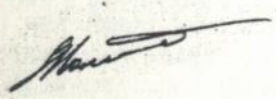


МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ  
КИЇВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БУДІВНИЦТВА І АРХІТЕКТУРИ

на правах рукопису

МОЛОДОРИЧ Олександр Микитович

ВЗАЄМОДІЯ ЦИЛІНДРИЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ  
З РОЗМІВНИМ ДНОМ ВОДОЙМИЩ У ПІСТОЦІ  
РІДИНИ



05.23.16 Гідравліка і інженерна гідрологія

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Київ - 1994

Робота виконана в Інституті гідромеханіки АН України та в  
Полтавському інженерно-будівельному інституті.  
Наукові керівники: - доктор фізико-математичних наук М.В.Салтанов  
- кандидат технічних наук, доцент С.М.Сребнюк.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук, професор, завідувачий  
відділом Київського Інституту гідромеханіки  
АН України М.Г.Пивовар  
- кандидат технічних наук, доцент кафедри  
"Гідравліка і водовідведення" Київського  
Державного технічного університету будівни-  
цтва і архітектури А.М.Кравчук

Провідна установа: - Інститут гідротехніки і меліорації Україн-  
ської Академії аграрних наук

Захист відбудеться "12" жовтня 1994 р. о "13" годині  
на засіданні спеціалізованої вченої ради  
К 068.05.08 Київського Державного технічного  
університету будівництва і архітектури за  
адресою:

252037. м. Київ - 37, Повітрофлотський проспект, 31,  
кімн.466

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці КДТУБіА  
Автореферат розісланий "9" вересня 1994 р.

Відгуки на автореферат у двох примірниках за підписом,  
затвердженим печаткою, прохання надсилати за адресою:  
252037. м. Київ - 37, Повітрофлотський проспект, 31,  
КДТУБіА, Вчена рада.

ВЧЕНИЙ СЕКРЕТАР  
спеціалізованої вченої ради  
кандидат технічних наук,  
професор

В.Ф. Накорчевська

ЛНБ ім. В. Стефаніка  
АН України



## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність теми: Необхідність дослідження і освоєння ресурсів Світового океану підіймає питання створення різноманітних технічних засобів, призначених для розвідки, проведення досліджень і використання перспективних підводних родовищ.

В даний час найрозповсюдженішим видом транспортування нафто- і газопродуктів, а також твердої подрібненої мінеральної сировини є гідротранспорт трубопроводами, які покладені на морське дно, або проходять крізь товщу води.

Застосування різноманітного технологічного і експлуатаційного обладнання неможливе без належного енергетичного зв'язку цього обладнання з плаваючою базою за допомогою мережі підводних кабелів. В цьому випадку підводний кабель, окрім того, що він виступає засобом для розміщення в ньому електропроводів для живлення електродвигунів і інструментів і забезпечує функції підводного зв'язку, призначений також для розміщення в ньому спеціальних каналів для зв'язку з телеапаратурою, контрольними приладами і т. ін.

Найбільш поширеними конструктивними елементами більшості пристроїв, які задіяні в комплексі робіт з використання ресурсів морських родовищ, є жорсткі або гнучкі циліндричні системи.

Особливий інтерес становлять циліндричні системи, траса прокладки яких може проходити рельєфом дна, яке має як рівні ділянки, так і підйоми і схили з різним покриттям (пісок, гравій, глина, мул або скельна основа).

Такі системи під час експлуатації піддаються різноманітним впливам залежно від хвиль, характеру донного ґрунту, підводних течій, які обумовлені фізичним обмінним процесом через місцеві відмінності температури, густини і солоності. Таким чином, циліндрична конструкція витримує при зануренні окрім сил внутрішнього тиску, згинання, скручування також навантаження від зовнішнього впливу середовища, які викликають крутіння, поздовжнє переміщення, температурні розширення, вібрацію і т. ін.

Тому вивчення поведінки цих конструкцій в різних умовах становить значний як науковий, так і практичний інтерес. Визначення надійних умов експлуатації таких систем вимагає детальних експериментальних досліджень в лабораторіях і натурних умовах.

Мета роботи полягала в комплексному експериментальному

дослідженні гідродинамічної взаємодії водного потоку з циліндричним елементом і донним ґрунтом різних фракцій у випадку різного розміщення циліндричної конструкції відносно поверхні дна (поблизу донного ґрунту, безпосередньо на ґрунті і зануреної в донний ґрунт).

#### Наукова новизна роботи:

- встановлені залежності зміни коефіцієнтів гідродинамічних сил при підході циліндричної конструкції до плоскої шорсткої поверхні;

- детально вивчена структура розподілу тиску на поверхні циліндра і шорсткого екрана в малодослідженій придонній області;

- виявлені і проаналізовані аномальні зміни підйомної сили при обтіканні циліндра водним потоком поблизу донного ґрунту;

- досліджений процес розмиву донного ґрунту біля циліндра, що обтікається поперечним придонним потоком;

- запропонований метод розрахунку статичної стійкості циліндричних конструкцій під дією придонних течій;

- досліджені сили, що діють на заглиблені в донний ґрунт гнучкі циліндричні конструкції при їх підйомі з дна;

- запропонований ряд інженерних рішень для стабілізації циліндричних конструкцій на дні водоймища.

#### Практична цінність роботи визначається:

- можливість використати одержані результати для розрахунку величини допустимої придонної зсуваючої швидкості;

- одержані експериментальні дані можуть бути використані при визначенні гідродинамічних навантажень на підводні конструкції та розрахунку їх міцності;

- запропонована в роботі формула дозволяє визначити глибину розмиву ґрунту під укладеною на нього циліндричною конструкцією;

- вивчене явище самозаглиблення циліндричних конструкцій в донний ґрунт дозволяє в процесі їх прокладки зменшити період небезпечного впливу нестационарних навантажень;

- оцінка необхідних зусиль при підйомі циліндричних конструкцій з донного ґрунту дає можливість під час ремонтних робіт передбачити технічні характеристики вантажопідйомних пристроїв.

