

Українська інженерно - педагогічна академія

На правах рукопису.

КАДУТІН Євген Олександрович

**СТАТИЧНІ І ДИНАМІЧНІ НАВАНТАЖЕННЯ В КАНАТАХ ПІДЙОМНИХ
ЛЕВІДОК ПРИ РУСІ КАНАТУ З ЗАНТАЖЕМ У В'ЯЗКУМУ СЕРЦЮВИДІ.**

Спеціальність: 05.05.05-підійомно-транспортні машини.

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня

кандидата технічних наук

Харків

1995



00777961 (.)

Дисертація в укр. мові

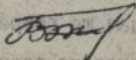
Робота виконана в Севастопольському державному технічному
університетіНауковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Ветров Олександр ПетровичОфіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Дворніков Володимир Іванович
доктор технічних наук
Калюх Юрій Іванович

Прогідна організація: Підприємствотехцентр

Захист відбудеться " 24 " березня 1995 р. о " 13 " год.
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 02.10.01 в Україн-
ській інженерно-педагогічній академії

за адресою: 310000, м.Харків, вчл. Університетська, 16.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці академії.

Автореферат розісланий " 24 " лютого 1995 р.Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради  В.М.БеспалєвЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ.

Актуальність. Підійсно-транспортні системи, у яких використовуються вантажо несучі гнучкі елементи (ВГЕ) для буксирування об'єктів у зв'язному середовищі (рідина або газ) застосовуються в промисловому риболовстві, при проведенні морських геофізичних і геохімічних досліджень, для виробництва пошукових робіт і розробки корисних копалин на континентальному шельфі. Підвищення швидкості транспортування і розмірів об'єктів що буксируються, зростання тягових зусиль спуско-підйомних установок (СПУ) призвело до зростання статичних і динамічних навантажень на різні елементи підйомно-транспортних систем і, головним чином, на ВГЕ.

Забезпечення міцності і надійності канатів, а також з'єднаних з ним елементів спуско-підйомної установки, пов'язане з удосконаленням математики цих моделей, що відображають поведінку гнучких елементів у зв'язному потоці, розробкою ефективних методів розрахунку статичних і динамічних зусиль в ВГЕ для стаціонарних і нестаціонарних режимів руху.

Розрахунок зусиль в канатах спуско-підйомних установок, підйомно-транспортних систем (буксировані системи -БС) присвячені багаточисельні дослідження (відомі наукові школи Києва, Москви, Санкт-Петербурга, США, Голандії та інш. держав), однак багато задач ще потребують вирішення.

Найбільш докладно розроблені методи вирішення задач про статичну рівновагу каната в стаціонарному потоці. Існуючі методи мають суттєвий недолік, відсутні оцінки погрешності. Специфіка задач розрахунку динамічних зусиль пов'язана з необхідністю використання складних математичних моделей.

Вже при порівняно великих довжинах каната поведінка БС визначається як параметрами бусированого об'єкта, так і параметрами самого каната, рух якого описується рівняннями в окремих похідних. Аналіз таких моделей має значні обчислювальні труднощі. Розробка моделей, швидких алгоритмів аналізу стаціонарних і нестаціонарних режимів руху БС при проектуванні і експлуатації ЛПУ востаєся актуальною задачею.

Мета роботи. Розробка моделей стаціонарних і нестаціонарних режимів роботи ВРЕ СЛ/ під час руху у в'язку середовищі, приблизних методів і швидких алгоритмів розрахунку статичних і динамічних зусиль в канатах спуско-підйомних пристроїв; експериментальна перевірка адекватності розроблених методів; створення пакету прикладних програм для системи автоматизованого проектування вантажопідйомних установок БС.

Наукова новизна полягає в розробці методів розрахунку статичних і динамічних зусиль в канатах спуско-підйомних установок спеціального призначення.

Розроблений приблизний метод розрахунку статичного натягу і форми каната в стаціонарному в'язку потоці. Створений метод оцінки погрешності приблизного рішення задачі про статичну рівновагу каната у сталому потоці. Вирішена задача розрахунку динамічних зусиль в системі канат-підводний об'єкт з урахуванням спільної качки судна-транспортувальника і бусированої системи на регулярному хвилюванні. Одержана математична модель руху каната перемінної довжини з вантажем у рідині.

Практична значимість. Результати теоретичних досліджень

покладені в основу пакетів прикладних програм САІР.

Реалізація результатів. Метод розрахунку латичного натягу і форми каната в стаціонарному потоці зображені в методиці розрахунку горизонту ходу різногладкого троса (з оглядом від швидкості тросу і довжини витравлених вагерів). Методика включена в "Методически указания по технической эксплуатации тросов на судах прибрежного рыболовства (133.0 268. 027086. ШКТВ "Азчеррыба)". Програми розрахунку пає метрів гнучких елементів в умовах субвертикального і повітряного буксирования використані в Краснодарському філіалі НДІ Морефізика для розробки перспективних методів газо-газополукових робіт на мілководних ділянках акваторій.

