

УДК 626.52

EXPERIMENTAL METHODS FOR DETERMINING THE INTERACTION OF PILE SHELLS AND SOIL OF THE STRUCTURE BASE**ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ПАЛІ-ОБОЛОНОК І ҐРУНТУ ОСНОВИ СПОРУДИ****Bugaeva S.V. / Бугаєва С.В.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.***Golovan A.I. / Головань А.І.***c.t.s., as.prof. / к.т.н., доц.***Goncharuk I.P. / Гончарук І.П.***Senior Lecturer / ст.викладач**Odessa National Maritime University, Odessa, Mechnikova 34, 65029**Одеський національний морський університет, м. Одеса, Мечникова 34, 65029*

Анотація. В роботі розглядається основні напрямки розвитку портів. Інтенсифікація використання виробничих потужностей шляхом модернізації гідротехнічних споруд, будівництва нових глибоководних причалів і суднопідіймальних споруд, заміни перевантажувального обладнання на більш продуктивне і вдосконалення технології та організації робіт для підвищення експлуатаційної надійності і безпеки.

Ключові слова: гідротехнічні споруди, палі, нормативні документи, експериментальна установка.

Вступ.

Об'єкти судноремонтних споруд характеризуються великими обсягами капітальних вкладень, складністю неоднорідних ґрунтових умов і навантажень. Тому саме тут нові конструктивні рішення і розрахункові методи, уточнюючі характер роботи споруди, можуть дати істотний економічний ефект.

Обстеження та експериментальні випробування споруд для підйому і спуску суден по похилих площинах, спрямовані на виявлення фактичного стану новозбудованих і експлуатованих об'єктів, визначення дійсної роботи гідротехнічних споруд і їх підстав для коригування та розробки обґрунтованих методів розрахунку.

Вони передбачали вивчення взаємодії палі-оболонки з відкритим нижнім кінцем і ґрунтової основи при зануренні осьовим вертикальним навантаженням і висмикуванням з ґрунту, встановлення впливу різних форм нижнього кінця палі на напружено-деформований стан ґрунтової основи.

Основний текст

Через відсутність нормативних документів з розрахунку трубчастих палі з відкритим нижнім кінцем, єдиною можливістю встановлення несучої здатності є спосіб статичних випробувань в польових умовах, що вимагають дорогого технологічного устаткування, оснащення і тривалого часу їх проведення. Основні вимоги до проведення статичних і динамічних випробувань викладені в ДБН В. 2.1-10-2009 і ДСТУ Б В.2.1-1-95. З урахуванням вимог цих документів можуть бути палі певного опору, за якими проводиться статична оцінка їх несучої здатності по ґрунту. З огляду на актуальність завдання, випробувана установка для дослідження взаємодії палі-оболонки з ґрунтом. В основу установки - поставлено створення пристрою для вивчення взаємодії палі -

оболонки з ґрунтом, що забезпечує можливість поділу сил опору ґрунту, що діють на палю при її зануренні або витяганні з ґрунту осьовими навантаженнями, на складові по внутрішньої і зовнішньої бічних поверхонь і по кільцевому торцю низу палі, а також встановлення по глибині розподілу нормального тиску і сил тертя по зовнішній боковій поверхні палі - оболонки.

Експериментальна установка, вимірювальна апаратура і методика проведення випробувань.

Експериментальна установка (рис. 1) включає:

1. ґрунтовий лоток;
2. модель палі - оболонки спеціальної конструкції;
3. модель трубчастої палі для вивчення кінематики піщаної основи;
4. пристрій для створення осьового навантаження при зануренні моделі в ґрунт і її висмикування;
5. вимірювальна і реєструюча апаратура;
6. методика проведення випробувань.

Ґрунтовий лоток має розміри: висота - 115 см, ширина - 75 см, довжина - 80 см. Бічні стінки лотка виконані з листів полірованого скла товщиною 15 мм, що спираються на його металевий каркас. Задня стінка розбірна і складається з окремих дощок товщиною 40 мм, які встановлюються по кінцях в передбачені напрямні. Така конструкція дозволяє легко спорожнити лоток від піску і визначати кут природного укусу, який, як відомо, для сухого піску дорівнює куту внутрішнього тертя.