Одержані результати - нові і можуть знайти застосування при вирішенні задач, пов'язаних з проектуванням протяжних сис-

тем, укладков їх на донний ґрунт і забезпеченням їх довговічності при надійній експлуатації.

На захист виносяться:

- результати експериментального визначення гідродинамічних сил циліндричної конструкції поблизу шорсткої поверхні;
- якісні результати дослідження впливу близькості донної поверхні на розподіл тиску по поверхні циліндра;
- дослідження впливу поперечного (до циліндричної перепони) потоку на переформування дна русла;
- рекомендації до використання результатів дослідження явища самозаглиблення циліндричної конструкції, включаючи конкретні технічні рішення;
- метод розрахунку статичної стійкості циліндричних конструкцій при дії підводних течій з використанням результатів експериментального визначення коефіцієнтів гідродинамічних сил;
- результати досліджень силових характеристик заглиблених в донний ґрунт протяжних циліндричних систем в процесі їх підйому.

Реалізація результатів роботи. Частина результатів експериментальних досліджень дисертаційної роботи використана в науково-дослідницьких розробках, які реалізовані організацією п/с Р6805, що підтверджується актами запровадження науково-дослідницьких робіт. Очікуваний економічний ефект від запровадження результатів досліджень складає 298,5 тис.крб. (в цінах 1990 р.).

Апробація роботи і публікації. За темою дисертації опубліковано 14 друкованих праць, у тому числі одержано два авторських свідоцтва на винахід.

Основні результати досліджень, поданих в дисертації, обговорювались на Республіканських науково-технічних конференціях (м. Київ, 1984, 1987, 1992 р.р.), IV Всесоюзній науково-технічній конференції (м. Горький, 1986 р.), Всесоюзній науково-технічній конференції (м. Миколаїв, 1988 р.), Всесоюзній школі з технічних засобів і методів вивчення океану (м. Геленджик, 1989 р.), Всесоюзній науково-технічній конференції (м. Калінінград, 1990 р.) Республіканській науково-технічній конференції (м. Рівне, 1990 р.), 37-39, 41-45 наукових конференціях професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів і студентів Полтавського інженерно-будівельного інституту (м. Полтава,

1985-1987, 1989-1993 р.р.).

**Структура і обсяг роботи.** Дисертація складається із вступу, семи розділів, висновку і списку використаної літератури. Робота викладена на 182 сторінках, включаючи 142 сторінки машинописного тексту, 64 рисунка і 4 таблиці. Бібліографія налічує 130 назв.

#### ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ.

Оскільки малюнок обтікання циліндра та інших поганообтічних тіл поблизу поверхні (межі) значно відрізняється від ситуації обтікання таких тіл потоком рідини в безмежному просторі, то велика увага в роботі приділяється огляду відомих напрямків, методів і результатів досліджень, які присвячені вивченню процесів обтікання циліндра в не обмежених потоках. Особливо розглядаються ті напрямки, в яких вивчався характер обтікання підводної конструкції поблизу плоского екрана, як "гладкого" так і шорсткого, а також висвітлюються питання взаємодії потоку рідини і підводної конструкції на процес переформування донної поверхні водою.

Аналіз літературних джерел свідчить, що на значну кількість питань в галузі обтікання циліндричних тіл потоком рідини (особливо безмежним) отримані досить вичерпні відповіді. Детальні дослідження цієї тематики здійснювались, починаючи з Л.Прандтля, такими вченими як А.Таусент, Д.Шеккелс, А.Окаяма, Ф.Ануглі, Т.Сарпкая, Д.В.Штеренліхт, С.И.Девнін, С.М.Горлін та інші. Значно менше робіт присвячених експериментальному дослідженню обтікання циліндра поблизу плоскої шорсткої поверхні. За результатами відомих досліджень ця ділянка обтікання циліндра придонним потоком залишається на цей час найменш вивченою. Дані цих досліджень нерідко суперечливі. Окрім того, у більшості випадків обтікання циліндра велось поблизу поверхні, яка являє собою гідравлічно гладкий екран, або екран, що має незначну шорсткість (Бірман Р.В., Зправкович М.М., Коваленко В.М., Диковська Н.Д. і ін.).

Питанню вивчення місцевого розмиву донного ґрунту в зоні циліндричної перешкоди (здебільшого вертикальної), процесу переформування донної поверхні присвячені праці таких відомих

вчених як С.М. Лоурсен, І. Ларрас, Б. Мелвіл, Еттема, І.І.Лсві, В.С.Муромов, В.О. Большаков, О.В.Андрєєв, В.С.Алтунін та інші.

Однак, лише поодинокі праці присвячені безпосередньому впливу горизонтальної перешкоди на процес переформування донної поверхні або підйому занурених в донний ґрунт циліндричних конструкцій.

Все це зумовило напрямок досліджень, яким присвячена робота. Експериментальні дослідження проводились в лабораторії гідравліки Полтавського інженерно-будівельного інституту. Якісне дослідження гідродинамічних характеристик циліндричних конструкцій в різних умовах обтікання зажадало розробки і створення спеціальної комплексної експериментальної установки (Рис. 1), яка оснащена високочутливою тензOMETричною системою, що дозволяє вести досліди досить широкого обсягу при мінімальному її переналадженні.

Особливу увагу приділено питанням розробки моделей протяжних циліндричних конструкцій (Рис. 2), донних ґрунтів, детально розкриті їх конструктивні характеристики. В даній роботі донна поверхня моделювалась металевими листами із штучною шорсткістю в широкому діапазоні  $k = 0,1 + 40$  мм. При цьому в ролі скального ґрунту використовувались асбоцементні або металеві плити. Інші види донних ґрунтів моделювались металевими листами з нанесеними на їх поверхню сіяними фракціями: пісок - 4 фракції ( $d_n < 0,25$  мм;  $0,25 + 0,5$  мм;  $0,5 + 1,0$  мм;  $1,0 + 2,0$  мм), гравій - 3 фракції ( $d_{гр} = 2 + 5$  мм;  $5 + 10$  мм;  $10 + 20$  мм) і галька ( $d_p = 20 + 40$  мм).

