

Технічні науки

УДК 627.33:624.04

Хонелія Натела Ніатовна

*кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри морських та річкових портів,
водних шляхів та їх технічної експлуатації
Одеський національний морський університет*

Khoneliia Natela

*PhD in Engineering, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Maritime and River Ports,
Waterways and Their Technical Operation
Odesa National Maritime University*

**ЗАСТОСУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНИХ МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ
НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ОСНОВ ПРИ РЕКОНСТРУКЦІЇ ТА
ЕКСПЛУАТАЦІЇ ПРИЧАЛЬНИХ СПОРУД
APPLICATION OF ADVANCED METHODS CALCULATION OF THE
BEARING CAPACITY OF THE SOIL BASE AT RECONSTRUCTION AND
OPERATION OF QUAY-WALLS**

***Анотація.** Розглянуто результати досліджень несучої здатності ґрунтової основи причальних споруд гравітаційного типу на основі розробленого методу розрахунку системи «споруда - основа». Запропонований метод дозволяє визначити несучу здатність основи в рамках моделі змішаного напруженого стану (облік граничного і дограничного напруженого стану ґрунту основи) під подошвою фундаменту споруди. Визначено допустимі*

експлуатаційні навантаження на ряд причальних споруд виходячи з фактичної несучої здатності основ досліджуваних конструкцій.

Ключові слова: несуча здатність, причальна споруда, граничний і дограничний напружений стан, реконструкція та експлуатація споруд.

Summary. The results of studies of the bearing capacity of the soil base of gravity-type quay-walls on the basis of the method developed for calculating the "structure - soil base" system are considered. The method proposed allows determining the bearing capacity of the soil base in conditions of mixed stress state model (limit and sublimit stress state of the soil base) under the base of the foundation structure. Permissible operating loads on a number of gravity-type quay-walls are determined, taking into account the bearing capacity calculation of the soil bases of the investigated structures.

Key words: the bearing capacity, gravity-type quay wall, limit and sublimit stress-strain states, reconstruction and operation structures.

Вступ. Морські порти України є складовою частиною транспортної інфраструктури держави. Від ефективності функціонування морських портів, рівня їх технологічного та технічного оснащення, відповідності системи управління та розвитку інфраструктури відповідно до сучасних міжнародних вимог залежить конкурентоспроможність транспортного комплексу на світовому ринку.

Основними умовами для розвитку морських портів є реконструкція та реновація існуючих, а також будівництво нових глибоководних перевантажувальних комплексів які дають можливість обслуговувати великотоннажні морські судна.

Найбільшими серед морських портів України, на сьогодні, є порти: Южний, Одеса, Миколаїв та Чорноморськ, на долю яких припадає близько 80% від загальної потужності морських портів України. Ключовими перевагами цих морських портів є наявність глибоководних причалів, які дають можливість обслуговувати великотоннажні морські судна. Інші морські порти України, на сьогодні, можуть приймати судна із меншою осадкою. Більша частина причалів цих портів експлуатується на межі граничних термінів експлуатації й по ряду параметрів (глибина, довжина, експлуатаційні навантаження) морально застаріли. Найбільш поширеними конструктивними рішеннями, що утворюють причальний фронт морських портів, є пальові естакади, больверки зі шпунтів і споруди гравітаційного типу з масивової кладки.

Постановка проблеми. Відповідно до комплексної програми затвердження України як транзитної держави перетворювальні процеси які спрямовані на реалізацію заходів щодо покращення використання транзитного потенціалу морських портів України призведуть до збільшення транзитних вантажопотоків та до розв'язання проблеми функціонування та розвитку морських портів. Морські порти України мають вигідне транспортно-географічне становище щодо стратегічних напрямів вантажопотоків, близькість до європейських та близькосхідних ринків.

Порти з розвиненою інфраструктурою, достатніми глибинами, високим рівнем механізації вантажно-розвантажувальних робіт дозволяють розглядати морські порти України як зручні пункти перевалки транзитних вантажопотоків.

