUCTURES

ABSTRACT

The article is devoted to the study of the effects that arise in the base soils when interacting with port berthing structures and methods for developing seismically stable solutions for berthing structures operating in difficult engineering and geological conditions. An analysis of the propagation of seismic waves from the earthquake source to the location of the structure was performed. An analysis of Ukrainian and foreign sources was performed, and damage criteria for berthing structures of the main types were formulated: gravity quay walls, sheet pile walls and pile-supported wharves. For sheet pile walls and pile-supported wharves, schemes are provided that describe the desired sequence for achieving limit states with increasing seismic load levels from the point of view of safe operation of berthing structures. The most responsible, from the point of view of failure-free operation of the structure, structural elements and damage that should be taken into account when developing design documentation for the hydraulic part of berthing structures are identified. Directions for further research in the field of seismically stable hydraulic engineering are determined. The paper presents an example of calculating a berthing structure of the anchored sheet pile wall type in difficult engineering and geological conditions (soils of the III category of complexity), designed in a seismically resistant version – with two anchoring levels in height. The calculation is performed in a software package based on the finite element method (FEM) using a calculated accelerogram synthesized on the basis of field data for the Ismail district of the Odessa region. According to the results of the calculation, data on the general deformations of the structure, displacements and moments that arise in the main structural elements of the berthing structure of the anchored bulwark type were obtained. Conclusions were drawn about the seismic stability of the berthing structure in the proposed design, based on the obtained coefficient of the general stability of the structure.

KEYWORDS: seismic action, soil liquefaction, damage criteria, port facilities, gravity structure, bolwerk, overpass, berth.

ВСТУП

Причальні споруди виконують критичну функцію в забезпеченні морських перевезень та торговельної інфраструктури. У сейсмічно активних регіонах пошкодження, які викликані землетрусами, можуть спричинити значні втрати: як економічні, так і екологічні. Важливо розуміти, як різні типи пошкоджень впливають на стійкість конструкцій під час сейсмічних коливань, щоб розробляти ефективні методи захисту та відновлення.

АНАЛІЗ ДЖЕРЕЛ

Нормами [1] введено в дію комплект карт Загального сейсмічного районування ЗСР-2004 – А0, А, В, С. Враховуючи те, що більшість портових причальних і огороджувальних споруд України відносяться до класу наслідків СС3 (оскільки такі споруди нерідко відносяться до великих неподільних комплексів, для яких прийнято клас наслідків СС3) або рідше – до СС2 (у випадках окремих малих вантажних терміналів), метод розрахунку на прямий динамічний вплив є найбільш бажаним з точки зору конструктивних особливостей споруд, що працюють за схемою «споруда – ґрунт» (Soil-Structure Model). Разом із тим, норми [1] мають низку недоліків, зокрема: розроблені переважно для цивільного будівництва та не враховують специфіку портових гідротехнічних споруд (далі – ГТС); обмежено враховують динамічну взаємодію споруди з водним середовищем в частині приєднаної маси води біля ГТС.

Як вищезазначені норми, так і норми [2] не враховують ефектів, які потенційно можуть виникнути безпосередньо від взаємодії ГТС з ґрунтом, в тому числі максимальні допуски деформацій споруд, ефекти розрідження ґрунтів основи та нелінійність розповсюдження сейсмічних хвиль у водонасичених ґрунтах, що потенційно означає значні відмінності між синтезованими акселерограмами та фактичними, що виникнуть в зоні розташування ГТС.

Питанню сучасного розрахунку будівель і споруд за прямим динамічним методом із застосуванням інструментальних записів прискорень ґрунту при землетрусах присвячена монографія [6], де детально розглянуто сейсмічні небезпеки Одеського регіону, виконано аналіз найбільших зафіксованих землетрусів. В даній праці проведено роботу із систематизації історії розвитку методів розрахунку будівель і споруд на сейсмічні впливи. Значним внеском авторів є проведення досліджень в питанні визначення сейсмічних впливів на будівлі і споруди за результатами інструментального сейсмічного моніторингу та розробки на їх основі динамічних моделей будівель і споруд. Окремий розділ [6] присвячується розрахунку причальних споруд на синтезовані акселерограми. Автори наголошують на тому, що додатковим фактором, який складно врахувати при розрахунках портових ГТС, є фактор фізичного зносу гідротехнічної частини більшості державних портів. Так, проведений інститутом ДП «ЧорноморНДІпроект» аналіз тривалості експлуатації причальних споруд показав, що до теперішнього часу термін служби більшості причальних споруд складає 30 ÷ 40 років і наближається до нормативного або перевищує його. За даними того ж джерела, кількість споруд, що експлуатуються 30 років і

більше, становить близько 70 % [6].