Передня стінка лотка виконана у вигляді жорсткої металевої плити, яка закріплена зверху з двох сторін нерухожими шарнірними опорами. По осі плити на відстані 12 см від дна лотка встановлена третя рухома шарнірна опора, закріплена жорстко другим кінцем до каркасу лотка. Плита виконує, крім того, роль жорсткої підпірної стінки для отримання епюри тиску ґрунту на стінку. За її осі в передбачені гнізда вмонтовані датчики тиску з кроком 15 см по висоті. Конструкція датчиків розроблена на кафедрі Університету.

Для вивчення кінематики переміщення частинок піску при зануренні або витягу з ґрунту моделі на боковій стінці лотка нанесена фарбою тонкими лініями сітка з осередками 5x5 см.

Методи:

На рисунках 1, 2 наведено загальний вигляд і схема експериментальної установки відповідно.



Рисунок 1- Загальний вигляд експериментальної установки для випробування палі-оболонки і жорстких штампів

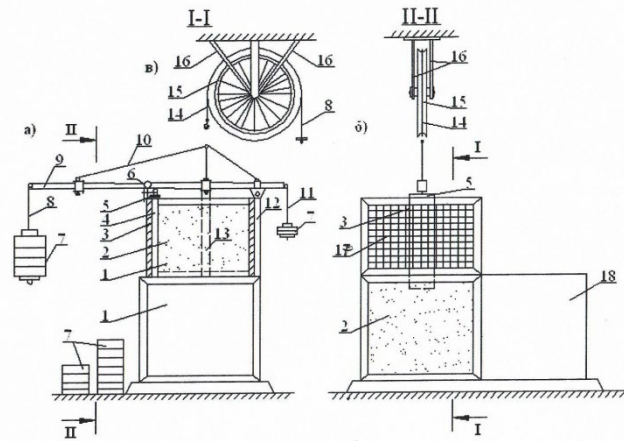


Рисунок 2 - Схема експериментальної установки:

а - вид по I-I, б - вид по II-II,

в - висмикуючий пристрій. Умовні позначення:

1 - верхня і нижня частина лотка; 2 - пісок;

3 - скляні бічна стінка лотка; 4 - модель

напівоболонки; 5 - завантажувальний полуштамп;

6 - індикатор переміщень; 7 - гирі; 8 - вантажна підвіска; 9 - навантажувальний важіль;

10 - розтяжки; 11 - підвіска на консолях; 12 -

шарнірна опора важеля; 13 - місце для вдавлення

палі; 14 - вантажний трос; 15 - колесо; 17 - сітка

на склі лотка; 18 - лоток для запасу піску.

Одним з основних елементів установки є модель палі - оболонки спеціальної конструкції (рис. 2), яка включає корпус 1, що складається з набору циліндричних ланок висотою 15 см з протоками по торцях розмірами 4x4 см, з'єднаних між собою з внутрішньої сторони плоскими скобами з одним подовженим і іншим круглим отворами по кінцях 2. Скоби закріплюються за допомогою болтів 3 одним кінцем шарнірно нерухомо до верхньої циліндричної ланці, а іншим - до нижньої з можливістю подовжнього зсуву. На зовнішній поверхні кожної скоби наклеєні тензорезистори для вимірювання розтягуючих зусиль, що характеризують сили тертя ґрунту по зовнішній бічній поверхні кожної ланки. У кожній циліндричній ланці палі-оболонки по середині по висоті передбачено гніздо для установки датчиків тиску ґрунту на бічну поверхню оболонки. У середині корпусу оболонки 1 співвісно поміщений порожнистий циліндричний сердечник 4, на зовнішній поверхні якого наклеєні тензорезистори 5 для вимірювання тиску ґрунту на внутрішню поверхню циліндричного сердечника. Знизу моделі палі-оболонки передбачені знімні наконечники кільцевого перерізу 6 і ґрунтозахисний кожух у формі склянки 7, жорстко з'єднаний болтами зі штампом оболонки і вільно переміщується вертикально по корпусу палі. По верху моделі передбачено навантажувальний жорсткий диск 9, з'єднаний з корпусом болтами 11 і сердечником сполученим болтом 10.

