

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ МОРСЬКИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ОГАНЕСЯН ВІРЖІНІЯ ТАКВОРІВНА



УДК 627.24:627.33:69.059.25

**ПІДВИЩЕННЯ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ АНКЕРНИХ ОПОР
ВОДНОТРАНСПОРТНИХ СПОРУД ТИПУ «БОЛЬВЕРК»**

Спеціальність 05.22.20 – експлуатація та ремонт засобів транспорту

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса – 2020

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Одеському національному морському університеті (ОНМУ) Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Дубровський Михайло Павлович,
Одеський національний морський університет
Міністерства освіти і науки України,
завідувач кафедри «Морські і річкові порти,
водні шляхи та їх технічна експлуатація»

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, доцент
Будашко Віталій Віталійович,
Навчально-науковий інститут автоматичної
та електромеханіки
Національного університету «Одеська морська
академія», директор

кандидат технічних наук,
Андрієнко Олексій Олегович
директор ТОВ «Свіфт-Сервіс»

Захист дисертації відбудеться 15 грудня 2020 р. о 10.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 41.060.01 в Одеському національному морському університеті за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці ім. проф. Г.К. Сулова Одеського національного морського університету за адресою: 65029, м. Одеса, вул. Мечникова, 34.

Автореферат розісланий листопада 2020 р.

Вчений секретар спеціалізованої Вченої ради Д 41.060.01

кандидат технічних наук, доцент



Олексій ДРОЖЖИН

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Воднотранспортні споруди, в тому числі причальні, огорожувальні і берегозахисні, як засоби морського транспорту, є основними виробничими потужностями портів і відповідальними стратегічними об'єктами портової інфраструктури. Тому дуже важливими завданнями розвитку воднотранспортної галузі, відповідно до Закону України «Про морські порти України» є: безпечна експлуатація, належне утримання, ефективне управління і використання об'єктів портової інфраструктури державної власності, в тому числі гідротехнічних споруд, а також забезпечення їх своєчасної модернізації, ремонту, реконструкції та будівництва.

У воднотранспортній галузі найбільш поширене застосування знайшли причальні споруди у вигляді тонких стінок із заанкерованими лицьовими елементами, наприклад, набережні з металевого або залізобетонного шпунту, кутові стінки тощо, як найбільш економічні і технологічні конструкції причальних набережних.

Актуальність теми. Анкерні пристрої та, особливо, анкерні опори є одними з найбільш відповідальних елементів конструкції заанкерованих причальних споруд, від стану яких в значній мірі залежить безпека експлуатації всієї споруди в цілому. Основним недоліком анкерних пристроїв є їх значна матеріаломісткість. Тому ця робота присвячена створенню та дослідженню анкерного пристрою воднотранспортної споруди типу «больверк» з метою максимальної реалізації резервів несучої здатності споруди при мінімальних витратах матеріалів і ресурсів при проектуванні і будівництві нових конструкцій «больверків», а також при експлуатації та ремонті/реконструкції існуючих.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження, викладені в дисертації, виконані відповідно до напряму наукової роботи кафедри «Морські та річкові порти, водні шляхи та їх технічна експлуатація» Одеського національного морського університету (далі – ОНМУ), що відображено, зокрема, у виконаній у 2015-2016 роках науково-дослідній роботі «Енергоефективні рішення для розвитку гідротехнічних споруд воднотранспортної інфраструктури», номер державної реєстрації НДР: 0115U000607 (ступінь участі дисертанта – виконавець).

Мета і завдання дослідження. Мета дисертаційної роботи полягає в розробці та дослідженні економічних та технологічних анкерних опор інноваційної конструкції для воднотранспортних споруд типу «больверк», що забезпечують необхідні параметри надійності та несучої здатності споруди.

Для досягнення поставленої мети необхідно було вирішити такі завдання:

- виявлення та аналіз чинників, що мають істотний вплив на роботу анкерних пристроїв у складі споруди;
- уточнення розрахункової схеми і методики розрахунку анкерних опор больверка у вигляді плит;
- обґрунтування і розробка інноваційних конструкторсько-технологічних рішень анкерних опор больверка;
- проведення експериментального дослідження роботи системи «анкерний пристрій – ґрунтове середовище» в лабораторних умовах на моделях;

- виконання чисельного моделювання анкерних опор інноваційної конструкції і порівняння отриманих результатів з даними лабораторних експериментальних спостережень для оцінки ефективності запропонованого рішення;

- розробка практичних рекомендацій щодо розрахунку та конструювання удосконаленої анкерної опори, яка дозволяє підвищити економічність, надійність, довговічність і безпеку експлуатації причальних споруд.

Об'єкт дослідження – формування напружено-деформованого стану системи «анкерна опора - ґрунтове середовище» з урахуванням специфіки запропонованого інноваційного рішення анкерної опори.

Предмет дослідження – анкерний пристрій інноваційної конструкції, що являє собою закріплені в певному положенні вздовж жорсткого сердечника анкерні плити.

Методи дослідження – Метод експериментальних досліджень на моделях анкерних пристроїв в лабораторних умовах; чисельне моделювання роботи системи «анкерний пристрій – ґрунтове середовище» методами теорії граничного напруженого стану, а також методами, що реалізують пружно-пластичну модель ґрунтового середовища.

Наукова новизна отриманих результатів.

1. Розроблено інноваційне конструкторсько-технологічне рішення анкерного пристрою у вигляді «гребінки» з анкерних плит, закріплених вздовж загального жорсткого сердечника (автором отримано патент України на винахід)

2. Вперше досліджені особливості інноваційного анкерного пристрою у вигляді «гребінки», в тому числі компоновальні рішення для анкерних плит (розташування, габарити та ін.)

3. Вперше проведено експериментальні дослідження на моделях анкерних пристроїв інноваційної конструкції в лабораторних умовах; виявлено вплив основних параметрів пристроїв (компоновання, кількість і розміри анкерних плит в «гребінці») на несучу здатність анкерних пристроїв

4. Удосконалені підходи до постановки та виконання чисельного моделювання системи «ґрунтове середовище – анкерний пристрій типу «гребінка», а також причальних споруд типу «больверк» з інноваційним анкерним пристроєм.

Практичне значення отриманих результатів. Впровадження на практиці розробленого інноваційного конструкторсько-технологічного рішення анкерної опори і використання результатів виконаних експериментальних досліджень сприяє підвищенню несучої здатності підпірних стінок портових гідротехнічних споруд, скороченню термінів реконструкції і модернізації споруд, а також зменшенню їх матеріаломісткості та обсягів виробництва робіт. Ці результати дозволяють підвищити ефективність технічної експлуатації, надійність проектування споруд при реконструкції та будівництві водотранспортних гідротехнічних споруд в цілому і причальних споруд типу «больверк» зокрема.

Практичну цінність мають такі результати:

- інноваційне раціональне конструкторсько-технологічне рішення больверку із анкерним пристроєм типу «гребінка»;

- дослідні дані про роботу інноваційного анкерного пристрою, отримані при проведенні лабораторних експериментальних досліджень взаємодії анкерного пристрою типу «гребінка» із ґрунтовим середовищем;

- уточнені методи розрахунку системи «шпунтова стінка – ґрунтове середовище», що враховують експериментально встановлену специфіку взаємодії плит «гребінки» із ґрунтом.

Результати досліджень за темою дисертації у вигляді розробки конструкторсько-технологічних рішень та методики розрахунку використовувалися при виконанні науково-дослідних робіт в ОНМУ, у навчальному процесі на факультеті водотранспортних і шельфових споруд ОНМУ, при реалізації проекту реконструкції причалів морського торговельного порту Південний, а також в дослідницьких проектах Дунайської Комісії.

Особистий внесок дисертанта у наукових роботах, опублікованих у співавторстві, полягає у такому:

- розроблена та запатентована інноваційна конструкція анкерної опори для водотранспортних споруд типу «больверк» [1, 7]

- виконані лабораторні експериментальні дослідження взаємодії анкерних пристроїв інноваційної конструкції із ґрунтовим середовищем з подальшою обробкою результатів і їх аналізом [4-6, 11];

- розроблені розрахункові схеми взаємодії анкерних пристроїв інноваційної конструкції із ґрунтовим середовищем, що враховують експериментально виявлені особливості роботи анкерних пристроїв типу «гребінка» [2, 3, 12];

- виконаний аналіз особливостей роботи водотранспортних споруд типу больверк із анкерними пристроями типу «гребінка» [1, 5-10].

Основні результати дисертаційної роботи отримані автором самостійно.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідалися і отримали позитивну оцінку на наукових конференціях, що відображено в [1, 7, 8, 9, 10, 11, 12], на конференціях професорсько-викладацького складу Одеського національного морського університету (м. Одеса, 2011-2015 рр.), регіональному конкурсі інноваційних проектів, присвяченому до Дня науки України Одеського інноваційно-інформаційного центру (ІНВАЦ), де проект «Інноваційне рішення анкерних опор причальних споруд типу «больверк» посів 1-ше місце в номінації «Кращий проект молодих вчених» (м. Одеса, 2013), Міжнародному науково-технологічному форумі «Наука. Інновації. Технології – 2013» (м. Київ, 2013).