Ряд наукових статей [7, 8] присвячені визначенню загальних видів руйнувань причальних споруд типу больверк та естакадного типу при сейсмічній дії, зокрема з точки зору переміщень, деформацій та кренів секцій споруд. Авторами на основі аналізу вітчизняних та іноземних джерел визначено основні критерії руйнувань такого типу портових ГТС, побудовано блок-схеми і матриці для визначення ймовірності безвідмовної роботи конструкцій цього типу споруд. Дана інформація співпадає з даними рекомендацій міжнародної асоціації PIANC [5].

Питанню розробки етапів та принципів визначення сейсмічних ризиків в портах України присвячена робота [8]. Авторами представлена блок-схема ймовірнісно-інформаційної моделі «сейсмічний ризик – морський порт» і сформульовані основні задачі та напрямки щодо визначення сейсмічних ризиків в портах України.

На основі аналізу вищезазначених робіт можна сформулювати наступні питання, що потребують вивчення: виявлення критеріїв допустимих пошкоджень портових ГТС з перспективи підходу Perfomance-Based Design (методу, заснованому на результативності); опис, врахування та перспективи моделювання складних ефектів, що відбуваються в ґрунтах основи портових ГТС; питання деталізації динамічних моделей портових споруд; розробка рекомендацій щодо антисейсмічних заходів гідротехнічних частин портових терміналів на етапі розробки проєктної документації; розробка методів врахування зношення та деформацій внаслідок експлуатації, які отримують причальні споруди протягом свого життєвого циклу, що потенційно несе додаткові ефекти, які впливають на міцність і загальну стійкість портових ГТС.

ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ

Дана стаття присвячена аналізу ефектів, що виникають від дії землетрусів на причальні споруди та визначенню допустимих критеріїв пошкоджень портових причальних споруд.

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Незважаючи на те, що сейсмічність змінюється залежно від регіону, землетруси неодноразово відбувалися не лише в сейсмічно активних регіонах світу, але й у регіонах із низькою сейсмічністю, наприклад, у зонах 1 або 2 (як показано на рис. 1). Пом'якшення наслідків землетрусів є предметом інтересу в усьому світі.

Рухи корінних порід

Рухи корінних порід, які використовуються для сейсмічного аналізу та проєктування на певній ділянці, характеризуються за допомогою аналізу сейсмічної небезпеки. Якщо в аналізі сейсмічної небезпеки передбачається конкретний сценарій землетрусу, рух корінних порід визначається детерміновано на основі параметрів джерела землетрусу та ефектів поширення хвилі вздовж шляху від джерела до місця. Однак, найчастіше рух корінних порід визначається імовірнісним шляхом за допомогою аналізу сейсмічної небезпеки, враховуючи невизначеність у частоті виникнення та місці землетрусів.

Локальні впливи на ділянку

Ґрунтові умови на певній ділянці можуть суттєво змінити рух ґрунтової основи, змінюючи амплітуду, частоту та тривалість. Це пов'язано з характеристиками динамічної реакції ґрунтів, і