За результатами досліджень визначені інтегральні характеристики обтікання циліндра з допомогою тензOMETрії. Досліди велись в автомобільній докритовій зоні обтікання при числах  $Re = (2+6)10^4$ .

Конструкція експериментальної установки дозволяла здійснювати дослідження обтікання моделі в діапазоні  $h = h/d = 0+4d$ , де  $h$  - відстань від нижньої твірної моделі до поверхні екрана.

Одержані коефіцієнти гідродинамічних сил при обтіканні циліндра в безмежному потоці (сили лобового опору і підйомної сили) співпадають із загальновідомими, а саме  $C_x = 1.2$  і  $C_y = 0$ . Однак картина обтікання циліндра поблизу поверхні суттєво змінюється. Аналіз одержаних залежностей  $C_x = f(h)$  і  $C_y = f(h)$  показує, що у всіх випадках значення  $C_x$ , починаючи з

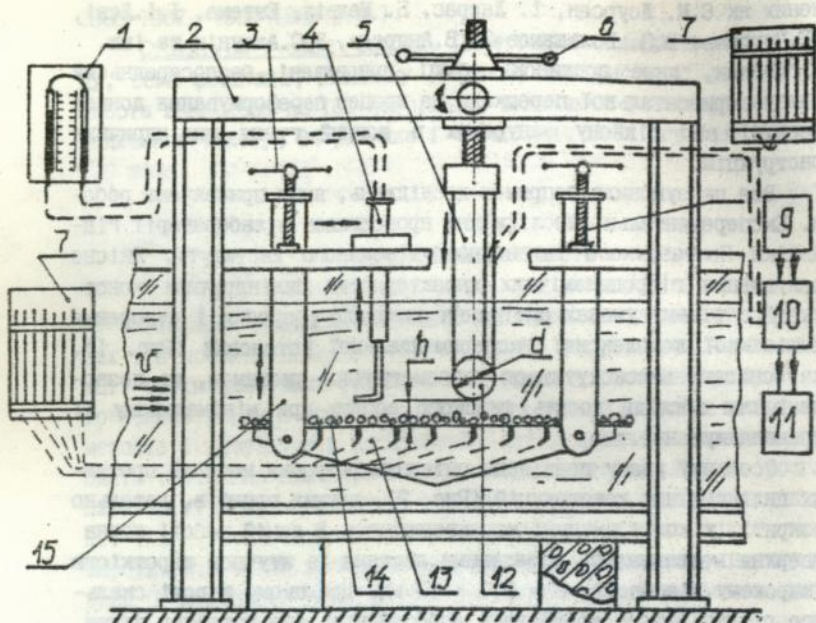


Рис.1 Схема експериментальної установки дослідження гідродинамічних характеристик циліндричних конструкцій

1 - мікроманометр; 2 - каркас; 3 - механізм підйому фальшдна; 4 - трубка Піто-Ребока; 5 - ніж; 6 - маховик; 7 - батарея п'езометрів; 8 - гвинт; 9 - блок живлення; 10 - тензопідсилювач; 11 - реєструючий прилад; 12 - досліджувана модель; 13 - каркас фальшдна; 14 - донний ґрунт; 15 - підвіска фальшдна.

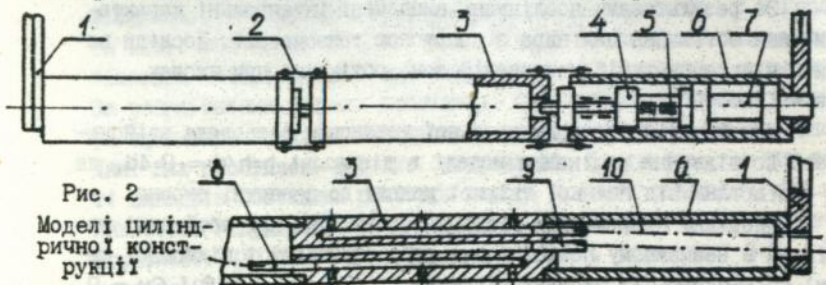


Рис. 2  
Моделі циліндричної конструкції

1 - ніж; 2 - герметична резинова оболонка; 3 - досліджувана ділянка моделі; 4 - двокомпонентні тензотерези; 5 - тензодатчики; 6 - бокові ділянки моделі; 7 - стержень; 8 - трубка повного тиску; 9 - трубка статичного тиску; 10 - резинові трубки/сполуччі/

відстаней  $h \geq 1.0$ , розташовуються нижче  $C_x = 1.2$ , (що не су-перечить даним інших дослідників), хоча й мають тенденцію до зростання, тобто значенню  $C_x$  в безмежному просторі. При зменшенні зазору до значень  $0.5 < h < 1.0$  спостерігається деяке збільшення коефіцієнта  $C_x$  за рахунок впливу твердої межі, що сприяє появі на передній частині відбитих ефектів. Починаючи з  $h \leq 0.4$  спостерігається зменшення значення  $C_x$ , оскільки нижня частина моделі попадає на ділянку потоку меншої інтенсивності.

На рис. 3 подані залежності  $C_x = f(h)$  і  $C_y = f(h)$  за результатами обтікання циліндра поблизу скельного ґрунту.

Для поверхонь, які моделюють пісок, гравій і гальку, залежності  $C_x = f(h)$  носять подібний характер.

Значну увагу в дослідженнях було приділено впливу близькості шорсткої донної поверхні на поведінку підйомної сили  $C_y$ . Якщо при наближенні моделі до скельного ґрунту коефіцієнт підйомної сили  $C_y$ , починаючи з  $h < 2.5$ , плавно збільшувався від 0 до значення  $C_y \approx 0.5$ , то вплив на  $C_y$  інших ґрунтів виявився дещо іншим.

При проведенні дослідів з використанням екрана, покритого піском великих фракцій, гравієм або галькою, в зоні  $0.1 < h < 0.4$  спостерігається зменшення значення коефіцієнта  $C_y$  аж до виникнення негативної підйомної сили. При підході до ґрунту циліндрична конструкція попадає в сферу обтікання, в якій шорсткість фракцій ґрунту здійснює вплив на турбулентність потоку в зазорі і конструкція в такому випадку обтікається по верхній і нижній поверхнях потоками з різними ступенями турбулентності.