Крім того, розроблена в ході дисертаційного дослідження і запатентована інноваційна конструкція анкерних опор «больверка» була використана при розробці проекту реконструкції причалів № 8 і № 9 морського порту Південний, а також в дослідницьких проектах Дунайської Комісії, що підтверджується актами впровадження.

Публікації. Основні матеріали і результати дисертаційної роботи опубліковані в 12 наукових працях, в тому числі в 3 статтях у вітчизняних наукових фахових виданнях, регламентованих вимогами ВАК України, в 3 статтях зарубіжних індексованих видань і в 6 збірниках доповідей та тез доповідей конференцій різного рівня; отримано патент України на винахід.

Обсяг і структура дисертації. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, загальних висновків, списку використаної літератури та додатків. Обсяг роботи: 239 сторінок, з них 187 сторінок основного тексту (в тому числі 106 повних сторінок з рисунками та таблицями), а також 10 сторінок списку використаних джерел (84 найменування), 16 сторінок додатків. Основна частина містить 88 рисунків й фотографій, 24 таблиці.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі освітлена актуальність теми дисертації, визначена мета роботи й основні напрямки її досягнення, показана наукова новизна й практичне значення отриманих результатів. Наведені відомості про публікації й апробації роботи.

У **першому розділі** оцінений сучасний стан та перспективи розвитку воднотранспортних споруд типу «больверк» із анкерними системами. Традиційні конструкторсько-технологічні рішення анкерних систем больверка не позбавлені ряду недоліків, до основних з яких слід віднести:

- обмеженість області застосування;
- технологічні складнощі збирання і монтажу;
- обмежена несуча здатність;
- відсутність гнучкості при формуванні конструктивної схеми споруди.

Актуальним завданням є вдосконалення конструкторсько-технологічних рішень анкерних систем больверків, спрямоване на підвищення їх несучої здатності при забезпеченні економічної ефективності, екологічності та технологічності споруди.

У **другому розділі** досліджений інноваційний (отриманий патент України) анкерний пристрій больверка у вигляді «гребінки» з декількох анкерних плит, з'єднаних загальним сердечником. Цей пристрій у вигляді «гребінки» забезпечує вирішення таких важливих завдань, як підвищення несучої здатності причалів типу «больверк» за рахунок особливостей конструкції (при однаковій матеріаломісткості, що відповідає матеріаломісткості типової конструкції анкерної плити), а також зниження матеріаломісткості (при однаковій несучій здатності, порівняно з типовою конструкцією анкерної плити).

Причальна споруда (рис. 1), містить лицьову стінку, зворотну ґрунтову засипку за стінкою і розташовані в засипці за призмою обвалення ґрунту засипки анкерні тяги з анкерними опорами.

Анкерні опори виконані гребінчастими у вигляді закріплених уздовж жорсткого сердечника анкерних плит, причому відстань між суміжними анкерними плитами є такою, що ближча до лицьової стінки плита не перетинає меж призми випирання ґрунту перед більш віддаленою від лицьової стінки плитою (призми випирання ґрунту зазвичай будують під кутом $45^\circ + \varphi/2$ до вертикалі, де φ – кут внутрішнього тертя ґрунту).

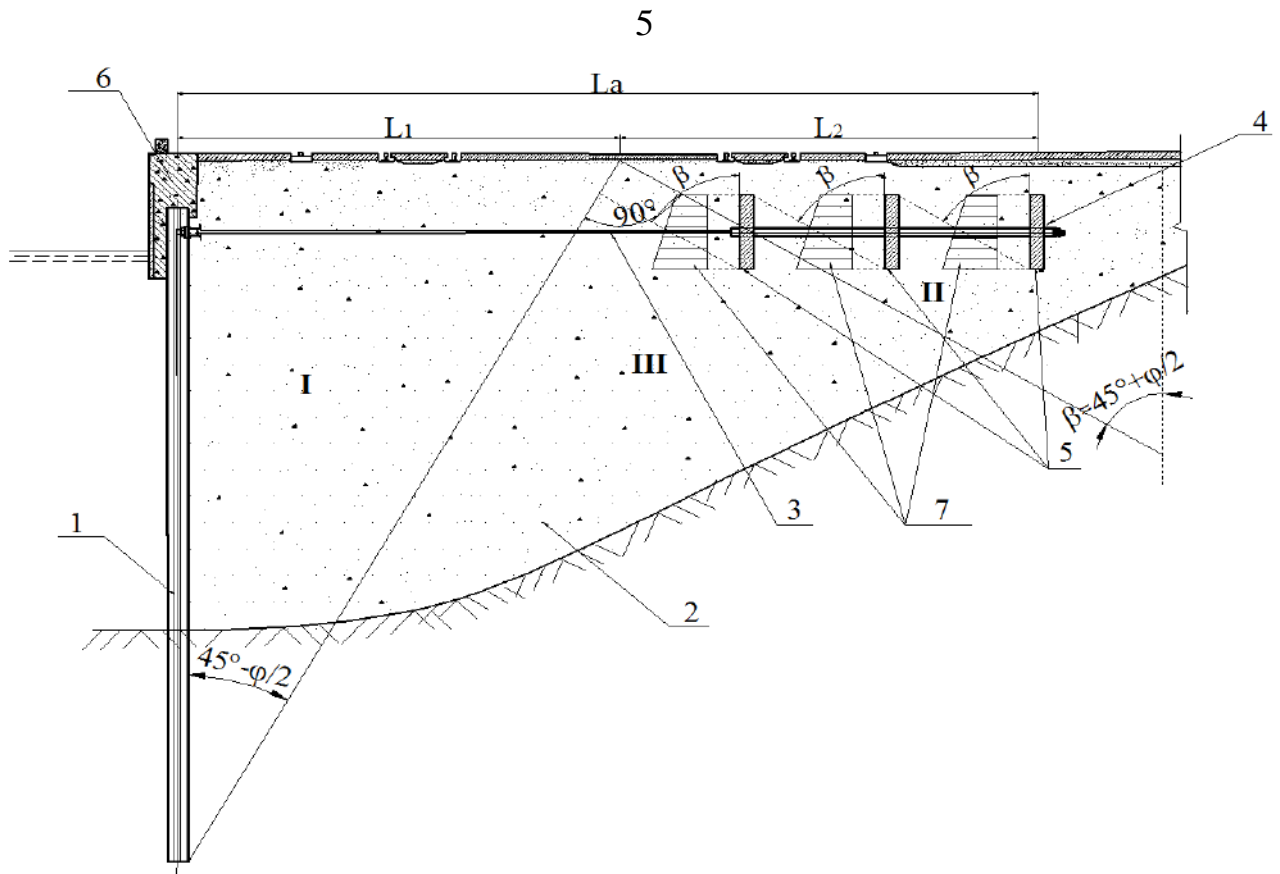


Рисунок 1. Причальна споруда з епюрами опору ґрунту перед анкерними плитами у вигляді «гребінки»:

- 1 – лицьова стінка «больверка»; 2 – зворотна засипка за стінкою; 3 – анкерна тяга; 4 – металевий сердечник; 5 – плити «гребінки»; 6 – монолітний оголовок; 7 – еюра пасивного тиску ґрунту

Шпунтова стінка 1 працює під впливом розпірного тиску ґрунту засипки 2, як балочна плита, верхній кінець якої шарнірно прикріплений до анкерного пристрою, а нижній є стиснутим в ґрунті. Стінка 1, переміщення верхнього кінця якої обмежене анкерним пристроєм, під тиском ґрунту засипки 2 прогинається і прагне обернутися навколо точки кріплення до неї анкерної тяги 3. Цьому перешкоджає опір ґрунту дна, розташованого перед стінкою. Анкерна тяга 3 передає зусилля від тиску ґрунту на анкерну опору, виконану у вигляді «гребінки». Завдяки жорсткому сердечнику 4, зусилля сприймається одночасно всіма плитами «гребінки» 5. Це забезпечує збільшення несучої здатності при однакових витратах матеріалу на виготовлення плит, згідно відомих технічних рішень (тобто поліпшуються експлуатаційні показники споруди). З іншого боку, запропонована конструкція може забезпечити зменшення витрат матеріалу із збереженням несучої здатності, що відповідає відомих технічних рішенням (тобто поліпшуються економічні показники конструкції).

Реакція ґрунту (опір) перед анкерними плитами в «гребінці» відображена епюрами опору ґрунту (поз. 7 на рис. 1). Залежно від кількості плит в «гребінці» та їхніх розмірів, сумарний опір ґрунту перед ними може бути незмінним або перевищувати опір перед плитами в традиційних рішеннях (зокрема, ближча до лицьової стінки анкерна плита «гребінки» може використовувати здатність опору ґрунту в зоні III, див. рис. 1).

Запропоноване рішення може передбачати кілька різних типів гребінчастих анкерних опор: анкерна опора з однаковою висотою плит, анкерна опора з різною висотою вертикально розташованих плит, анкерна опора з плитами, нахиленими відносно вертикалі (рис. 2).