Таким чином, реконструкція причалів та днопоглиблювальні роботи для оновлення і розвитку інфраструктури морських портів України вирішить низку ключових проблем, які актуальні сьогодні і потребують вирішення.

Вибір схеми реконструкції причалу залежить від конструктивної схеми існуючої споруди, а також від її фактичного технічного та деформативного стану. Як було зазначено вище причальні споруди гравітаційного типу, є широко поширеним видом будівельних конструкцій, що застосовуються у гідротехнічному будівництві, де утворюють причальний фронт морських портів. Вимоги до таких споруд обумовлює вирішення одного з основних завдань – визначення несучої здатності ґрунтової основи чи відпирного опору.

Фундаментальною основою розрахункових методів оцінки несучої здатності основ є теорія граничної рівноваги ґрунтів. Практична вагомість рішень теорії граничної рівноваги зберігається і тепер, коли набули великого поширення чисельні методи аналізу пружно-пластичного деформування ґрунтів. Статичні рішення теорії граничної рівноваги, багаторазово перевірені практично, дозволяють надійно встановлювати величину граничного навантаження [1, с. 333 – 342]. Тому результати цих рішень включені до нормативних документів для виконання розрахунків основ споруд за першою групою граничних станів [2, дод. 7]. Однак, залишається низка принципових питань, вирішення яких необхідне для подальшого розвитку та вдосконалення практичних методів розрахунку основ причальних споруд гравітаційного типу.

Методи розрахунку несучої здатності, які застосовуються при проектуванні розглянутих споруд, не враховують у ґрунтовій основі, що взаємодіє з підшвою споруди, наявність та трансформацію зон граничного та дограничного напруженого стану. На підставі вищесказаного розроблено методика розрахунку відпорної здатності основ [3, с. 404-411; 4, с. 16-19], яка базується на теорії граничного напруженого стану, але відрізняється від інших наближених методів тим, що враховує в основі змішаний напружений стан (наявність двох зон напруженого стану: граничного та дограничного) а також

враховує тертя по контакту жорсткого фундаменту споруди та ґрунтової основи.

Мета роботи полягає у застосуванні розробленого методу розрахунку відпорної здатності основ портових причальних гідротехнічних споруд гравітаційного типу при виборі схеми реконструкції та визначенні допустимих експлуатаційних навантажень.

Виклад основного матеріалу. При виборі схеми реконструкції великий вплив мають геологічні та льодові умови, хвильовий режим, умови будівництва, а також комплекс досліджень та розрахунків, що дозволяє дати інтегральну оцінку фактичного технічного та деформативного стану існуючої причальної споруди гравітаційного типу. Для розглянутих споруд необхідно виконати розрахунки з метою уточнення несучої здатності основ, т.к. відповідно до нормативного документа [5, п. 1.5] при реконструкції необхідно максимально використовувати у складі реконструйованої причальної споруди існуючу конструкцію. Визначальним фактором, що враховується під час експлуатації споруд, є величини експлуатаційних навантажень, від яких залежить нормальна безпечна експлуатація та довговічність портових гідротехнічних споруд.

Розглянемо розрахункову схему причальної споруди гравітаційного типу, що реконструюється, показану на рис. 1. Конструкція являє собою вертикальну стінку з чотирьох курсів бетонних масивів на кам'яній постелі, з верхньою будовою зі збірних з/б елементів кутового профілю. Зворотна засипка - камінь зі щибеним контрфільтром. Причал обладнаний швартовними тумбами, відбійними пристроями, крановими шляхами.