В підсумку дослідів показали суттєву різницю в обтіканні циліндра в безмежному потоці і біля екрана. Цей факт повністю підтверджує більш ранні роботи інших авторів. Істотний вплив шорсткості екрана на гідродинамічні характеристики циліндра, виявлений в роботі, є вагомим доповненням до подібних досліджень, які ведуться в цій сфері. Експерименти підтвердили появу від'ємної підйомної сили залежно від розмірів фракцій ґрунту, який покриває екран при наближенні до нього в діапазоні  $0.1 < h < 0.4$ .

Поява такої ситуації з одного боку сприяє росту напружень в тілі конструкції, яка укладається. Але слід відзначити, що її стійкість під впливом придонних потоків збільшується за рахунок притискування до ґрунту.

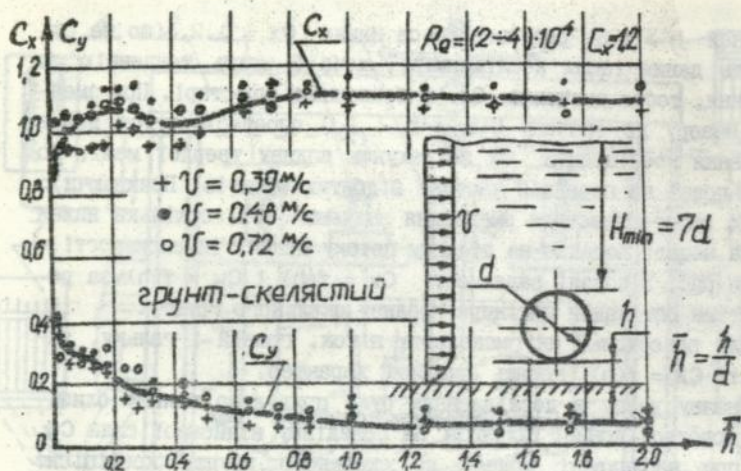


Рис. 3 Гідродинамічні характеристики циліндра поблизу скелястого донного ґрунту

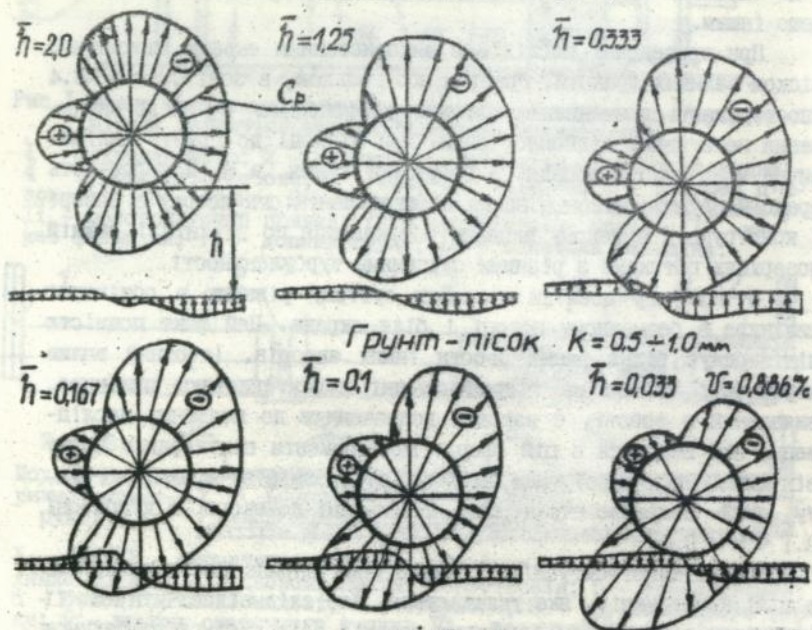


Рис. 4 Залежність  $C_p = f(\bar{h}, k)$

Даючи кількісну оцінку одержаним в процесі дослідів результатам (визначення безрозмірних коефіцієнтів  $C_x$  і  $C_y$ ) тензометричні виміри не в повній мірі розкривали суть явищ, що відбувалися.

В зв'язку з цим великий інтерес викликають дослідження розподілу тиску на поверхні циліндра, який обтікається потоком. Досягненню цієї мети сприяли так звані "перфоровані" моделі, які дозволили визначити додатний і від'ємний тиск в кожній точці кола досліджуваного перерізу циліндра, зміщення зон тиску при підході моделі до донної поверхні, зростання або зниження тиску в будь-якій її точці. Таким же чином, розглянувши розподіл тиску на поверхні екрана, до якого наближається циліндрична конструкція, можна зробити висновок про явища, що відбуваються в ділянках екрана, куди покладається конструкція. Такі відомості дозволяють передбачити ситуацію, яка характеризує занурення конструкції в ґрунт або оголення заглибленої конструкції.

Досліди показали, що при підході циліндра до донного ґрунту відбувається поступове переформування епюри тиску на його поверхні (Рис. 4). Помітне зміщення ділянки від'ємного тиску і ріст його значення в нижній частині при зменшенні  $h$ . Що стосується розподілу тиску на екрані, то необхідно відзначити, що у всіх випадках він додатний ( $C_{p_{max}} \approx 0.1$ ) перед циліндром і від'ємний за його міделевим перерізом.

Дослідження з використанням пневмометрії також підтвердили суттєвий вплив шорсткої донної поверхні на гідродинамічні характеристики циліндра, що обтікається. На рис. 5 подані результати дослідження розподілу відносного тиску  $C_p$  на поверхні циліндра поблизу поверхні ( $h = 0.1$ ) з різним донним ґрунтом. Із збільшенням характерних розмірів фракцій ґрунту епюра розподілу тиску суттєво змінює свою форму. При підході циліндра до екрана відмічається зміщення зони додатного тиску на фронтальній поверхні циліндра від симетричного положення вниз, в бік екрана, причому зміщення йде з розширенням зони додатного тиску на нижній поверхні циліндра. Розгорнуті графіки залежності  $C_p = f(h, k, \varphi)$  дозволили визначити кути відриву потоку на циліндрі, розташованого поблизу екрана ( $0.03 < h < 0.5$ ) і встановити, що на верхній поверхні  $\varphi_{в.о.р} = 80+90^\circ$ , що характерно для докризового режиму, а на нижній поверхні  $\varphi_{в.о.р} = 100+105^\circ$ , що характерно для кризи обтікання.