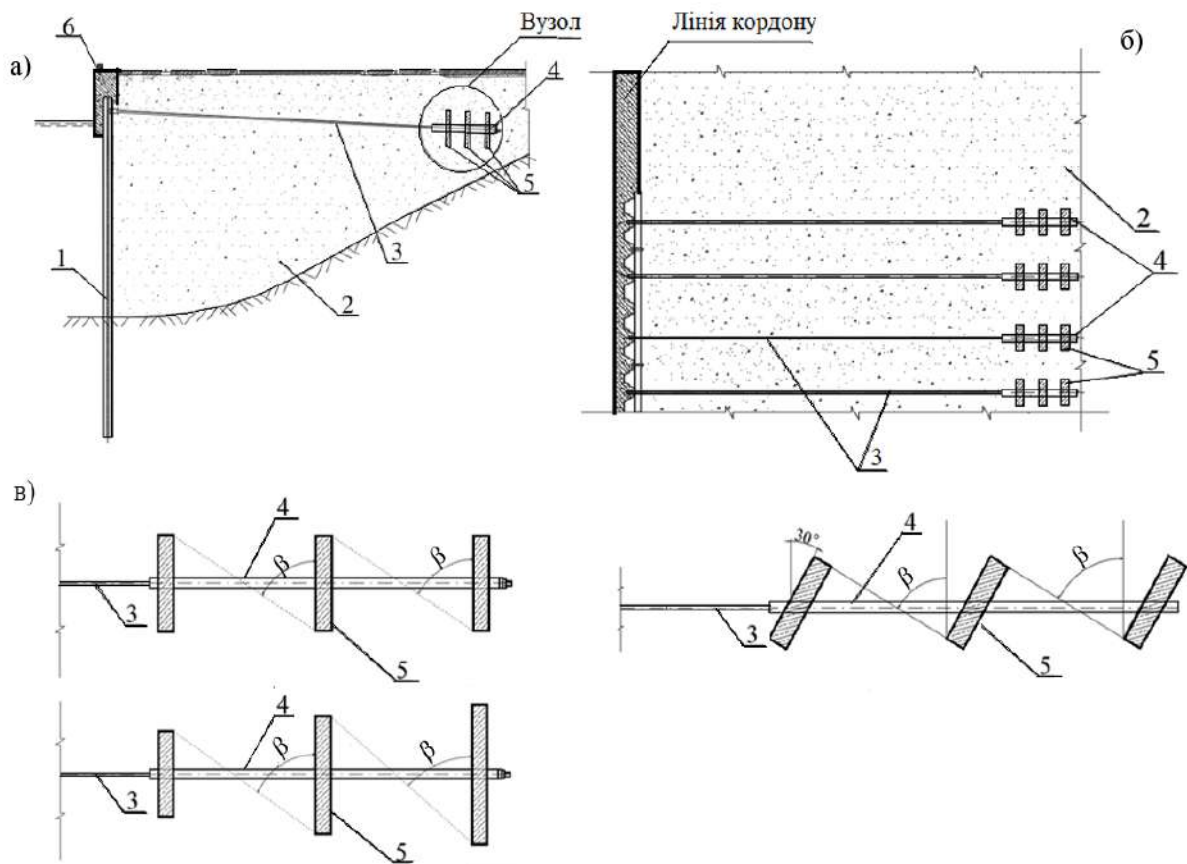


Рисунок 2. Причальна споруда типу «больверк» з анкерною опорою у вигляді «гребінки»:

- а – поперечний переріз причальної споруди; б – план на рівні анкерних тяг;
 в – вузол анкерної опори (з однаковою висотою плит, з нахилом плит, з різною висотою плит); 1 – лицьова стінка «больверка»; 2 – зворотна засипка за стінкою;
 3 – анкерна тяга; 4 – металевий сердечник; 5 – плити «гребінки»;
 6 – монолітний оголовок

Завдяки тому, що анкерні опори виконані у вигляді «гребінки», забезпечується менша матеріаломісткість (при несучій здатності, що відповідає відомим технічним рішенням). З іншого боку, запропонована конструкція може забезпечити більш високу несучу здатність споруди (при матеріаломісткості, що відповідає відомим технічним рішенням), за рахунок чого поліпшуються експлуатаційні показники причальної споруди.

Для того щоб визначити оптимальне положення «гребінки» порівняно із традиційним рішенням, було розглянуто три положення запропонованого анкерного пристрою по глибині: у верхній третині анкерної плити традиційної конструкції причалу (далі – верхнє положення), середній третині анкерної плити традиційної конструкції причалу (далі – середнє положення) і в нижній третині анкерної плити традиційної конструкції причалу (далі – нижнє положення).

Анкерна несуча здатність запропонованої причальної споруди була розрахована в залежності від кількості плит в «гребінці», їх розміру (тобто висоти h кожної плити) та від розташування плит по глибині в ґрунті засипки відносно конструкції прототипу та відповідно до трьох положень по глибині. В ході розрахунку було визначено залежність висоти однієї плити «гребінки» від заглиблення відносно поверхні ґрунту засипки, а також залежність висоти однієї плити «гребінки» від кількості плит. Результати розрахунків відображені на графіках (рис. 3). Для порівняння була також розглянута традиційна конструкція анкерної опори з висотою $H=3,0$ м і заглиблена на відстань $T=2,0$ м від поверхні причалу. За стінкою відсипаний пісок середньої крупності з кутом внутрішнього тертя $\varphi=30^\circ$ і питомою вагою $\gamma_{\text{п}}=20,0$ кН/м³ – над водою.

Таким чином, основна причина приросту несучої здатності анкерного пристрою у вигляді «гребінки» – це збільшення його заглиблення. Крок плит повинен бути таким, щоб здатність опору більш віддалених від лицьової стінки плит (тобто друга та третя плити «гребінки») реалізовувалася повністю і не перекривалася сусідньою плитою. Така відстань між плитами є оптимальною. Віддалення анкерних плит від лицьової стінки, при якому їх опір випиранню реалізується повною мірою, визначається побудовою, зазначеною на рис. 1 і призначається з умови як найповнішого використання опору випиранню ґрунту між плитами. Тому вони розташовані одна від одної на відстані, що дорівнює горизонтальній проекції основи призми випирання перед анкерною плитою.

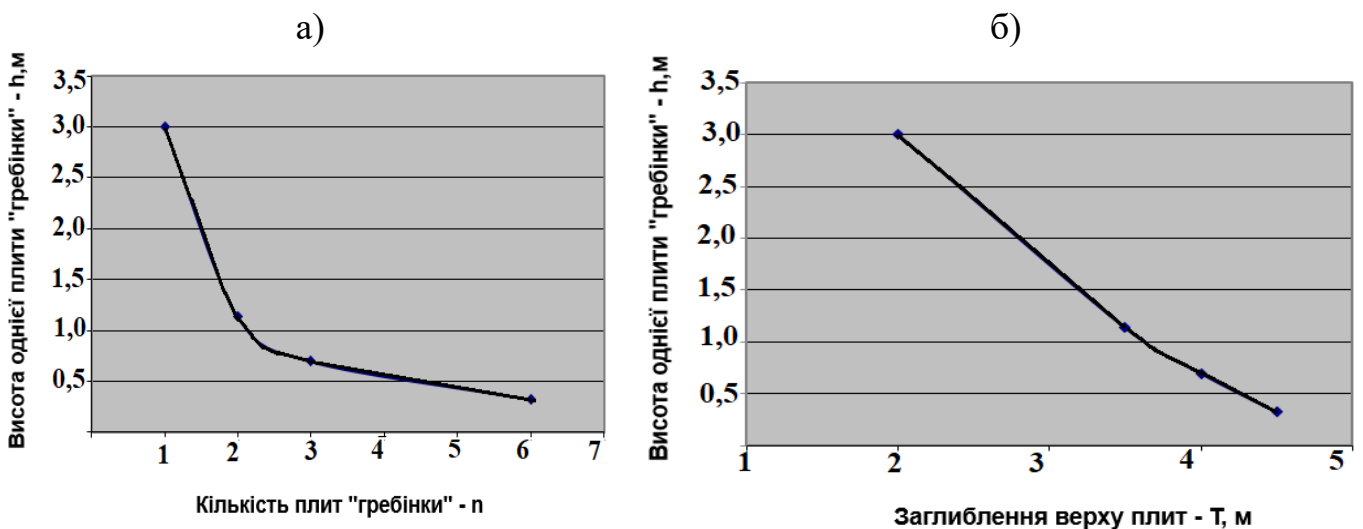


Рисунок 3. Графіки залежності висоти (h) анкерних плит «гребінки»:
 а) від їхньої кількості (n) (при $n=1$ – у випадку традиційного рішення анкерної опори у вигляді одиночної плити); б) від глибини (T) їх заглиблення відносно поверхні території причалу

Графіки залежності висоти (h) однієї плити «гребінки» від заглиблення (T) і висоти (h) однієї плити «гребінки» від n (рис. 3) показують, що найбільш вигідним є розташування плит «гребінки» в нижньому положенні, коли спостерігається значне збільшення несучої здатності при незмінних витратах матеріалу. Приріст несучої здатності обумовлений як приростом опору розташованого над анкерною плитою

шару ґрунту (T), так і конструкцією «гребінки», що сприймає зсувні зусилля усіма плитами одночасно.