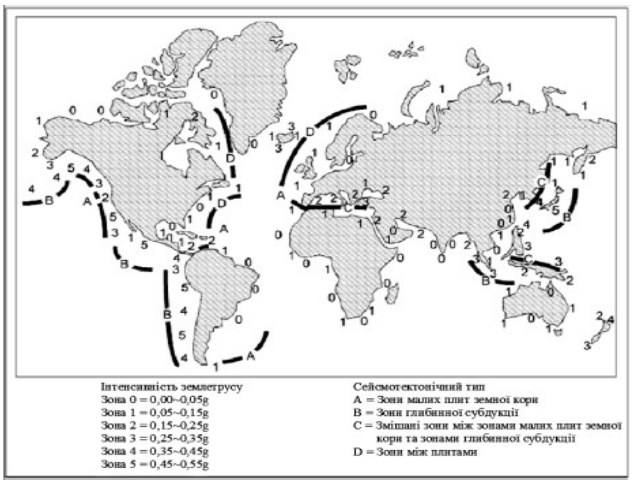


Рисунок 1 – Значення прискорень за період останніх 500 років (доповнено після Беа, GSHAP, 1997) (згідно з [9])

це було названо «локальними впливами на майданчик». Локальні ефекти на місці розташування ГТС залежать від властивостей параметрів ґрунтів основи і їх нашарування, а також інтенсивності та частотних характеристик руху корінних порід.

У [8] зазначається, що в інженерній практиці локальні ефекти об'єкта оцінюються або за допомогою встановлених коефіцієнтів посилення об'єкта, заснованих на статистичному аналізі існуючих даних, або за допомогою аналізу реакції на об'єкті. Коефіцієнти посилення ділянки часто вказуються в кодах і стандартах і використовуються для масштабування PGA (пікові прискорення ґрнуту) або PGV (пікові швидкості ґрунту) корінних порід для отримання відповідних значень на поверхні землі, або використовуються для масштабування спектрів відгуків корінних порід для визначення спектрів відгуків поверхні землі.

Розрідження ґрунтів

Оскільки водонасичені ґрунти основи швидко переміщуються вперед-назад під час сейсмічних коливань, тиск води в порах ґрунту починає зро-

стати. У пухких водонасичених ґрунтах без зчеплення поровий тиск води може швидко зростати й досягати такого рівня, що частки ґрунту на короткий час розпливаються, а міцність і жорсткість ґрунту тимчасово втрачаються. Такий стан називається «розрідженням ґрунту» і схематично показано на рис. 2.

Динамічний поровий тиск, що виникає внаслідок землетрусу, важливий, оскільки він призводить до розвитку гідравлічних градієнтів у масі ґрунту. В результаті вода із пор ґрунтів основи починає мігрувати і швидко переміщується до вільно дренованих поверхонь. Цей аспект розрідження є відповідальним за ознаки розрідження на рівній землі, такі як: кипіння піску (див. рис. 2), джерела води та вентиляційні тріщини. Іншими явищами, пов'язаними з розрідженням, є бічне розповсюдження та руйнування ґрунту, які є проявами існування зрідженого піщаного шару на деякій глибині під гребенем або насипом.

Споруди гравітаційного типу

Гравітаційна причальна споруда зазвичай складається з масивів-гігантів або іншої утримуючої конструкції гравітаційного типу, розміщеної на морському дні. Стійкість до активного тиску від ґрунту засипки за стіною підтримується масою конструкції та її тертям по підошві основи. Для гравітаційних причальних стінок на скельних основах типовими видами руйнування під час землетрусів є зсув у бік моря та крен. Для рихлої зворотної засипки або природної пухкої піщаної основи види руйнування включають загальну деформацію основи під причальною спорудою, що призводить до значного зсуву в бік акваторії, крену та осідання. Причальна споруда з відносно невеликим відношенням ширини до висоти (як правило, менше ніж приблизно 0,75), демонструватиме переважно крен, а не горизонтальні переміщення.

Сейсмічні характеристики гравітаційної причальної споруди встановлюються з урахуванням таких міркувань експлуатації, як: безпечне причалювання, безпечна експлуатація колісних транспортних засобів і виконання перевантажувальних робіт, затоплення, а також рівень конструктивних пошкоджень у вигляді зміщень і нахилів (включаючи відносні переміщення між бетонними блоками у набережних у вигляді масивових кладок).

Параметри, які можуть бути використані для визначення критеріїв пошкодження, включають зміщення, осідання, крени та диференти вздовж лінії кордону причалу, а також деформації зворотної засипки, включаючи осідання, диференціальне осідання на та позаду тилової частини споруди, включаючи нахил (див. рис. 3).