Співвісність корпусу 1 і сердечника 4 забезпечується передбаченими проточками на штампі 6 і навантажувальному диску 9, діаметри яких

дорівнюють внутрішніх діаметрів корпусу і сердечника.

Експериментальна модель палі-оболонки має різні замінні конструктивні форми наконечників вістря, що дозволяють вивчати їх взаємодію з ґрунтовою основою.

Основні параметри моделі паль-оболонки:

- модель виготовлена з нержавіючої труби;
- корпус довжиною $L = 105$ см, зовнішній діаметр $D_H = 108$ мм, товщина стінки $\delta_{ст} = 5$ мм, складається з 7 ланок висотою по 15 см з проточками по торцях для забезпечення співвісності і поздовжнього переміщення на 4 мм, вага кожної ланки 1,9 кг. Загальна вага корпусу - 13,7 кг;
- сердечник з нержавіючої труби $L = 102$ см, зовнішній діаметр $D_H = 75$ мм, товщина стінки $\delta_{ст} = 5$ мм, вага - 6,9 кг;
- знімні наконечники з нержавіючої сталі висотою 70 мм з проточками зверху висотою по 5 мм для співвісного з'єднання корпусу і сердечника (рис. 4.3);
- здатність навантаження плити з нержавіючої сталі зовнішнім діаметром $D_H = 98$ мм, висотою $H = 40$ мм, з проточками висотою 25 мм для забезпечення співвісності корпусу і сердечника і можливості поздовжнього переміщення. Вага навантаження плити - 1,8 кг.

В експериментальних дослідженнях в якості ґрунтової основи використовувався дрібнозернистий кварцовий пісок з кутом внутрішнього тертя $\varphi = 33^\circ$, питомою масою $\gamma = 26,5$ кН/м³, об'ємною масою $\gamma_{об} = 15,5$ кН/м³.

Випробування моделі палі-оболонки проводилися в такій послідовності.

Лоток заповнювався піском до рівня підшови моделі. Модель палі-оболонки в зібраному вигляді встановлюється на піщану подушку вертикально, строго під завантажувальним пристроєм (рис. 5). Тимчасово закріплюється її положення. Відсипається пісок в лоток до рівня на 5 см нижче верхнього торця моделі, до цього рівня заповнюється піском порожнина осердя моделі. Тимчасове закріплення забирається, встановлюється завантажувальний пристрій, вимірювальна і реєструюча апаратура. Підключаються датчики до реєструючої апаратури, проводиться їх перевірка та балансування.

Перед початком дослідів з'єднувальний болт 10 видаляється, сердечник відділений від корпусу, навантажувальний диск з'єднаний болтами 11 з корпусом і може спільно з ним переміщатися вертикально під дією осевого навантаження. Після перевірки працездатності пристроїв та апаратури приступають до виконання випробувань моделі.

Випробування моделі осевим навантаженням проводилися в чотири етапи.

Перший етап: проводиться навантаження диска 9 вдавлюють їх зростаючими ступенями силою за допомогою пристрою. При цьому відбувається занурення в ґрунт тільки корпусу, нижній кінець якого вільно входить в середину кожуха 7, сердечник і штамп залишаються нерухомими. Після кожного ступеня завантаження навантажувальним диском і стабілізації переміщень корпусу, фіксується нормальний тиск на бічну поверхню оболонки за допомогою датчиків 12 і сумарна сила тертя по зовнішній поверхні корпусу

1. Цей процес проводиться до торкання кільцевого виступу навантажувального диска 9 з верхнім торцем циліндричного сердечника 4, момент торкання фіксується включенням індикаторної лампочки.

Таким чином, на *першому етапі* ґрунт взаємодіє тільки з зовнішньою поверхнею корпусу моделі паль-оболонки.