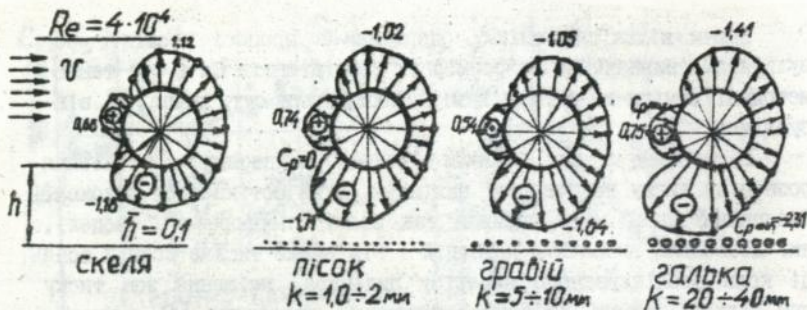


Рис. 5 Розподіл тиску по поверхні циліндра

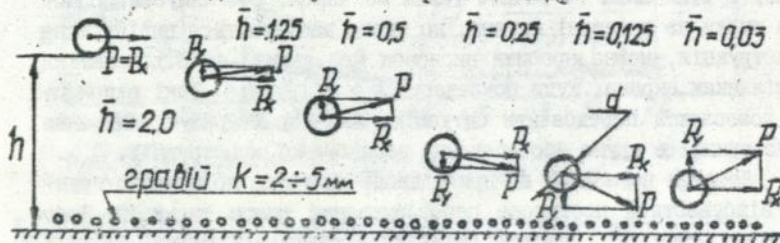


Рис. 6 Співвідношення сили лобового опору та підйомної сили

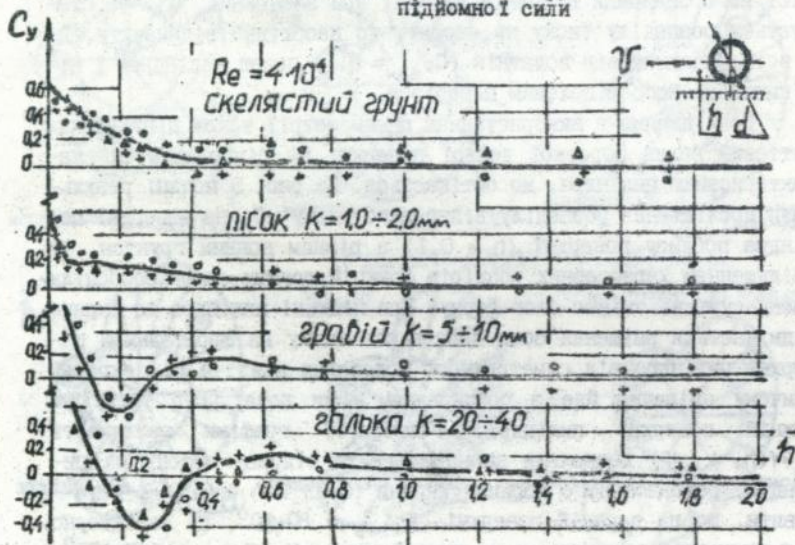


Рис. 7 Залежність  $C_y = f(\bar{h}, k)$

Таким чином, в цих умовах реалізується комбінація докризового і кризового режимів, що призводить до змін підйомної сили  $P_y$  (рис. 6).

Знання величини і напрямку гідродинамічних сил є важливим чинником для вирішення низки практичних задач, зокрема, для вивчення стійкості підводних циліндричних конструкцій, які укладаються на донну поверхню.

Аналіз і узагальнення матеріалів викладених вище дослідів дозволили побудувати результуючі залежності  $C_x = f(h, k)$  і  $C_y = f(h, k)$ , які подані на рис. 7. Остання залежність наочно показує всі стадії трансформації коефіцієнта підйомної сили  $C_y$  при обтіканні підводної циліндричної конструкції поблизу донної поверхні.

Подальші досліди ставили за мету вивчення процесів розмиву донного ґрунту на ділянці укладки циліндричної конструкції, заглиблення її в ґрунт і переформування донної поверхні під дією водного потоку. Таким чином здійснювався поступовий перехід в питанні вивчення взаємодії циліндра з поверхнею як штучної шорсткості, так і з реальною поверхнею, основною складовою частиною якої є пісок різних фракцій.

Досліди проводились за різними методиками, які дозволяли поступово аналізувати те чи інше явище. В одному випадку модель конструкції розміщувалась на різних відстанях  $h$  від донної поверхні аж до дотику, в іншому – покладалась безпосередньо на донний ґрунт. У першому випадку (рис.8) досліджувався розмив в зоні укладання циліндричної конструкції, аналізувався процес переформування донної поверхні в часі, визначались вектори швидкостей потоку в різних перерізах вздовж дна русла. В іншому випадку дослідження встановили і вивчали явище самозаглиблення циліндричної конструкції (рис.9) в донний ґрунт (пісок  $\Delta=0.25 + 2.0$  мм)

Дослідження показали, що за 3 години обтікання циліндра потоком при швидкості  $V = 0.3$  м/с заглиблення циліндра досягло значення  $0.5 d$ , а його зміщення назустріч потоку склало  $0.1 d$ . Рельєф донної поверхні при цьому зазнав суттєвих змін на відстанях до  $3d$  вгору по потоку і до  $5 d$  вниз по потоку.