Споруди типу больверк

Причальна споруда типу больверк (заанкерований больверк) складається із зчеплених між собою шпунтових паль, що формують лицьову стінку, анкерних тяг і тилових анкерних пристроїв. Лицьова стінка закріплюється у верхній частині анкерами, а в нижній частині – заглибленням у ґрунти основи. Типові сценарії їх відмов під час землетрусів залежать від конструктивних і геотехнічних особливостей, як показано на рис. 4.

Структурне пошкодження причальної споруди зі шпунтових паль, в основному, регулюється напруженими/деформованими станами конструктивних елементів, а не їх переміщеннями. Важливо визначити бажану послідовність і ступінь граничних станів, які можуть виникнути в конструкції причальної споруди типу больверк [5, 7].

Критерії допустимих пошкоджень слід встановити шляхом вибору та визначення відповідних параметрів із вищезазначених. Бажана

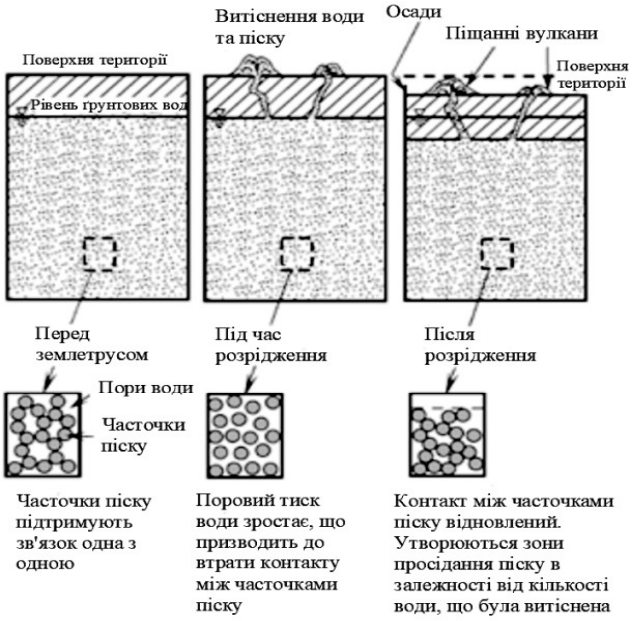


Рисунок 2 – Механізм розрідження ґрунтів основи

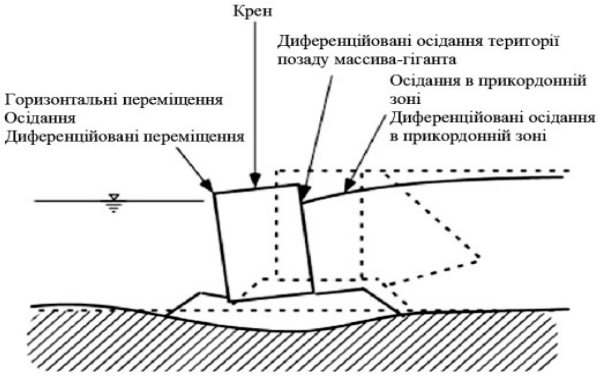
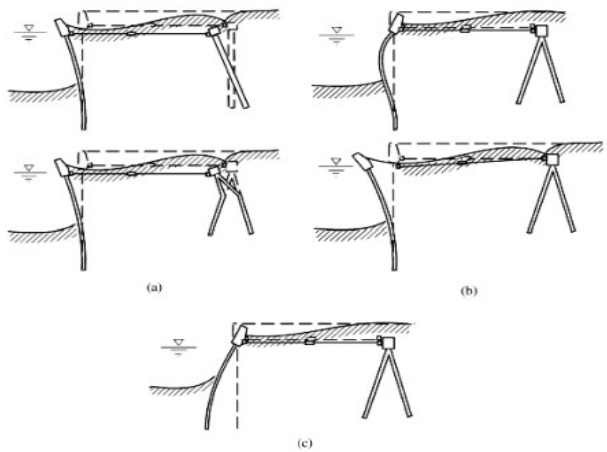


Рисунок 3 – Параметри для визначення критеріїв пошкодження гравітаційних причальних споруд