Таким чином, при однаковій потребі в матеріалі, несуча здатність запропонованого рішення є значно більшою, ніж несуча здатність типової одиночної плити, і зростає з глибиною розташування анкерного пристрою. З іншого боку, при однаковій несучій здатності, порівняно з відомою спорудою, для запропонованого технічного рішення витрати матеріалу плит «гребінки» зменшуються.

У третьому розділі розглянуті результати експериментального дослідження анкерного пристрою інноваційної конструкції у вигляді «гребінки», що були виконані автором в лабораторії кафедри «Морські та річкові порти, водні шляхи та їх технічна експлуатація» ОНМУ. Метою лабораторних досліджень було вивчення особливостей інноваційного рішення анкерної опори, розробленого і запатентованого за участю автора. До переліку завдань, поставлених на етапі планування даних експериментів, слід віднести визначення несучої здатності анкерного пристрою в залежності від його конструктивних особливостей і визначення доцільної області застосування в сфері технічної експлуатації воднотранспортних споруд.

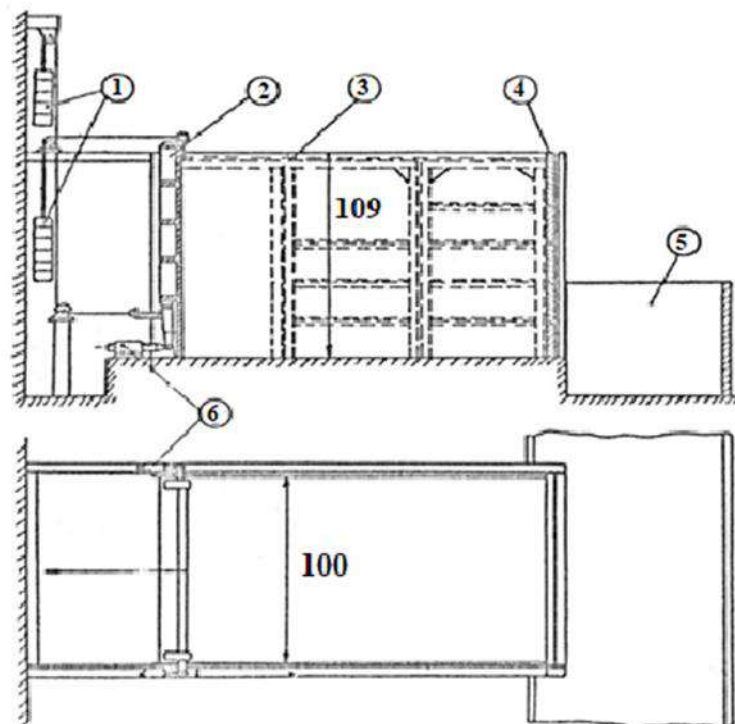


Рисунок 4. Схема ґрунтового лотка:

- 1 – навантажувальний пристрій; 2 – щит; 3 – каркас лотка; 4 – задня стінка;
5 – ємність для піску; 6 – опорні пристрої

Основними параметрами, що були досліджені в ході лабораторного експерименту в ґрунтовому лотку, є:

- несуча здатність анкерної системи E , тобто (в граничному стані – пасивний) тиск опору ґрунту на анкерні плити;
- переміщення анкерного пристрою;

- характер переміщення ґрунту піщаної засипки;
- наявність/виникнення призм випирання на поверхні засипки;
- характер розподілу бічного тиску ґрунту між плитами «гребінки»;
- вплив кута нахилу до вертикалі плит «гребінки» на величину несучої здатності.

Ґрунтовий лоток (рис. 4) являє собою обмежений з п'яти боків простір, всередині якого розташовується піщаний ґрунт і модель досліджуваної споруди. Моделі відповідно до схеми експерименту (рис. 5) розташовані в лотку за призмою обвалення ґрунту засипки, в межах призми випирання (поз.3).

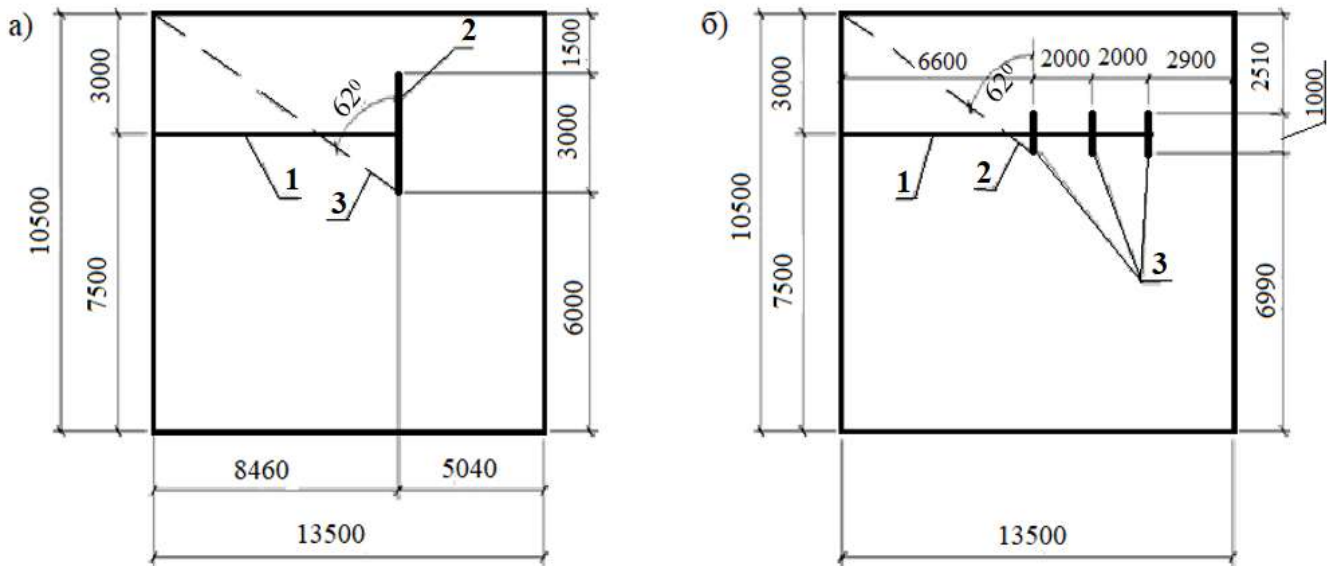


Рисунок 5. Схема експерименту:

а – для традиційної конструкції;

б – для інноваційної конструкції у вигляді «гребінки»;

1 – анкерна тяга; 2 – анкерні плити; 3 – межа призми випирання ґрунту

Моделлю традиційної конструкції анкерної плити був щит ДСП (рис. 6 а) з розмірами: довжина – 50 см; висота – 30 см; товщина – 3 см. Розміри плит «гребінки» прийняті наступні: довжина – 50 см; висота – 10 см; товщина – 3 см.

Для об'єктивної оцінки ефективності роботи запропонованого інноваційного рішення в порівнянні з традиційним конструктивним рішенням, а саме для оцінки реалізованої несучої здатності анкерного пристрою, була забезпечена однакова матеріаломісткість обох типів анкерної системи (рис. 7).

Модель «гребінки» була виконана двох типів, для кожного з яких були проведені серії дослідів з урахуванням трьох положень при різній величині заглиблення: (1) вертикальна модель «гребінки» – плити розташовані під кутом 90° до анкерної тяги (рис. 7 а); (2) похила модель «гребінки» – плити розташовані під кутами 10° , 20° , 30° від вертикалі (рис. 7 б).

Результати досліджень відображені на графіках залежності несучої здатності анкерного пристрою від величини заглиблення T і від конструктивних особливостей пристрою (рис. 8). Значне збільшення несучої здатності (на 56,7 %) спостерігається для плит в нижньому положенні з кутом нахилу 30° .