Аналіз результатів численних досліджень дозволив автору запропонувати формулу для визначення глибини занурення циліндричної конструкції  $y_{max}$  в донний ґрунт

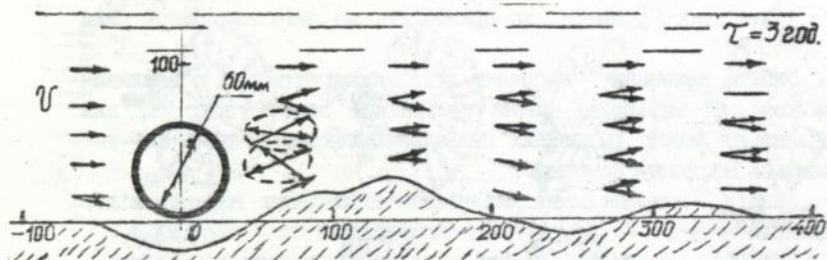


Рис. 8 Розмив донного ґрунта під циліндром

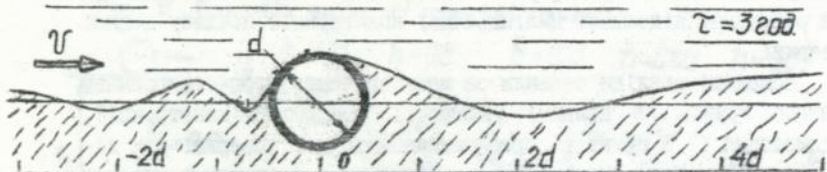


Рис. 9 Самозаглиблення циліндра в донний ґрунт

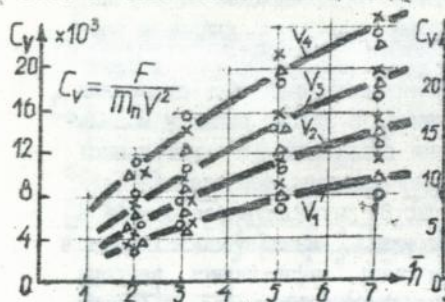


Рис. 10 Залежність  $C_v = f(\bar{h})$

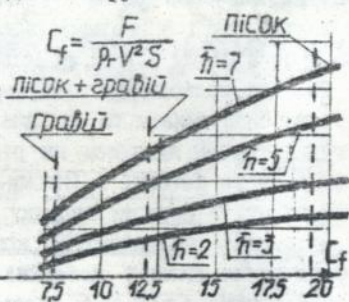


Рис. 11 Залежність  $C_v = f(C_f)$

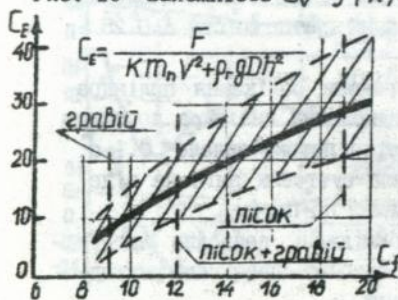


Рис. 12 Залежність  $C_E = f(C_f)$

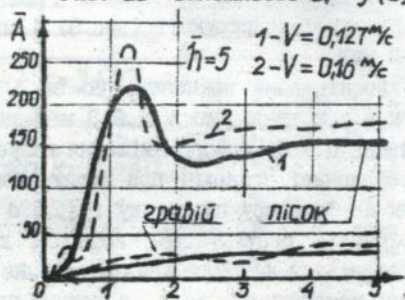


Рис. 13 Залежність  $\bar{A} = f(t, V)$

$$\frac{u_{\max}}{d} = 0.393 \left( \frac{v^2}{2 g \Delta} \right)^{0.1} \quad (1)$$

Оскільки ефективність довільного самозаглиблення циліндричної конструкції в ґрунт недостатня, то в подальшому дослідним шляхом і аналізом результатів досліджень доведена можливість інтенсифікації процесу самозаглиблення циліндричної конструкції в донний ґрунт шляхом встановлення на ній спеціальних бандажів (що регулюють зазор між конструкцією, яку укладають, і донною поверхнею). В результаті застосування подібних бандажів час заглиблення циліндричної моделі скоротився більше ніж в 10 разів з одночасним збільшенням глибини розмиву ґрунту (зануренням в нього моделі на глибину до 0.7 d). Інтенсифікація процесу самозаглиблення дозволить значно скоротити час дії на конструкцію нестационарних навантажень.

З одного боку явище самозаглиблення досить вигідне, оскільки без додаткових витрат дозволяє захистити підводну конструкцію. З другого боку, воно ускладнює проведення ремонтних операцій, потреба в яких виникає досить часто. Тому значна увага в роботі приділена визначенню сил, необхідних для підйому гнучких циліндричних конструкцій з донного ґрунту.

При цьому досліджувались елементи циліндра і протяжні системи, занурені в донний ґрунт різних фракцій. В ролі протяжних систем використовувалися подовжні ділянки (довжиною 5 м) промислового кабеля різних діаметрів з гумовим ізоляційним покриттям, які засипалися різними видами ґрунтів (пісок, гравій і суміш піску з гравієм) товщиною до 0.7 d.

Для аналізу одержаних результатів були введені такі безрозмірні параметри, які могли б повніше описати процес формування силової дії ґрунту на підйом кабеля. Одним із таких параметрів, який відповідає критерію Н'ютона, був коефіцієнт  $C_v$

$$C_v = \frac{F}{m_n v^2} \quad (2)$$

де  $F$  - зусилля підйому,  $v$  - швидкість підйому кабеля,  $m_n$  - погонна маса кабеля.

На рис. 10 і рис. 11 за результатами досліджень подані відповідні залежності  $C_v = f(h)$  і  $C_v = f(C_r)$ , які вказують на значний ріст зусиль підйому при збільшенні заглиблення конст-

рукці або зменшенні характерних розмірів фракцій ґрунту (зростання коефіцієнту  $C_f$ , який характеризує роботу, що затрачається на подолання сил тертя і зміну структури ґрунту). Остання обставина пояснюється явищем "присмоктування" моделі до вологого дрібнозернистого ґрунту. При підйомі конструкції в такому середовищі спостерігається злипання частинок піску між собою і в початковий момент підйому разом з конструкцією підіймається увесь верхній шар піскової суміші, утворюючи пустоти, куди завдяки щільності піщаного шару не встигає дійти вода, викликаючи розрідження, яке сприяє утриманню моделі. Це зумовлює збільшення сили підйому конструкції.