Умовні позначення:

a) – Деформація/пошкодження в анкерному пристрої;

b) – Пошкодження шпунтової стінки/анкерної тяги;

c) – Обвалення в зоні дна перед спорудою

Рисунок 4 – Режими деформації/руйнування причальної споруди типу больверк

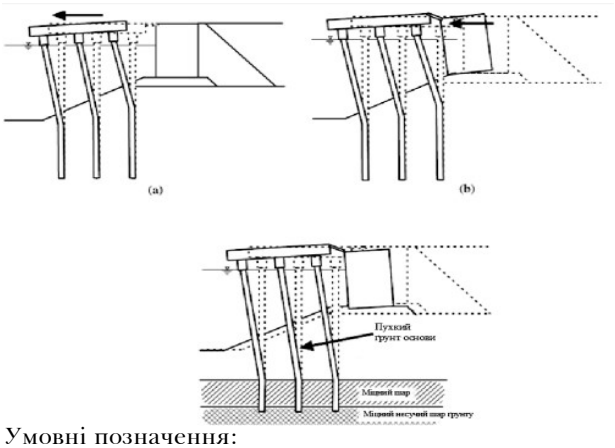
послідовність для досягнення граничних станів із збільшенням рівня сейсмічного навантаження повинна бути відповідним чином визначена для причальної споруди типу больверк. Якщо пошкоджений анкерний пристрій важче відновити, ніж лицьову стінку, відповідну послідовність можна описати так, як наведено на рис. 5.

Якщо пошкоджену шпунтову стінку важче відновити, ніж анкер, відмова анкерного пристрою повинна передувати відмові шпунтової стінки.

Споруди типу естакада

Причальна споруда естакадного типу складається з верхньої будови, що підтримується пальовою основою, та підпричального укосу. Проліт паль над поверхнею підпричального укосу

Рисунок 5 – Бажана послідовність відмови причальної споруди типу больверк



Умовні позначення:

a) – Деформація через силу інерції верхньої будови;

b) – Деформація внаслідок горизонтальної сили від тилового сполучення;

c) – Деформація внаслідок бічного зміщення послабленого ґрунту основи.

Рисунок 6 – Режими деформації/руйнування причалу типу естакада

є змінним. На сейсмічний резонанс причалів, що спираються на палі, значною мірою впливає складна взаємодія ґрунту та конструкції під час коливання ґрунту. Типові режими руйнування під час землетрусів залежать від величини сили інерції відносно зсуву ґрунту (див. рис. 6).

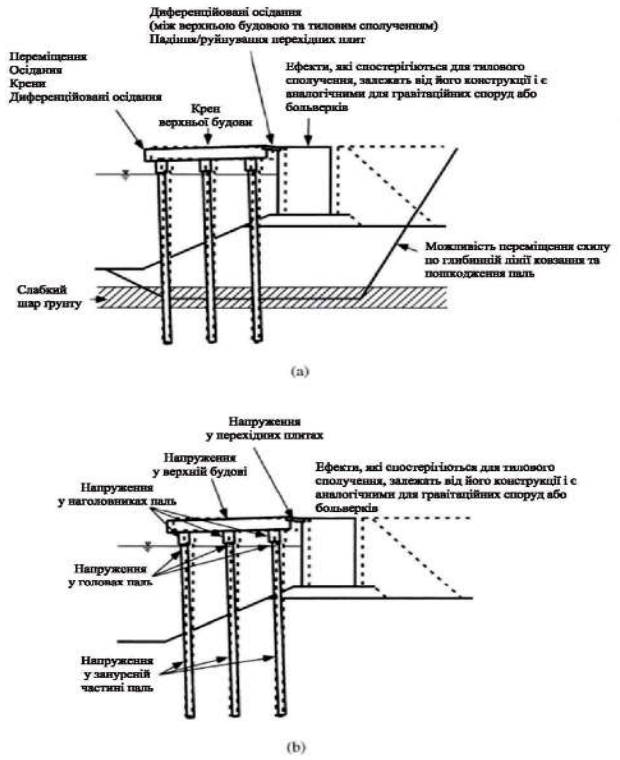
Зокрема, відмова ГТС, пов'язана зі зміщенням ґрунту, показана на рис. 6c), свідчить про те, що для коректного врахування геотехнічних аспектів необхідно виконувати відповідний розгляд на етапі проєкту.