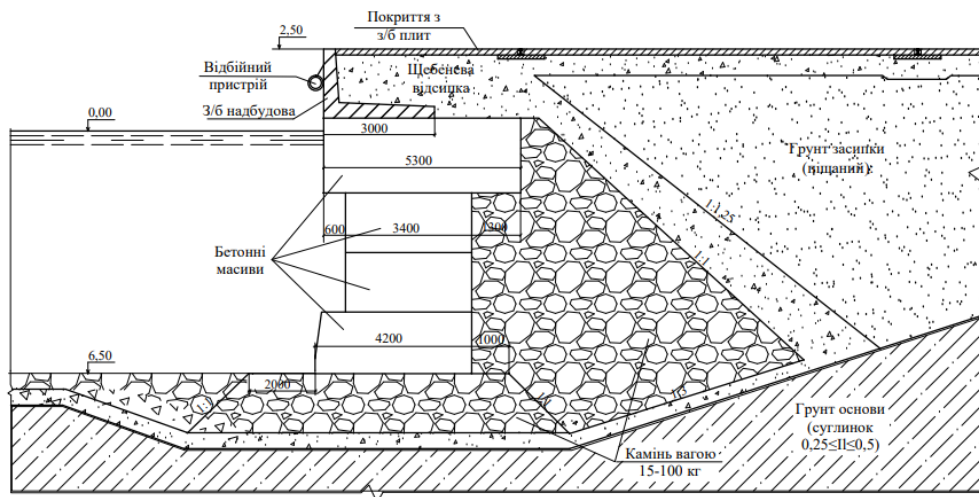


Рис. 1. Поперечний розріз конструкції існуючого причалу

Для вибору схеми реконструкції та визначенні допустимих експлуатаційних навантажень виконані розрахунки відпорної здатності основи існуючої вертикальної стінки за методом запропонованим у роботі [3, с. 404-411; 4, с. 16-19]. Вихідні дані для розрахунків наведені нижче:

- відмітка кордону причальної набережної +2,5 м; позначка дна біля причалу – 6,50 м; фізико-механічні характеристики засипки та основи:
- грунт засипки (піщаний): кут внутрішнього тертя $\varphi=30^\circ$; питома вага ґрунту $\gamma=18$ кН/м³ (у стані природної вологості), $\gamma=11$ кН/м³ (у стані гідростатичного зважування);
- кам'яна розвантажувально-протифільтраційна призма та постіль: $\varphi=45^\circ$, $\gamma=21$ кН/м³ (у стані природної вологості), $\gamma=11$ кН/м³ (у стані гідростатичного зважування);
- щебенева відсіпка над верхнім курсом масивів: $\varphi=37^\circ$, $\gamma=18$ кН/м³ (у стані природної вологості);
- грунт основи (суглинок $0,25 \leq I \leq 0,5$): кут внутрішнього тертя $\varphi=24^\circ$, питоме зчеплення $c=20$ кН/м², $\gamma=10$ кН/м³, питома вага $\gamma=11$ кН/м³.

- перша категорія навантаження: рівномірно розподілене навантаження в прикордонній зоні - 20 кПа; у підкрановому міжпутті – 40 кПа; у перехідній зоні - 60 кПа; у тилевій зоні - 100 кПа.

Схема реконструкції причалу обрана з урахуванням техніко-економічного порівняння варіантів з урахуванням найповнішого використання несучої здатності існуючої конструкції.

Як основний варіант прийнято реконструкцію, яка являє собою облямівку у вигляді високого пальового ростверку з переднім шпунтом типу Ларсен 604n і металевих труб $\varnothing 630 \times 12$ мм з напівкозловою опорою (рис. 2). Стінка і труби жорстко закладені в ростверк. Ростверк виконаний у вигляді монолітної залізобетонної конструкції. Прикордонний підкрановий шлях запроєктований на пальовій основі, який складається з одного ряду вертикальних і похилих паль, забитих з ухилом 2:1. Тилевий підкрановий шлях розташовується за ростверком і прокладається по залізобетонній балці на призматичних палях 45x45 см. Реконструкцією передбачається продовження підпричального укосу до глибини 12,50 м, що призводить до необхідності висунення в акваторію проєктованої лінії кордону причалу на відстань 16,0 м.