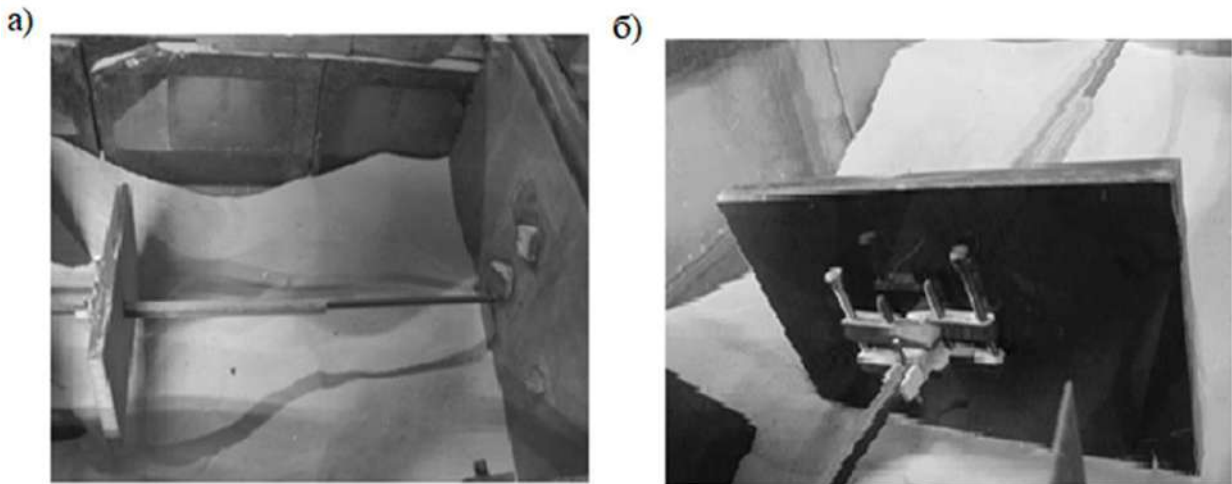


Рисунок 6. Модель типової конструкції одиної плити всередині установки до відсіпання піску:

а – одиначна анкерна плита; б – з'єднання анкерної плити, виконаної з щита ДСП, з анкерною тягою у вигляді металевого прута

Всього було проведено 14 серій, що склалися з 175 дослідів.

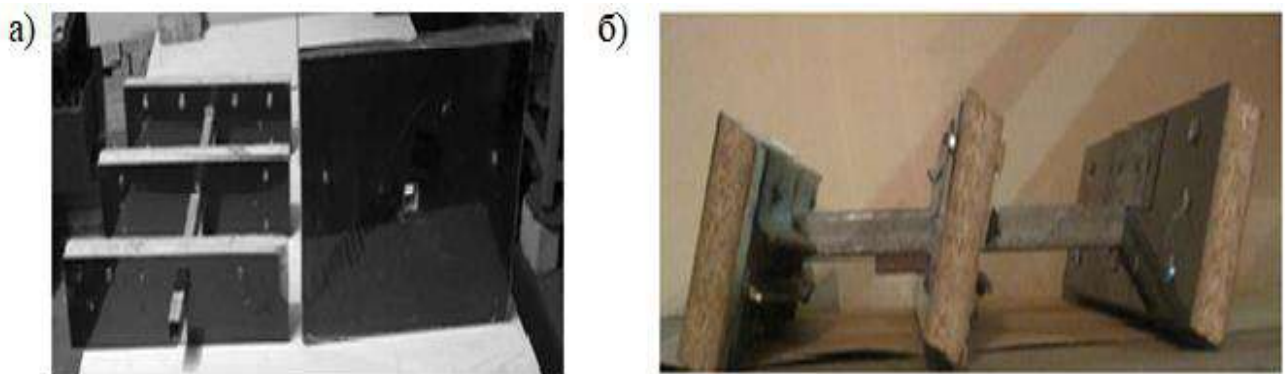


Рисунок 7. Моделі анкерних плит плит:

а – з вертикальним положенням плит; б – з похилим положенням плит

В результаті проведеного дослідження впливу кута нахилу плит анкерного пристрою на його ефективні показники, отримано сімейство кривих для кожного з типів анкерного пристрою, описуваних двопараметричною функцією виду:

$$f(T, E) = f_1(T) * e^{f_2(T) * E}, \quad (1)$$

$$f_1(T) = a_1 + b_1 * T + c_1 * T^2 \quad (2)$$

$$f_2(T) = a_2 + b_2 * T + c_2 * T^2 \quad (3)$$

де $f_1(T), f_2(T)$ – параметри функціонального рівняння $f(T, E)$;

T – незалежна змінна, що задається експериментатором та характеризує заглиблення анкерного пристрою;

E – незалежна змінна, що задається експериментатором та характеризує горизонтальне навантаження, яке діє на анкерний пристрій;

$a_1, b_1, c_1, a_2, b_2, c_2$ – параметри функціональних рівнянь, які визначаються методом найменших квадратів.

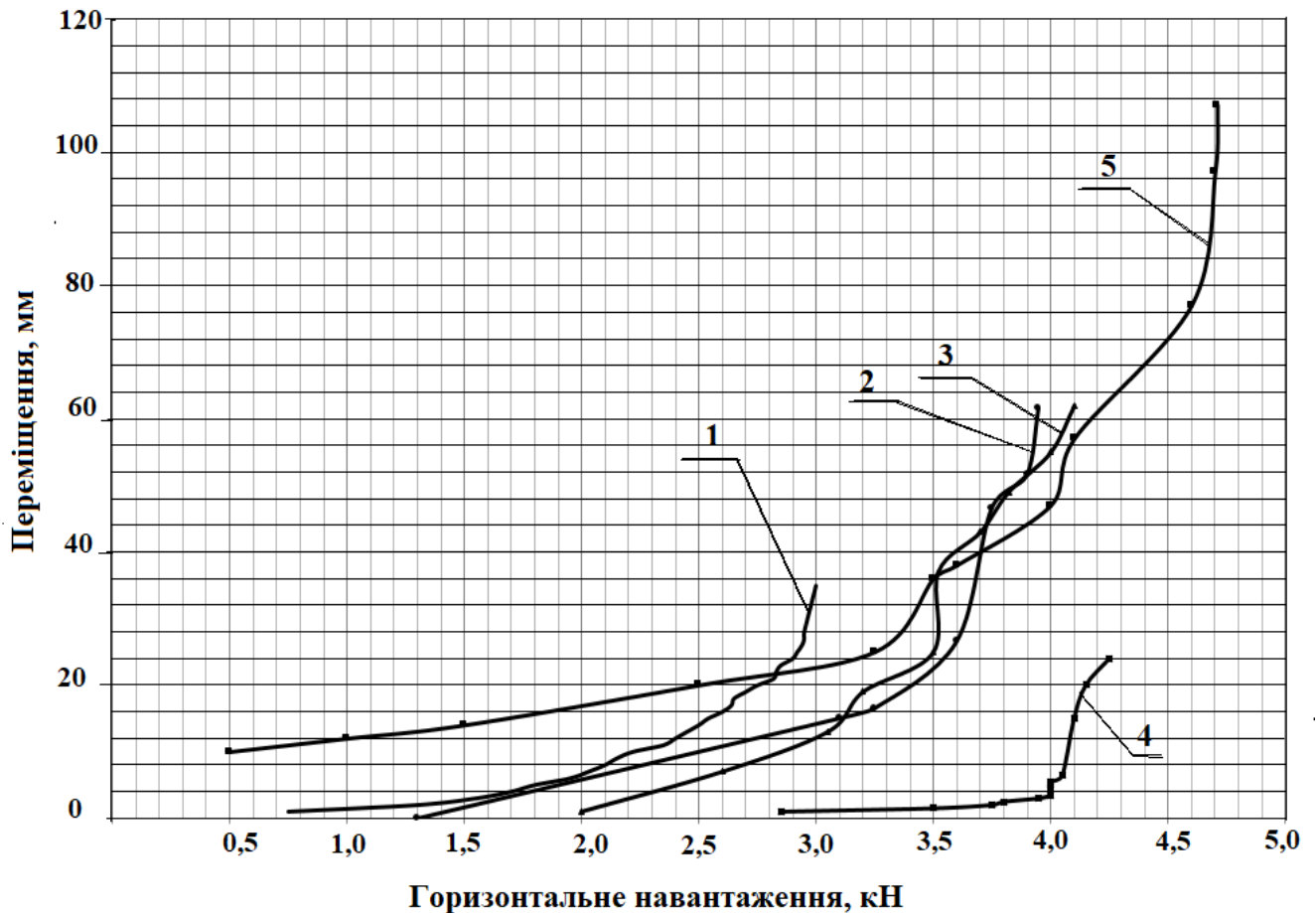


Рисунок 8. Графіки залежності несучої здатності від переміщень анкерного пристрою у вигляді «гребінки», що відповідають його положенню «по низу»:

- 1 – одиночна плита; 2 – «гребінка» вертикального типу;
- 3 – «гребінка» похилого типу під кутом 10 градусів;
- 4 – «гребінка» похилого типу під кутом 20 градусів;
- 5 – «гребінка» похилого типу під кутом 30 градусів

Криві, що описують найбільш вигідний конструктивний тип «гребінки» наведені на рис. 9, а крива, що описує залежність переміщень одиночної плити – на рис.10.

Аналіз отриманих результатів лабораторних досліджень на моделях, а також чисельного моделювання для умов проведених експериментів на основі різних методик розрахунків, дозволяє зробити наступні висновки:

- Методи, що ґрунтуються на теорії Кулона, або уточнюють її в частині розгляду пасивного тиску ґрунту засипки, призводять до заниження (в інтервалі 39-69 %) значень несучої здатності анкерного пристрою порівняно з експериментально отриманими даними.