Конструкція естакадних причальних споруд складається з системи верхньої будови/паль і підпричального укосу/тилового сполучення. Вплив зміщення ґрунту, включаючи переміщення тилового сполучення та підпричального укосу, слід ретельно оцінити для забезпечення ефективності роботи системи верхньої будови/паль. Сейсмічні характеристики системи верхня будова/палі визначаються на основі придатності до експлуатації та пошкодження конструкції. Параметри для визначення критеріїв пошкодження верхньої будови та паль наведені на рис. 7.

У зоні сполучення між верхньою будовою та тиловим сполученням також розташовані важливі конструктивні елементи, такі як надійний пристрій, захищений від обвалення, або конструкція, яка легко ремонтується, і, якщо це можливо, яка поглинає зміщення тилового сполучення. Це може бути ключем до подальшого розвитку пристроїв для поглинання енергії для причалів естакадного типу.

РОЗРАХУНКИ

Розглянуто приклад розрахунку причальної споруди типу заанкерований больверк у склад-



Умовні позначення:

a) – Щодо переміщень;

b) – Щодо напружень

Рисунок 7 – Параметри для визначення критеріїв пошкодження причалу естакадного типу

них інженерно-геологічних умовах (ґрунти III категорії складності). Розрахунок виконується у програмному комплексі, заснованому на МКЕ із застосуванням розрахункової акселерограми, синтезованої згідно з даними, отриманими у [6] для Ізмаїльського району Одеської області. З метою покращення сейсмічної стійкості конструкції застосовано рішення з посилення ґрунтів основи методом цементації (див. рис. 8).

Рівномірно розподілене навантаження на причальну споруду становить до 60 кПа з врахуванням перерозподілення навантажень за допомогою покриття споруди. Конструкція являє собою шпунтову стінку з анкерними пристроями у двох рівнях:

на відмітці 3,2 м – анкерні тяги діаметром 100 мм, закріплені за анкерну стінку із металошпунту з кроком 1,4 м;

на відмітці - 4,0 м – ґрунтові анкери типу «Титан» з діаметром 100 мм, кроком 1,4 м та довжиною 33,50 м.

Розрахунок на сейсмічний вплив виконано із врахуванням коливань інтенсивністю 9 балів на час дії навантаження протягом 5 секунд. За результатами моделювання сейсмічного впливу отримано дані максимальних зусиль, деформацій

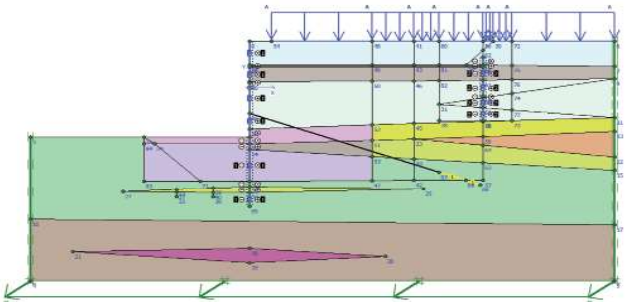


Рисунок 8 – Розрахункова схема причальної споруди

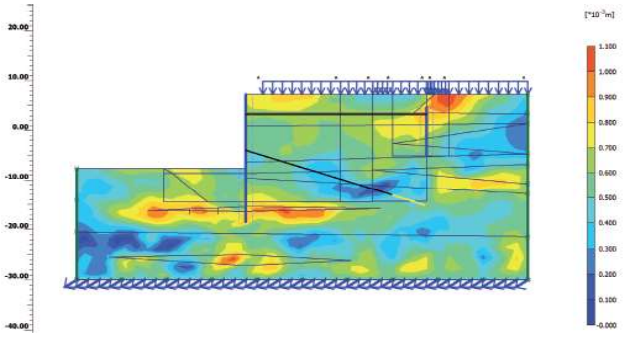


Рисунок 9 – Схема загальних переміщень ґрунту (сейсмічний вплив)

та переміщень у конструкції причальної споруди.