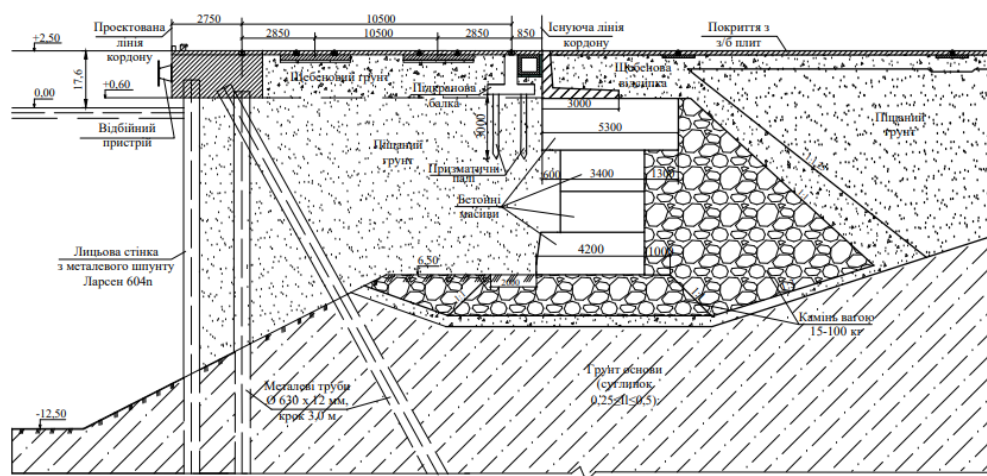


Рис. 2. Схема причалу після реконструкції

Розрахунки відпорної здатності основи вертикальної стінки за запропонованою методикою дозволили підвищити величини інтенсивності експлуатаційних навантажень: у прикордонній зоні - 20 кПа; у підкрановому міжпутті - 40 кПа; у перехідній зоні - 80 кПа; у тилівій зоні - 120 кПа (рис. 3).

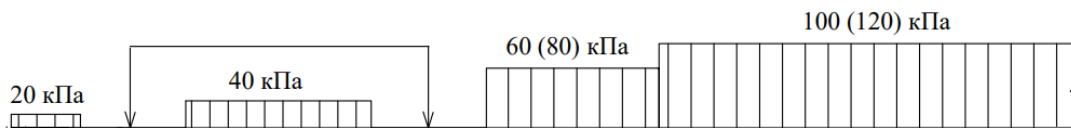


Рис. 3. Схеми допустимих експлуатаційних навантажень

Для причальних набережних характерні два етапи взаємодії з ґрунтовою засипкою: етап зведення, що включає пристрій зворотної засипки, і етап експлуатації, при якому на споруду впливає експлуатаційне навантаження q .

Розглянемо другий етап - етап експлуатації, у якому на споруду впливає експлуатаційне навантаження q .

Слід зазначити, що при збільшенні навантаження q зростатиме і реакція основи (внаслідок появи та розвитку в ньому зон граничного напруженого стану). Цей процес може продовжуватися до досягнення в ґрунтовій основі споруди граничної несучої здатності (коли весь ґрунт, що взаємодіє з підшовою споруди, переходить у граничний напружений стан). Подальше зростання зовнішнього навантаження може призвести до втрати стійкості споруди внаслідок вичерпання несучої здатності її ґрунтової основи.

Розглянемо результати теоретичних досліджень для визначення допустимих експлуатаційних навантажень на причали 24 і 21 Одеського морського торговельного порту. Розрахунки опорної здатності виконані за традиційним методом [1, с. 333-342; 2, дод. 7] та за методом запропонованим у роботах [3, с. 404-411; 4, с. 16-19].

Конструкція причалу 24 виконана у вигляді залізобетонної облямівки з високим пальовим ростверком, тиловим сполученням є вертикальна стінка з бетонних масивів (рис. 4).

Комплекс досліджень розглянутого причалу з урахуванням виконаних розрахунків відпорної здатності основи вертикальної стінки дозволили уточнити величини інтенсивності експлуатаційних навантажень. При розрахунку відпорної здатності основи за традиційною методикою в межах плити верхньої будови облямівки може бути допущено рівномірно розподілене навантаження інтенсивністю не вище 5 кПа, в тилівій зоні, за межами вертикальної стінки тилового сполучення - 20 кПа. Схема навантажень яка отримана в результаті розрахунку за запропонованим методом становить 10 кПа в межах плити верхньої будови й 30 кПа за межами тилового сполучення.