Потім видаляються болти 11, від'єднується корпус від навантажувального диску 9, вступає спільна взаємодія навантажувального диску 9, циліндричного сердечника 4 і штамп 6, корпус моделі залишається нерухомим. Приступають до виконання випробувань моделі на другому етапі.

Другий етап: вивчається взаємодія ґрунту з внутрішньою поверхнею циліндричного сердечника 4 і подошвою штамп 6 при послідовному навантаженні диску 9. Навантаження доводиться до розрахункової граничної несучої здатності основи. В ході проведення цього етапу випробувань визначаються сили тертя по внутрішній поверхні циліндричного сердечника 4 і тиск ґрунту по подошві штамп кільцевого типу 6.

Для поділу на складові опору ґрунту, що діє по внутрішній поверхні циліндричного сердечника і подошві штамп, проводять третій етап випробувань моделі.

Третій етап: навантажувальний диск знімається. У передбачені отвори у верхній частині циліндричного сердечника для з'єднувального болта 10 закріплюється підйомна скоба з дроту діаметром 4 мм, яка з'єднується з тросом висмикувального механізму. У цих випробуваннях корпус моделі і штамп залишаються нерухомими.

Після підготовки моделі та оснащення, проводиться додатковим ступінчастим осьовим висмикувачим навантаженням. В ході випробувань вимірюється сумарна сила тертя по внутрішній поверхні циліндричного сердечника і його вертикальні переміщення, після кожної ступені завантаження. Вертикальні переміщення сердечника доводилися до 5 см.

Четвертий етап: визначаються величини розподілу нормального тиску ґрунту і сил його тертя по висоті зовнішньої поверхні корпусу моделі при її вилученні з ґрунту осьовим ступінчастим навантаженням. Підготовка моделі до випробування цього етапу полягає у від'єднанні корпусу від сердечника. Під час експерименту тільки корпус взаємодіє з контактуючим піском. Сердечник і штамп нерухомі. Спочатку вступає у взаємодію з піском тільки перша ланка корпусу 1, яка переміщається вгору під дією зростаючої висмикувальної сили. У момент досягнення граничного опору піску по боковій поверхні ланки відбувається його зрушення на величину подовженого отвору в плоских скобах першої ланки (близько 4 мм). Фіксується нормальний тиск ґрунту за допомогою датчика 5 і сила тертя по зовнішній поверхні першої ланки датчиками 12 і 14. При подальшому збільшенні висмикувального навантаження в роботу вступає друга ланка і переміщається разом з першою вгору до настання граничного опору піску по поверхні другої ланки і зсуву на величину подовжених отворів в плоских скобах другої ланки. Вимірюються нормальний тиск ґрунту і сили тертя по зовнішніх поверхнях першої і другої ланок. Потім при збільшенні висмикувального навантаження у взаємодію з піском вступає третя ланка і

переміщається разом з першою і другою ланками вгору до настання граничного опору піску по боковій поверхні і зсуву на величину подовжених отворів в плоских скобах третьої ланки і т.д. до повного переміщення корпусу моделі з ґрунту.

В експериментальних дослідженнях використовувалася наступна апаратура:

- індикатори годинникового типу з ціною поділки 0,01 мм для вимірювання переміщень вузлів моделі;
- контактні датчики тиску ґрунту на бічну поверхню корпусу моделі паль-оболонки;
- тензорезисторні датчики для вимірювання прогину стінки сердечника моделі при визначенні нормального тиску ґрунту і розтягуючих зусиль в плоских сергах для оцінки тертя ґрунту об бічну поверхню ланок корпусу моделі.

Електрична тензорезисторна схема включалася в напівміст з автоматичною компенсацією температурних деформацій.

Показання датчиків тиску ґрунту, розтягуючих зусиль в плоских сергах і приладів стінки конструкції фіксувалися за допомогою вимірювальної системи.