- Методи, засновані на теорії граничного напруженого стану ґрунтового середовища, призводять до суттєвого завищення значень несучої здатності анкерного пристрою в порівнянні з експериментально отриманими даними (від 59 % до 342 % в залежності від застосовуваного методу та локалізації плит «гребінки»). В той же час, уточнення цієї теорії, запропоноване П.І. Яковлєвим, дозволяє зменшити зазначені завищення до інтервалу 60-123 %.

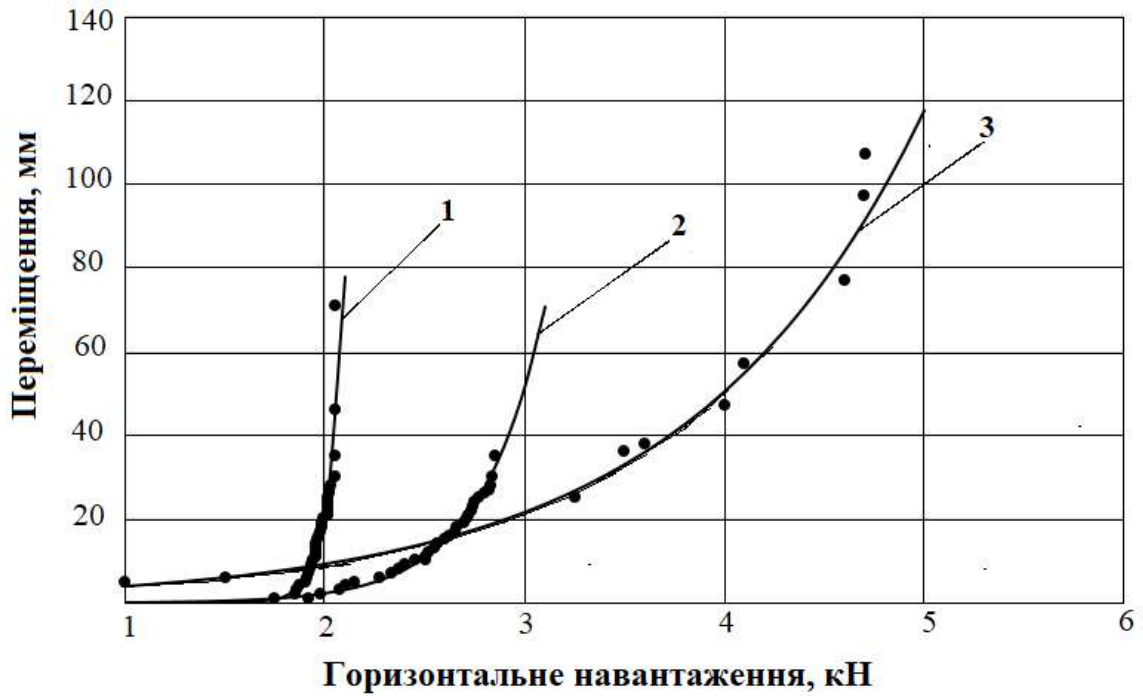


Рисунок 9. Залежність переміщень «гребінки» з нахилом плит 30° в бік засипки від величини заглиблення анкерного пристрою і діючого горизонтального навантаження:

1 – положення «по верху»; 2 – положення «по середині»;
3 – положення «по низу»

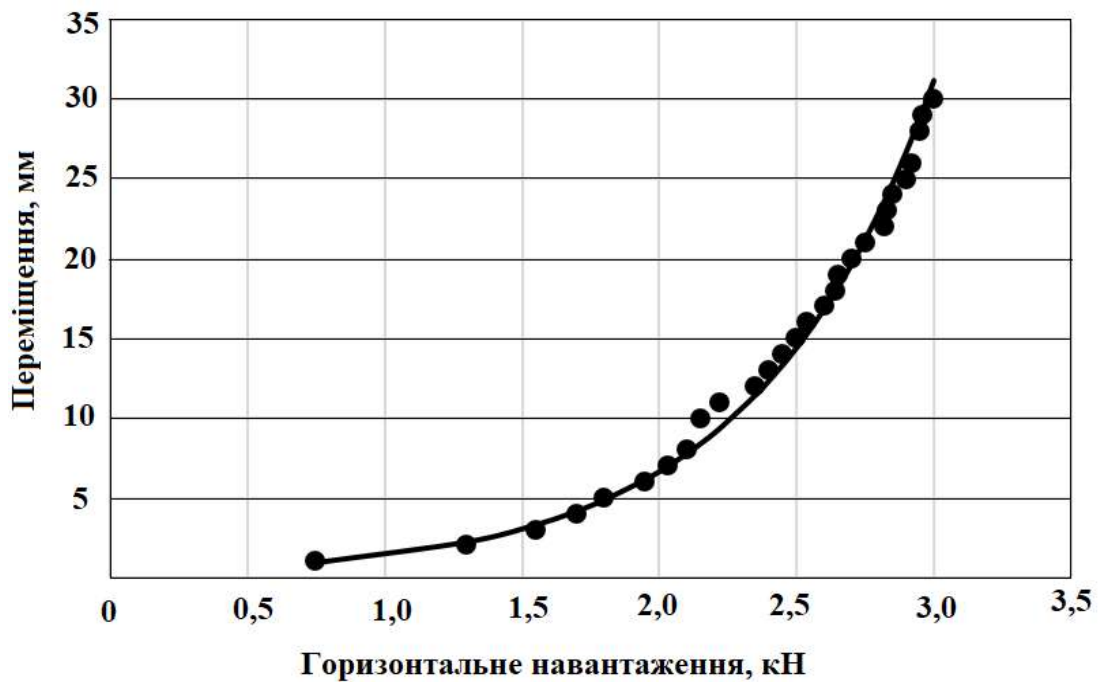


Рисунок 10. Залежність переміщень анкерного пристрою у вигляді одиночної плити від діючого горизонтального навантаження

- Більш наближені до дослідних значень розрахункові результати дає метод скінченних елементів (далі – МСЕ), заснований на застосуванні пружно-пластичної моделі ґрунтового середовища Кулона-Мора (розбіжність з експериментальними даними в бік заниження несучої здатності анкерного пристрою в інтервалі 11-36 % в залежності від локалізації плит «гребінки»). Його доцільно рекомендувати для подальшого чисельного моделювання конструктивних особливостей і варіантів застосування інноваційного анкерного пристрою у вигляді «гребінки» з анкерних плит

- Більшість застосованих розрахункових методів не демонструють стійкої «чутливості» до зміни кута нахилу анкерних плит, що свідчить про їх недосконалість при розрахунку зазначеного параметра.

У четвертому розділі представлені результати аналізу особливостей анкерної системи у вигляді «гребінки» при формуванні напружено-деформованого стану воднотранспортної споруди типу «больверк», який дозволив виявити і кількісно охарактеризувати позитивний вплив нового конструктивного рішення на несучу здатність больверка. На підставі чисельного моделювання (МСЕ, програма PLAXIS) проаналізовані основні чинники, що визначають несучу здатність як анкерного пристрою, так і всієї споруди.

Аналіз результатів чисельного моделювання дозволяє зробити наступні висновки. Найбільш ефективним з точки зору як несучої здатності при сприйнятті анкерного зусилля (зростання на 75 %), так і позитивного впливу на напружено-деформований стан (далі – НДС) основних конструктивних елементів больверка є варіант з нижнім розташуванням «гребінки». Так, у порівнянні із випадком використання в конструкції больверку традиційного анкерного пристрою у вигляді одиночної плити, максимальні напруги в системі при використанні «гребінки» знижуються на 16 %, переміщення споруди – на 56 %, згинальний момент в лицьовій стінці – на 20 %. Слід також відзначити зниження як згинальних моментів в плитах «гребінки», так і їхніх переміщень (приблизно на 70 % нижче порівняно з традиційною конструкцією).

Основне зниження зусиль в лицьовій стінці споруди, а також її переміщень відзначається при переході від одиночної анкерної плити традиційного рішення анкерного пристрою до «гребінки», що складається з 2-3 плит меншої висоти.

Отримані результати якісно і кількісно підтверджують ефективність виконання анкерних плит з нахилом в бік «від ґрунту».

З точки зору мінімізації витрат матеріалу на виготовлення як анкерних плит, так і сердечника, а також з урахуванням технологічних міркувань з виготовлення та монтажу анкерного пристрою у вигляді «гребінки» при різній кількості і габаритах плит в «гребінці», найбільш доцільним є використання «гребінки», що складається з трьох плит висотою 0,7 м. Таке конструктивне рішення сприяє зниженню матеріаломісткості нового анкерного пристрою в порівнянні з традиційним рішенням (одиночна анкерна плита висотою 3,0 м) на величину не менш ніж 30 %.

Для конкретних інженерно-геологічних та експлуатаційних умов реального об'єкту (причал № 8 в порту «Південний») виконаний розрахунок основних параметрів і несучої здатності анкерного пристрою у вигляді «гребінки». Порівняння матеріаломісткості і вартості традиційного анкерного пристрою

(анкерної стінки із сталевих шпунтових паль) та інноваційного рішення у вигляді «гребінки» для наведеного об'єкту (за умови забезпечення однакової несучої здатності анкерної системи) продемонструвало високу ефективність запропонованого нового підходу (табл. 1).