Конструкція причалу 21 являє собою пальову облямівку із залізобетонною верхньою будовою, влаштовану перед вертикальною стінкою у вигляді масивової кладки (рис. 5).

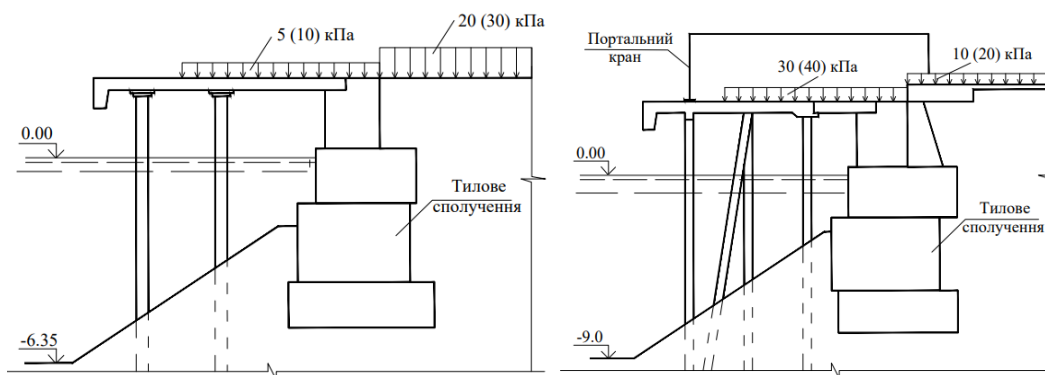


Рис. 4. Причал 24. Схеми допустимих експлуатаційних навантажень

Рис. 5. Причал 21. Схеми допустимих експлуатаційних навантажень

Комплекс досліджень розглянутого причалу з урахуванням виконаних розрахунків відпорної здатності основи тилового сполучення за традиційним

методом показали, що величини інтенсивності експлуатаційних навантажень становлять: у межах плити верхньої будови облямівки – до 30 кПа, на території, що прилягає до тилового сполучення - до 10 кПа. За запропонованим методом розрахунку інтенсивності експлуатаційних навантажень склали, відповідно – 40 і 20 кПа.

Висновки. Розглянуто модель системи «споруда – ґрунтове середовище», що дозволяє визначити несучу здатність ґрунтової основи в рамках моделі змішаного напруженого стану (облік граничного та дограничного напруженого стану ґрунту) під подошвою фундаменту споруди та навколо неї. Результати чисельного моделювання розглянутої системи показали ефективність її використання при реконструкції та експлуатації причальних споруд, що включають до свого складу жорсткі підпірні стінки, а саме при визначенні допустимих експлуатаційних навантажень і оцінці резервів несучої здатності споруд.

Література

1. Яковлев П.І., Бібічков А.Г. Взаємодія споруд із ґрунтом. М. : Недра, 1997. 464 с.
2. СНИП 2.02.02-85*. Основания гидротехнических сооружений. [Чинний від 01.01.1987]. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=22084
3. Хонелія Н.Н., Долинська Н.Б. Основні напрямки розробки методів розрахунку несучої здатності основ портових гідротехнічних споруд // Збірник наукових праць: Будівельні конструкції. Київ : НДІБК. 2011. № 75. С. 404-411.

4. Khoneliia N., Bugaeva S. The reactive capacity of the soil bases of gravity-type quay wall. The journal "World Science". 2019. Vol. 1, No. 9(49). P. 16-19. doi: https://doi.org/10.31435/rsglobal_ws/30092019/6696
5. ДБН В.2.4-3:2010. Гідротехнічні, енергетичні та меліоративні системи і споруди. Гідротехнічні споруди. Основні положення. [Чинний від 01.01.2011]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2010. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=26405