У дослідях для створення вдавлюючого осьового навантаження на модель палі застосовувався важільний пристрій, спеціально виготовлене з профільюючої сталі квадратного перетину 40x40 мм, товщиною стінки 3 мм і загальною довжиною 1625 мм. Для створення необхідної жорсткості до важеля приварюються ферма з пруткової сталі. На кінцях важеля шарнірно закріплювалися підвіски для гир навантаження. Підвіска на консолі служила для врівноваження важеля. На відстані 325 мм від консольного кінця до важеля приварюють шарнір, до якого кріпилася опора, приварена до корпусу лотка. Плечі важеля пристрою становили: відстань від шарніра до центру палі 355 мм, а від шарніра до вантажної підвіски - 1410 мм. Таким чином, ставлення плечей склало - 4.

Висмикувачий механізм являв собою нерухоме колесо, яке шарнірно за допомогою кронштейнів в певному місці прикріплений до стелі лабораторії. Для цього використовувалося велосипедне колесо діаметром 60 см без шини. Вантажний сталевий трос діаметром 3 мм заводився через колесо по жолобу обода, одним кінцем кріпився до голови моделі висмикування палі, а другим до вантажної підвіски. Таким чином, вантаж що прикладається на підвіску, відповідає висмикувачому навантаженню. Це спрощувало контроль висмикувачих сили.

Проведені попередні методологічні випробування запропонованої моделі паль-оболонки показали її високу точність, багатофункціональність і продуктивність.

Результатами цих робіт є: отримання залежностей опору ґрунту зануренню і висмикуванню паль-оболонки від величини осьового навантаження, визначення закономірностей розподілу бокового тиску ґрунту по зовнішній і внутрішній поверхнях паль-оболонки і опору ґрунту по її підшві, а так само встановлення висоти підйому ґрунту в порожнині оболонки при зануренні.

Висновки.

Запропонована модель палі-оболонки дозволяє досліджувати взаємодію ґрунту та зовнішній поверхні палі-оболонки, опір ґрунту з оболонкою окремо: визначати нормальний тиск ґрунту на зовнішню поверхню палі-оболонки, опір ґрунту по зовнішній і внутрішній бічних поверхнях оболонки і нижньому її торцю, а також встановлювати розподіл по висоті оболонки і нижньому її торцю, а також встановлювати розподіл по висоті оболонки нормального тиску ґрунту і його опір по зовнішній поверхні палі-оболонки. Результати випробувань на такій моделі дозволяють більш повно оцінити спільну роботу палі-оболонки і контактуючого з нею ґрунту, і ефективно використовувати сучасні методи розрахунку споруд.

Таким чином, створена експериментальна установка, спеціальна модель трубчастої палі, застосовувана вимірювальна апаратура і розроблена методика випробувань дозволяють отримувати необхідну інформацію про несучу здатність палі-оболонки з відкритим нижнім кінцем. В цьому і полягає відмінність розробленої експериментальної моделі палі-оболонки від існуючих, які дозволяють вимірювати сумарну силу опору ґрунтової основи.

Описана установка показала себе працездатною.

Література:

1. ДБН В. 2.1-10-2009 Основи та фундаменти споруд. Основні положення проектування. Київ. – 2009, с. 107.
2. ДСТУ Б В.2.1-1-95 Основания и фундаменты зданий и сооружений. Грунты. Метод полевых испытаний сваями (ГОСТ 5686-94). Київ. – 1995, с. 60.
3. Матвеев С.А. Геосинтетические материалы в строительстве/Юрга: дороги в будущее №2 – 2005 – с. 24-25.
4. Рубан О.А. Математическое моделирование напряженно-деформированного состояния «подработанных» армогрунтовых сооружений/Залізничний транспорт України – К:№1, 2000 – с. 6-7.
5. Друкований М.Ф., Матвеев С.В., Корчевський Б.Б. Армвані основи будівель споруд/ УНІВЕРСУМ – Вінниця: 2006 – с. 253.

Abstract. *The paper considers the main directions of port development. Intensification of the use of production facilities through the modernization of hydraulic structures, construction of new deep-water berths and hoisting structures, replacement of transshipment equipment with more productive and improved technology and organization of work to increase operational reliability and safety.*

Key words: *hydraulic structures, piles, normative documents, experimental installation.*

Статья отправлена: 21.05.2020 г.

© Гончарук І.П.