Як видно з рис. 9, при сейсмічному впливі на причальну споруду найбільші переміщення виникають в слабких ґрунтах нижче зони цементації та в тиловій зоні в точці розташування кріплення тяг до анкерної стінки, що відповідає схемі, наведеній на рис. 5. Загальне максимальне переміщення становить 106,0 см.

На рис. 10 наведено схему максимальних напружень при сейсмічному впливі на ґрунти основи причалу.

Максимальний згинальний момент в лицьовій стінці зі шпунту склав 2060,00 кН*м (див. рис. 11), в анкерній – 664,25 кН*м (див. рис. 12).

При цьому коефіцієнт загальної стійкості споруди склав K_{cm}=1,16, що свідчить про те, що

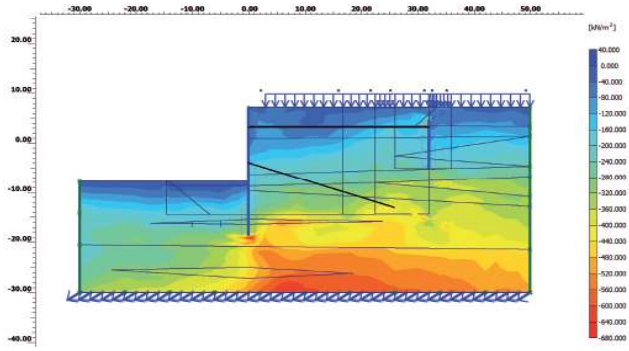


Рисунок 10 – Схема максимальних напружень в ґрунтах основи при сейсмічному впливі

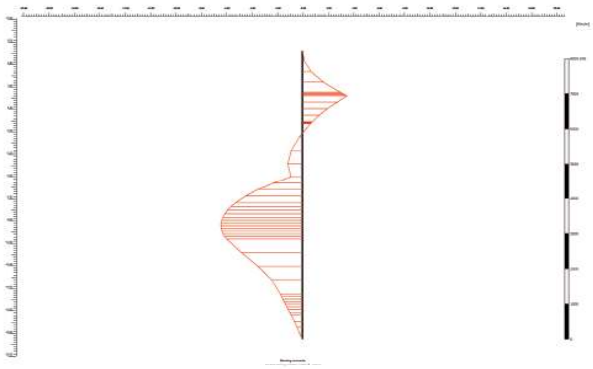


Рисунок 11 – Максимальний згинальний момент в лицьовій стінці ($M_{мах}$=2060,00 кН*м)

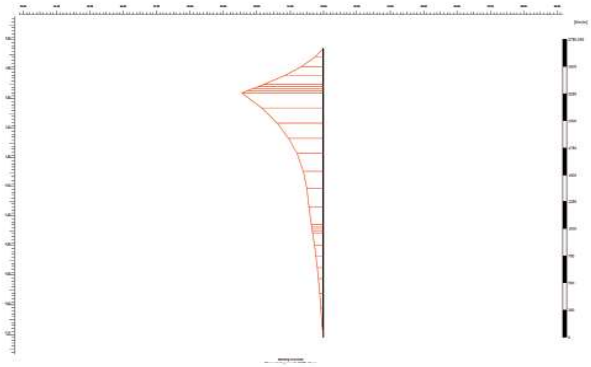


Рисунок 12 – Максимальний згинальний момент в анкерній стінці ($M_{мах}$=664,25 кН*м)

така конструктивна схема є стійкою до 9-бального розрахункового землетрусу. Дана конструктивна схема причальної споруди є безпечною до реалізації у складних інженерно-геологічних умовах.

ВИСНОВКИ

За результатами аналізу останніх публікацій та нормативних джерел, таких як чинні будівельні норми України, рекомендації міжнародної асоціації PIANC, монографії, статті, описано ефекти, що виникають безпосередньо біля причальної споруди, та сформульовано критерії пошкоджень для причальних споруд основних типів: графітаційного, типу больверк та естакадного типу.

Виокремлено найбільш відповідальні, з точки зору безвідмовної роботи споруди, конструктивні елементи та пошкодження, які слід враховувати при розробці проєктної документації гідротехнічної частини причальних споруд.