Аналіз результатів досліджень з урахуванням характерних параметрів кабеля і ґрунту дозволив побудувати залежність  $C_E = f(C_f)$  (рис. 12), яка дає можливість використати одержані дані для розрахунку потужності та інших силових характеристик підйомних пристроїв. Приклад такого розрахунку запропонований в даній роботі.

Окрім цього, дослідження показали, що початкове (пікове) зусилля відриву кабеля від ґрунту в кілька разів, а інколи і на порядок перевищує вагу ділянки кабеля, яка підіймається, і покриваючого його ґрунту (рис. 13). При цьому час перебування конструкції в ґрунті суттєвого впливу не має.

Результати комплексних досліджень дозволили запропонувати інженерний метод розрахунку статичної стійкості підводних циліндричних конструкцій при дії водних потоків.

При цьому з урахуванням відомих співвідношень, діючих на підводну конструкцію сил, розглядаються всі чинники, що впливають на стійкість конструкції, уточнюються рівняння, що описують умови стійкості і міцності конструкції під дією нестационарних навантажень. Використовуючи результати попередніх досліджень (коефіцієнти гідродинамічних сил  $C_x$  і  $C_y$ ), а також беручи до уваги умови розміщення конструкції на різних ґрунтах (коефіцієнт тертя  $f$  і коефіцієнт  $n$ , який характеризує умови стикування підводної конструкції з ґрунтом), автор пропонує формулу для визначення критичної швидкості потоку, при якій конструкція втрачає стійкість (швидкість зсуву):

$$v_{зс} = \sqrt{\frac{2 n f G}{\rho d \cdot (C_x + n f C_y)}} \quad (3)$$

Порівнюючи вираховане за формулою (3) значення  $V_{sc}$  із швидкостями, які виявлені на трасі укладення, можна визначити небезпечні ділянки нестійкого положення системи, що укладається. Стосовно до ґрунту, який покриває цю ділянку, можна передбачити відповідне інженерне рішення для забезпечення потрібної стійкості конструкції. Зокрема, таким вирішенням може бути збільшення ваги  $G$  конструкції за рахунок застосування додаткових вантажів. Таким чином, збільшується запас стійкості.

На підставі результатів проведених досліджень запропоновані конструктивні рішення, які забезпечують стабілізацію підводної конструкції на донному ґрунті, або зменшують дію нестационарних навантажень на конструкцію в процесі її укладення. Це різного роду обтічники, які розміщуються на поверхні циліндричної конструкції під час її укладення. При контакті з донною поверхнею забезпечують нерухомість конструкції на ґрунті. Подані також інженерні пропозиції щодо пристосувань, які сприяють інтенсифікації процесу самозаглиблення циліндричної конструкції в донний ґрунт. Частина цих пропозицій захищена авторськими свідоцтвами.

## ОСНОВНІ ВИСНОВКИ

1. Одержані значення гідродинамічних сил (коефіцієнта лобового опору і коефіцієнта підйомної сили) при обтіканні циліндричного елемента поблизу плоского шорсткого екрана аж до дотику циліндром цієї поверхні. При цьому виявлені суттєві зміни цих коефіцієнтів від їх значень в необмеженому потоці. Встановлено, що при зазорах менше ніж 0,4 діаметра циліндра має місце явище притягування циліндра до екрана, причому процес обтікання супроводжується сильною нестационарністю.

Важливим є той факт, що в роботі, на відміну від ранніших досліджень, вивчена і проаналізована зміна гідродинамічних коефіцієнтів залежно від характерних розмірів фракцій донного ґрунту.

Ці дослідні дані важливі при розробці інженерних заходів щодо зниження вібрації конструкції та зменшення нестационарних процесів.

2. Проведені досліді з вивчення взаємодії циліндра з роз-

мивним донним ґрунтом та процесу його самозаглиблення. Досліджене явище, яке характеризується тим, що при наявності придонних потоків підводна конструкція самозанурюється в донний ґрунт на значну глибину. Оскільки цей процес досить важливий з точки зору зниження будівельних витрат, спрямованих на штучне занурення конструкції в ґрунт, то досліди проводились також з метою інтенсифікації процесу самозаглиблення підводної конструкції в донний ґрунт.

3. Запропоновані конструктивні інженерні заходи, які підвищують стійкість підводної протяжної конструкції при попаданні її на тверду поверхню, знижують нестационарні явища і, таким чином, дозволяють уникати аварійних ситуацій.

4. Визначені силові характеристики занурених в донний ґрунт циліндричних конструкцій при підйомі, наприклад, заміні зіпсованої певної ділянки протяжної системи. Виявлено, що в початковий момент підйому із піщаного ґрунту конструкції зусилля відриву її від ґрунту за рахунок "засмоктування" збільшується в десятки разів. Ці відомості важливі для вибору необхідного аварійного технологічного силового обладнання і розробки відповідних інженерних заходів, які сприяють зменшенню цього зусилля.

5. Запропонований ряд конструктивних рішень, які сприяють зменшенню вібрації протяжної системи, пов'язаної із зривом вихорів потоку при укладенні підводної конструкції і, одночасно, підвищуючих стійкість її при дії придонних потоків.

6. Розроблені універсальні установки для проведення експериментальних досліджень обтікання циліндра поблизу екрана; занурених в ґрунт конструкцій; для вивчення силових характеристик взаємодії циліндра з донним ґрунтом.

Розроблені моделі протяжних підводних конструкцій (трубопроводів, кабелів зв'язку і т.ін.), які дозволяють під час дослідів виключати побочні ефекти впливу границь гідроканалу.

7. На основі одержаних даних уточнені рівняння, які описують стійкість підводної конструкції і запропонований метод розрахунку статичної стійкості конструкції при дії на неї придонних потоків.

Одержані в дисертаційній роботі результати можуть бути рекомендовані для використання при проектуванні, укладенні і експлуатації протяжних підводних систем на дні морських акваторій і на підводних переходах через різноманітні водні перепони.

Головні результати дисертації надруковано в роботах:

1. Сребник С.М., Молодорич А.Н., Цепуренко С.В. Об устойчивости цилиндрических конструкций при воздействии придонных потоков. - Полтава: 1986, - 10 с. /Рук. деп. в Укр.НИИТИ 2.10.86 г., № 2386 - Ук.87г./.