Таблиця 1 - Порівняння матеріаломісткості анкерної опори причалу
(на 100 пог.м. споруди)

Конструкція анкерної опори	Витрати матеріалів		Вартість, тис.грн. (в цінах 2020 р.)
	сталь, т	бетон, куб.м	
Стальна шпунтова стінка	240.0	-----	7460
«Гребінка» із залізобетонних плит	17.3	50.4 куб.м	663

ВИСНОВКИ

У представленій роботі вирішені такі задачі:

1. Розроблена інноваційна конструкція анкерного пристрою із анкерних плит, розташованих у вигляді «гребінки» (отриман патент України).

2. Досліджена специфіка роботи споруд типу «больверк» із іноваційним анкерним пристроєм у вигляді «гребінки» шляхом проведення фізичних експериментальних досліджень (в лабораторних умовах на моделях) взаємодії анкерного пристрою із ґрунтовим середовищем та чисельного моделювання системи «анкерний пристрій причалу – ґрунтове середовище».

3. Визначені оптимальні параметри іноваційного анкерного пристрою у вигляді «гребінки», що відображують вплив факторів, виявлених як в ході фізичного, так і чисельного моделювання конструкцій, що розглядаються.

4. Розроблені раціональні конструкторсько-технологічні рішення для практики будівництва і технічної експлуатації причалів типу «больверк» із анкерними пристроями у вигляді «гребінки».

Таким чином, до найважливіших наукових результатів, отриманих у дисертації, треба віднести такі:

1. Досліджено іноваційне конструкторсько-технологічне рішення анкерного пристрою для підпірних стінок, в тому числі для споруд типу «больверк».

2. На основі проведених експериментальних досліджень взаємодії моделі іноваційного анкерного пристрою у вигляді «гребінки» з ґрунтовим середовищем визначені якісні та кількісні параметри роботи анкерного пристрою, зокрема, оцінено вплив можливих компоновальних рішень «гребінки» і розмірів її конструктивних елементів на несучу здатність пристрою.

3. Розроблено розрахункову схему іноваційного анкерного пристрою у вигляді «гребінки» і виконано чисельне моделювання її роботи, в тому числі в складі причальної споруди типу «больверк»; виконано порівняння результатів експериментальних досліджень і чисельного моделювання.

4. Виконано розрахунки реальних конструкцій портових причальних споруд із застосуванням розробленого інноваційного анкерного пристрою; проведена оцінка ефективності використання нового рішення. Результати впроваджені як в Україні (проекування реконструкції причалів в порту Південний), так і за кордоном (дослідницькі проекти Дунайської Комісії).

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ПО ТЕМІ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні наукові результати дисертації (публікації у наукових фахових виданнях України та у наукових періодичних виданнях інших держав, які включені до міжнародних наукометричних баз):

1. Оганесян В.Т. Инновационные конструкторско-технологические решения глубоководных гидротехнических сооружений свайной конструкции / М.П. Дубровский, В.В. Литвиненко, В.Т. Оганесян, О.М. Дубровская // Будівельні конструкції – міжвідомчий науково-технічний збірник «Механіка ґрунтів, геотехніка та фундаментобудування», 2011, вип. 75, книга 2, с. 378-384 (українське видання, що входить до переліку наукових фахових видань).
2. Оганесян В.Т. Совершенствование эксплуатационных параметров анкерных опор больверков / М.П. Дубровский, В.Т. Оганесян. Полтавський національний технічний університет // Зб. наук. праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. – Полтава, 2013, випуск 3 (38), с. 133-141 (українське видання, що входить до переліку наукових фахових видань).
3. Оганесян В.Т. Инновационные решения в геотехническом строительстве и береговой геотехнике в сложных инженерно-геологических условиях Украины / Н.Л. Зоценко, Ю.Л. Винников, М.П. Дубровский, В.Т. Оганесян и др. // Науково-технічний журнал «Світ геотехніки», 2014, випуск 1 (41), с. 25-29 (українське видання, що входить до переліку наукових фахових видань).
4. Пат. 105067, Україна, МПК E02B 3/06 (2006.01) E02D 29/02 (2006.01) / Причальна споруда / М.П. Дубровский, В.Т. Оганесян / Власник Одеський національний морський університет № а 2012 05328; заявл. 28.04.2012; опубл. 10.04.2014, Бюл. № 7 (патент на винахід, який пройшов кваліфікаційну експертизу і безпосередньо стосується наукових результатів дисертації).
5. Oganessian V.T. Some innovations for offshore and harbor berths construction / M.P. Doubrovsky, V.E. Kaluzhnaya, A.V. Kaluzhniy and V.T. Oganessian // Journal of Shipping and Ocean Engineering, David Publishing, New York, USA, 2015, issue № 5, pp. 115-123 (закордонне видання, яке індексується в наукометричних базах даних Worldcat, Google scholar, EBSCO, DOAJ, Ulrich's periodicals, Cambridge Scientific Abstracts, CAS, OCLC, PAIS).

6. Oganessian V. Fast-constructed marine and port structures / M. Doubrovsky, M. Poizner, Oganessian V. and Oganessian A. // Journal of Shipping and Ocean Engineering, Vol. 9, Number 1, Jan-Mar 2019, David Publishing Company, USA, pp. 8-13 (*закордонне видання, яке індексується в наукометричних базах даних Worldcat, Google scholar, EBSCO, DOAJ, Ulrich's periodicals, Cambridge Scientific Abstracts, CAS, OCLC, PAIS*).

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації:

7. Doubrovsky M.P. Modern tendencies in development and renovation of deep-water quay walls in Ukrainian sea ports / M.P. Doubrovsky, A. Belackrouf, S. Gabi, V.V. Petrosyan, K.V. Petrosyan, V.T. Oganessian, E. Tertychnaya, Y.A. Artemiev // Матеріали Х міжнародної виставки-конференції Інтертранспорт, 2011, с. 299-300.
8. Oganessian V.T. Some Peculiarities of Granular Materials Interaction with Rigid Retaining Structures / M.P. Doubrovsky // Proceedings of the 2d «Advances in applied physics and materials science congress», APMAS, 2011, Istanbul Kultur Universitesi, Antalya, Turkey, p. 110.
9. Дубровский М.П. Некоторые инновационные разработки по повышению эксплуатационных качеств объектов портовой инфраструктуры / М.П. Дубровский, Али Смаил Габи Белакруф, В.В. Литвиненко, В.Т. Оганесян, Ю.А. Артемьев // Матеріали ХІ міжнародної виставки-конференції Інтертранспорт, 2012, с. 365-368.
10. Оганесян В.Т. Ресурсосберегающие и энергоэффективные конструкторско-технологические решения для портовой гидротехники / М.П. Дубровский, Али Белакруф, Габи Смаил, В.В. Литвиненко, В.Т. Оганесян, В.Е. Калужная // Матеріали ХІІ міжнародної виставки-конференції Інтертранспорт, 2013, с. 366-369.
11. Oganessian V.T. Innovative solutions in the field of geotechnical construction and coastal geotechnical engineering under difficult engineering-geological conditions of Ukraine / N.L. Zotsenko, Y.L. Vynnykov, M.P. Doubrovsky, V.T. Oganessian, V.S. Shokarev, V.L. Syedin, A.V. Shapoval, M.B. Poizner, V.I. Krysan, G.N. Meshcheryakov // Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Vol. 3, France, Paris, 2013, pp. 2645-2648.
12. Oganessian V.T. Some innovative solutions for marine and port engineering / M.P. Doubrovsky, A. Belackrouf, S. Gabi, V.T. Oganessian, V.E. Kaluzhnaya // Матеріали ХІV міжнародної виставки-конференції Інтертранспорт, 2015, с. 300-302

Опубліковані праці, які додатково відображають наукові результати дисертації:

13. Оганесян В.Т. Менеджмент качества высшего образования Украины / Збірник наукових праць 3-ої Всеукраїнської науково-практичної конференції «Інформаційно-вимірювальні технології в метрології, технічному регулюванні та менеджменті якості», Одеса, Україна, 2012, с. 154-157.

АНОТАЦІЯ

Оганесян В.Т. Підвищення несучої здатності анкерних опор воднотранспортних споруд типу «больверк». – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.20 – експлуатація і ремонт засобів транспорту. – Одеський національний морський університет, МОН України, Одеса, 2020.

Робота присвячена створенню та дослідженню анкерного пристрою воднотранспортної споруди типу «больверк» з метою максимальної реалізації резервів несучої здатності споруди при мінімальних витратах матеріалів і ресурсів при проектуванні і будівництві нових конструкцій «больверків», а також при експлуатації та ремонті/реконструкції існуючих.