Згідно з діючими вимогами нормативних документів виконано розрахунок та проаналізовано деформації, переміщення та зусилля, що виникають в причальній споруді за умови сейсмічного випливу інтенсивністю 9 балів, зроблено висновки щодо сейсмічної стійкості такого інжерного рішення.

Сформульовано напрямки для подальших досліджень в питаннях моделювання ефектів, що виникають під час землетрусів, створення динамічних моделей причальних споруд при розрахунках на прямий динамічний вплив із застосуванням синтезованих акселерограм та врахуванням фізичного зношення.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. ДБН 1.1-12:2014. Будівництво в сейсмічних районах України. Київ: Мінрегіонбуд України, Укрархбудінформ, 2014. 110 с.
2. ДБН В.2.4-3:2010. Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди, підземні гірничі виробки. Гідротехнічні споруди. Основні положення. Київ.: Мінрегіонбуд України, 2010. 37с.
3. ДБН В.1.1-45:2017. Будівлі і споруди в складних інженерно-геологічних умовах. Загальні положення. Київ : Мінрегіонбуд України, 2016. 35 с.
4. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules seismic actions and rules for buildings. CEN. Ref. No. EN 1998-1: 2004: E. 229 pp.
5. PIANC. Seismic Design Guidelines for Port Structures. World Association for Waterborne Transport Infrastructure, A. A. Balkema Publishers. Brussels, Belgium, 2002.
6. Методи оцінки сейсмостійкості будівель та споруд: мон. / В.С. Дорофєєв, К.В. Єгупов, В. К.Єгупов; ОНМУ, Одеса: Вид-во ОНМУ, 2019. 164 с.
7. Безушко Д. І., Єгупов К. В., Іллічов В. Г. Визначення загальних видів руйнувань та критеріїв безвідмовної роботи причалу типу «больверк» під час землетрусу. Науковий вісник будівництва. 2019. Т. 97. № 3. С. 42–48.
8. Безушко Д. І., Іллічов В. Г. Визначення загальних видів руйнувань причальних споруд естакадного типу при сейсмічній дії. Modern engineering and innovative technologies. 2019. № 09-01. P. 74–79.
9. Єгупов К. В., Бондаренко О. С., Єгупов В. К. Інструментальні записи для оцінки сейсмічної небезпеки Одеського регіону. Вісник ОДАБА. 2013. № 49. С. 143-149.

REFERENCES

1. DBN 1.1-12:2014. (2014). Construction in seismic areas of Ukraine. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine, Ukrarkhbudinform. 110 p.
2. DBN V.2.4-3:2010. (2010). Hydraulic, energy, and reclamation systems and structures, underground mining workings. Hydraulic structures. General provisions. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 37 p.
3. DBN V.1.1-45:2017. (2016). Buildings and structures in complex engineering and geological conditions. General provisions. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 35 p.
4. European Committee for Standardization (CEN). (2004). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (EN 1998-1:2004: E). 229 pp.
5. PIANC. (2002). Seismic design guidelines for port structures. World Association for Waterborne Transport Infrastructure, A. A. Balkema Publishers.
6. Dorofeyev, V. S., Iegupov, K. V., & Iegupov, V. K. (2019). Methods for assessing the seismic resistance of buildings and structures. Odesa: ONMU Publishing House. 164 p.
7. Bezushko, D. I., Iegupov, K. V., & Illichov, V. H. (2019). Identification of general types of failures and criteria for fail-safe operation of "bollard-type" quay under seismic action. Scientific Bulletin of Construction, 97(3), 42–48.
8. Bezushko, D. I., & Illichov, V. H. (2019). Identification of general types of failures of estacade-type quay structures under seismic action. Modern Engineering and Innovative Technologies, (09-01), 74–79.
9. Iegupov, K. V., Bondarenko, O. S., & Iegupov, V. K. (2013). Instrumental records for seismic hazard assessment of the Odesa region. Visnyk ODABA, (49), 143–149.

Стаття надійшла до редакції: 21.01.2025
Перевірено: 17.02.2025
Прийнято: 28.02.2025