2. Сребник С.М., Молодорич А.Н., Цепуренко С.В. О гидравлических характеристиках цилиндра вблизи плоского шероховатого экрана. - Полтава: 1987, - 24 с. /Рук. деп. в Укр.НИИТИ 11.06.87 г., № 1640 - Ук.87г./.

3. Сребник С.М., Молодорич А.Н., Кононенко В.П. Расчет устойчивости подводного трубопровода, уложенного на морское дно. // Проблемы гидромех. в освоении океана. 4.1. Тезисы доклада IV Республ. конф. по приклад. гидромех. Часть II. - Киев: ИГМ АН УССР, 1987. с. 205 - 207.

4. Сребник С.М., Молодорич А.Н., Горбань В.А., Забора В.В. Экспериментальные исследования отрывного обтекания цилиндра вблизи плоского шероховатого экрана. // Совершенствование средств и методов экспериментальной гидромеханики судна для развития научного прогресса в судостроении. Тезисы докладов Всесоюзной научно-технической конференции. - Л.: Судостроение. 1988, - с. 138 - 139.

5. Сребник С.М., Молодорич А.Н., Забора В.В., Цыганник А.И. О взаимодействии цилиндра с податливой поверхностью. // Тезисы докл. IV Всесоюзной научно-технической конференции. - Николаев: 1988, - с. 120-121.

6. А. с. № 271940. МКИ В 63 в 21/00. Способ укладки подводного кабеля и устройство реализации его. /Молодорич А.Н. и др.(СССР), 1988.

7. А. с. № 287978. МКИ В 63 в 21/00. Обтекатель-стабилизатор. /Молодорич А.Н. и др.(СССР), 1989.

8. Сребник С.М., Молодорич А.Н. Расчет устойчивости трубопровода при воздействии водных потоков. // Интенсификация строительного производства. Тезисы докладов областной научно-технической конференции. - Полтава: 1989. - с. 41-46.

9. Сребник С.М., Молодорич А.Н., Сребник В.Н. Исследование процесса самозаглубления подводных протяженных систем в донный грунт. // Сборник тезисов докладов Всесоюзной школы по техниче-

ким средствам и методам изучения океана.-М.: 1989.-с.189.

10. Сребник С.М., Молодорич А.Н., Сребник В.Н. Гидромеханизация заглубления трубопровода в дно водного перехода.// Механизация производственных процессов в водохозяйственном строительстве. Тезисы докладов научно-техн. конф.-Ровно: 1990.-с. 37.

11. Сребник С.М., Молодорич А.Н., Горбань В.А., Сребник В.Н. Некоторые вопросы динамики заиленных подводных цилиндрических конструкций.-В кн.: Повышение эффективности экспериментальных исследований гидродинамики судна для решения задач в судостроении. Доклады Всесоюзной научно-технической конференции.-Л.: Судостроение. 1991.-с.158-163.

12. Молодорич А.Н. Пути снижения строительных затрат при прокладке трубопроводов через водные преграды.// Снижение материалоемкости и трудовых затрат в строительстве. Сб. науч. тр.-К.:УМК ВО, 1991.-с. 178-182.

13. Сребник С.М., Молодорич А.Н., Горбань В.А., Салтанов Н.В. Экспериментальные исследования обтекания цилиндрических конструкций вблизи морского дна // Проблемы гидромех. в освоении океана. Тезисы докл. У Республ. конф. по прикладной гидромеханике. Киев: ИГМ АН УССР, 1992.-с.84-85.

14. Сребник С.М., Молодорич А.Н. Повышение эффективности прокладки подводных трубопроводов.// Конструкции зданий и строительное производство. Сб. науч. тр.-К.: ИСПО, 1993.-с.14-20.

Підписано до друку 7.09.94р. Формат 60x84 1/16. Папір друкарський.  
Друк плоский. Умовн. друк. арк. 1. Замовлення №978. Тираж 101.  
Безкоштовно. Дільниця оперативного друку статистичного управління  
Полтавської області. м. Полтава, вул. Пушкіна, 103.

- на тротуарах и улицах изучены также... 1959-с.120.
10. Средин С.М., Мамонтов А.Н., Средин В.И., Гидра-  
 меканика грубопроточных и тонко проточных... // Ме-  
 теорологические процессы в водно-земельном стро-  
 ении. Тезисы докладов научно-иссл. конф., Минск, 1961, с.  
 37.
11. Средин С.М., Мамонтов А.Н., Горбачев В.А., Средин  
 В.И. Некоторые вопросы динамики малых гидротехни-  
 ческих конструкций. - 3 кн. : Изучение эффективности гидроэнергетиче-  
 ских установок гидротехнических сооружений при разных условиях в стро-  
 ении. Доклады Всесоюзной научно-технической конференции.  
 - 4. : Строительство, 1961, - с.158-163.
12. Мамонтов А.Н. Пути развития строительного сектора при  
 развитии гидроэнергетики через малые проекты. // Развитие малой  
 гидроэнергетики и других отраслей в строительстве. Сб. науч. тр.  
 - 4. : ВМХ №, 1961, - с. 176-182.
13. Средин С.М., Мамонтов А.Н., Горбачев В.А., Средин  
 В.И. Вопросы динамики малых гидротехнических  
 сооружений малых размеров. // Проблемы гидротехн. в совре-  
 менном мире. Минск, изд. УРСУ, 1962, - с. 64-65.
14. Средин С.М., Мамонтов А.Н. Изучение эффективности  
 работы малых гидротехнических сооружений. // Развитие малой гидро-  
 энергетики. Сб. науч. тр. - 4. : ВМХ, 1961, - с.14-20.

Получено в печать 15.08.62 г. Объем 100 л. 1/16 листа формата  
 210х285 мм. Тираж 100 экз. Цена 100 руб. 100 экз. 100 руб.  
 Подписано в печать 15.08.62 г. Объем 100 л. 1/16 листа формата  
 210х285 мм. Тираж 100 экз. Цена 100 руб. 100 экз. 100 руб.



AB 30.938

**AB 30.938**