Досліджений інноваційний (отриманий патент України) анкерний пристрій больверка у вигляді «гребінки» з декількох анкерних плит, з'єднаних загальним сердечником. Цей пристрій у вигляді «гребінки» забезпечує вирішення таких важливих завдань, як підвищення несучої здатності причалів типу «больверк» за рахунок особливостей конструкції (при однаковій матеріаломісткості, що відповідає матеріаломісткості типової конструкції анкерної плити), а також зниження матеріаломісткості (при однаковій несучій здатності, що й у типової конструкції анкерної плити).

Результати експериментального дослідження анкерного пристрою інноваційної конструкції у вигляді «гребінки» підтвердили ефективність нового пристрою в порівнянні з типовою конструкцією анкерної опори (одиначна вертикальна плита).

Аналіз результатів порівняльних розрахунків, виконаних за відомими методами і теоріями, дозволяє зробити наступні висновки:

- Методи, що ґрунтуються на теорії Кулона, а також які уточнюють її в частині розгляду пасивного тиску (тиску опору) ґрунту засипки (зокрема, розробки А.Я. Будіна, З.В. Цагарелі), призводять до заниження значень несучої здатності досліджуваного анкерного пристрою порівняно з експериментально отриманими даними (заниження відзначається в інтервалі 39-69 % в залежності від застосовуваного методу і локалізації плит «гребінки»).

- Методи, засновані на теорії граничного напруженого стану ґрунтового середовища, призводять до суттєвого завищення значень несучої здатності досліджуваного анкерного пристрою в порівнянні з експериментально отриманими даними. Так, при використанні залежностей деяких нормативних документів

завищення значень спостерігається від 59 % до 342 % (в залежності від застосовуваного методу та локалізації плит «гребінки»). В той же час, уточнення цієї теорії, запропоновані П.І. Яковлевим, дозволяють зменшити зазначені завищення до інтервалу 60-123 %.

- Більш наближені до дослідних значень розрахункові результати дає метод скінченних елементів, заснований на застосуванні пружно-пластичної моделі ґрунтового середовища Кулона-Мора (розбіжність з експериментальними даними в бік заниження несучої здатності анкерного пристрою в інтервалі 11-36 % в залежності від локалізації плит «гребінки»).

На підставі чисельного моделювання проаналізовані основні чинники, що визначають несучу здатність як анкерного пристрою, так і всієї споруди в цілому (глибина розташування анкерного пристрою, кут нахилу анкерних плит, кількість плит, висота різних плит в «гребінці» і порядок їх розташування в пристрої). Для конкретних інженерно-геологічних та експлуатаційних умов реального об'єкту (причал № 8 в порту «Південний») виконаний розрахунок основних параметрів і несучої здатності анкерного пристрою у вигляді «гребінки».

Ключові слова: больверк, анкерний пристрій, несуча здатність, лабораторне моделювання, чисельне моделювання.

АННОТАЦИЯ

Оганесян В.Т. Повышение несущей способности анкерных опор воднотранспортных сооружений типа «больверк». – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.20 – эксплуатация и ремонт средств транспорта. – Одесский национальный морской университет, МОН Украины, Одесса, 2020.

Работа посвящена созданию и исследованию анкерного устройства воднотранспортного сооружения типа «больверк» с целью максимальной реализации резервов несущей способности сооружения при минимальных затратах материалов и ресурсов при проектировании и строительстве новых конструкций «больверков», а также при эксплуатации и ремонте/реконструкции существующих.

Исследовано инновационное (получен патент Украины) анкерное устройство больверка в виде «гребенки» из нескольких анкерных плит, соединенных общим сердечником. Устройство в виде «гребенки» обеспечивает решение таких важных задач, как повышение несущей способности причалов типа «больверк» за счет особенностей конструкции (при одинаковой материалоемкости, что соответствует материалоемкости типовой конструкции анкерной плиты), а также снижение материалоемкости (при одинаковой несущей способности, что и в типовой конструкции анкерной плиты).

Результаты экспериментального исследования анкерного устройства инновационной конструкции в виде «гребенки» подтвердили эффективность нового устройства по сравнению с обычной конструкцией анкерной опоры (одиночная вертикальная плита).

Анализ результатов сравнительных расчетов, выполненных по известным методам и теориям, позволяет сделать следующие выводы:

- Методы, основанные на теории Кулона, а также уточняющие ее в части рассмотрения пассивного давления (отпорного давления) грунта засыпки (в частности, разработки А.Я. Будина, З.В. Цагарели), приводят к занижению значений несущей способности исследуемого анкерного устройства по сравнению с экспериментально полученными данными (занижение отмечается в интервале 39-69 % в зависимости от применяемого метода и локализации плит «гребенки»).

- Методы, основанные на теории предельного напряженного состояния грунтовой среды, приводят к существенному завышению значений несущей способности исследуемого анкерного устройства по сравнению с экспериментально полученными данными. Так, при использовании зависимостей некоторых нормативных документов завышение значений наблюдается от 59 % до 342 % (в зависимости от применяемого метода и локализации плит «гребенки»). В то же время, уточнение этой теории, предложенные П.И. Яковлевым, позволяют уменьшить указанные завышения, сводя их к интервалу 60-123 %.

- Более приближенные к опытным значениям расчетные результаты дает метод конечных элементов, основанный на применении упруго-пластической модели грунтовой среды Кулона-Мора (расхождение с экспериментальными данными в сторону занижения несущей способности анкерного устройства в интервале 11-36 % в зависимости от локализации плит «гребенки»).

- На основании численного моделирования проанализированы основные факторы, определяющие несущую способность как анкерного устройства, так и всего сооружения в целом (глубина расположения анкерного устройства, угол наклона анкерных плит, количество плит, высота различных плит «гребенки» и порядок их расположения в устройстве). Для конкретных инженерно-геологических и эксплуатационных условий реального объекта (причал № 8 в порту «Южный») выполнен расчет основных параметров и несущей способности анкерного устройства в виде «гребенки».

Ключевые слова: больверк, анкерное устройство, несущая способность, лабораторное моделирование, численное моделирование.

SUMMARY

Virzhiniia T. Ogenesian An improvement of bearing capacity of anchor bearers of water transport sheet-pile quay walls. – Manuscript.

Thesis for a Candidate Degree in Technical Sciences (PhD): Specialty 05.22.20 – Maintenance and repair of means of transport – Odessa National Maritime University Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2020.

This work is dedicated to creation and research of anchor device of sheet-pile quay walls in order to use fully the reserves of bearing capacity of the structure and in order to minimize materials` and resources` consumption. The aforementioned can be reached during the design and construction of new sheet-pile quay walls, as well as during operation and repair/reconstruction of the existing ones.

An innovative (obtained authorship certificate – patent of Ukraine) anchor device of a «comb»-type made of several anchor plates connected by a common core is investigated. This device provides the solution for both: for increment of bearing capacity of sheet-pile quay walls due to the particular design features (with the same material consumption, which corresponds to the material consumption of a traditional anchor plate design) and for the reduction of material consumption (with the same bearing capacity, as in traditional anchor plate design).

The results of an experimental research of an innovative «comb»-type anchor device confirmed the effectiveness of the new device in comparison with the traditional anchor bearers (of a type of a single vertical plate). It has been found that the depth of immersion of the anchor bearers significantly affects the scale of displacements and the distribution of soil pressure. The bearing capacity of the «comb» increased with an increment of the angle of inclination of the plates, which characterizes the increment of soil resistance (passive pressure) and of the degree of soil consolidation between the plates of the «comb», thereby this is reducing the deformability of the anchor device as a whole. With the displacement of the anchor device on the soil surface appeared bulges, which is consistent with the known data.

Analysis of the results of comparative calculations completed in accordance with the known methods and theories, allows us to make the following conclusions:

- Methods based on the Coulomb theory, as well as the ones refining them in terms of calculation of the backfill soil passive pressure (pressure of resistance) (in particular it is described in works of A. Budin, Z. Cagareli), lead to a decrease of the bearing capacity of anchor device compared to the experimentally obtained data. Underestimation is observed in the range of 39-69 % depending on the method used and the location of the plates «comb».

- Methods based on the theory of critical soil state lead to a significant overestimation of the bearing capacity of the investigated anchor device compared to the experimentally obtained data. Thus, when using the formulas given in regulatory documents, overestimation of values is observed from 59 % to 342 % (depending on the method used and the localization of «comb» plates). At the same time, further refinements of this theory, proposed by P. Yakovlev, allow to reduce these overstatements to the interval of 60-123 %.

- The finite element method, based on the application of the Coulomb-Mohr soil-elastic model provides the results, which are closer to the experimental values (deviation from the experimental data, towards the lowering of the bearing capacity of the anchor device in the interval of 11-36 %).

Based on the numerical modeling, the basic factors that determine the bearing capacity of both the anchor device and the whole structure (the depth of the anchor bearers, the angle of anchor plates` inclination, the number of plates, the height of the various plates in the «comb» and the order of their location in the device) are analyzed. For the specific engineering, geological and operational conditions of the existing terminal (berth No 8 of the port «Pivdennyi»), the basic parameters and bearing capacity of the anchor device of a «comb»-type were calculated.

Keywords: sheet-pile walls, anchoring device, bearing capacity, laboratory modelling, numerical modelling.