Апробація. Основні результати доповідалися на: науково-технічних семінарах галузевої науково-дослідної лабораторії міцності і надійності елементів тросового устаткування (Севастополь, 1980...1983); Всесоюзній конф. "Проблеми наукових досліджень в області изучения и освоения Мирового океана" (Владивосток, 1983); Всесоюзній конф. "Технические средства изучения и освоения океана" (Ленинград, 1985); республіканських днях науки "Основні напрями удосконалення підійомно-тросового устаткування риболовних суден." (Севастополь, 1982); респ. семінарі "Удосконалення підійомно-тросового устаткування риболовних суден" (Севастополь, 1983); респ. конф. "Проблеми надійності, довговічності, металоемкості підійомно-тросового устаткування рибопромислових суден" (Севастополь, 1989); респ. науково-технічній конференції "Технологія і устаткування для виробництва багатодротних витих виробів" (Севастополь, 1989); науково-технічних конф. професорсько-викладацького складу Севастопольського прикладного

фуд'яного і зититуту (.889...1992); семінарах кафедри технічної механіки СІІ (Севастополь, 1989...1994); на семінарі кафедри ППМ і ПМ Харківського інженерно-педагогічного інституту (Харків, 1992, 1994).

Публікації. Оpubліковані 13 робіт, 9 з яких містять основні резул гал...

Структура і обсяг.: вступ., чотири розділи, висновки, список використаних джерел із наведенням додаток; робота містить 146 стор. машинописного тексту, 31 мал.; 5 та 1. Кс зтикий зміст роботи.

У вступі обгрунтовано актуальність досліджень, визначено кою задачі і надана анотація роботи.

В першому і зділі на підставі аналізу ре мів роботи опуску-підйомних установок буксированих систем, аналітичного огляду існуючих математичних моделей статичної і динаміки ВГЕ в потоці, а так те аналізу відомих методів розв'язку параметрів форми і натягу канатів СІУ ЕС при стаціонарному і не-стаціонарному режимі руху, обгрунтовано мету і поставлені задачі дисертаційної зботи.

В повному циклі виробничих операцій опуску і підйому буксированих об'єктів виділені два типи рухів, які характеризуються стаціонарними і нестаціонарними режимами руху ЕС: опуск, буксировання і підйом. Стаціонарному режиму руху відповідає етап зчеплення. Задачі цього етапу полягають у визначенні натягу і форми буксирного каната. Значний внесок в рішення статичних задач механіки каната у в'язкому середовищі внесли А.м. Крилов, М.Е. Кочин, М.А. Алексеев, В.І. Егоров, А.С. Горшков, В.М. Стенге, М.В. Салданов, А.І. Сонов, В.А. Светицький, Н. Stenge, М. Heinrich, Y. Choo,

М. J. Casarella та інш.

У зв'язку з урахуванням фізичної і геометричної нелінійності застосовуються чисельні методи. В той же час існує необхідність в розробці приближеного аналітичного рішення. Приближені аналітичні методи розрахунку стійких рівноважних конфігурацій і натягу каната в потоці речовини вивчалися в роботах М. В. Салтанова, Л. Я. Яковського, М. М. Овенштейна, Е. П. Іванова, В. П. Трупецького, М. М. Шерстнікова, В. А. Батчкіна, М. J. Гуревича, Ш. А. Расулева, С. С. Торбана, Г. А. Траубенберга. Найбільш суттєвий недолік існуючих методик пов'язаний з відсутністю оцінок точності приближених рішень.

На всіх етапах виробничих операцій еко-підйомні установки БС експлуатуються в умовах динамічних впливів. Вибивання судна-транспортувальника на хвилюванні може привести до значної зміни висоти натягу каната, великим переміщенням буксированого об'єкту. Відомі роботи по моделюванню качки БС Б. А. Альшуля, А. Л. Фрідмана, Г. С. Кувшинова але в них математичні моделі недостатньо точно відображають характер взаємодії судна і буксированої системи.

Необхідна більш точна постановка і рішення задачі про динамічні зусилля в канатах СПУ БС при коливаннях на морському хвилюванні (для уточнення величини динамічного коефіцієнта).

Динамічні процеси, супровідні нестационарному рухові буксированої системи, описуються нелінійними рівняннями в часі окремих похідних з нелінійними крайовими умовами, які досить важкі для аналізу. Суттєві результати у цій галузі одержані в роботах В. А. Светлицького, В. А. Горбаня, В. J. Піддубного, В. С. Тихонова, J. Б. Іконнікова, В. J. Деткова, А. J. Мека-

рефта, В.Е.М. Алсва, В. J. J. Бедера, Ю. J. Калюха, М. J. Розанова, W. O. Ivers, J. D. Mudie, Huffman R. R., G. J. Genin, I. Johansson, G. Fernandes, H. J. Migliore, R. L. Webster, M. S. Jriantofylou, L. Pote, J. J. Russell, I. V. Sanders, J. R. Goodman.

Необхідність подальшого удосконалення моделей обумовила постановку задачі: розробки математичної моделі руху БС і жвидкого алгоритму аналізу динамічних зусиль в канатах; імітаційне моделювання нестатичних режимів спуску і підйому ваг зму у в'язаному середовищі.

В другому розділі наведений приближний метод визначення статичного навантаження і форми каната у в'язаному потоці та проілюстроване його застосування до розрахунку гнучких елементів спуско-підйомних пристроїв.

Математична модель квазістатичної рівноваги каната в потоці зводиться до диференціальних рівнянь рівноваги гнучкої нитки в природних осях:

$$\frac{dT}{dS} = q \sin \alpha, \quad \frac{d\alpha}{dS} = (q \cos \alpha - r \sin^2 \alpha), \quad r = C_n \frac{\rho V^2}{2} d \quad (1)$$

де T -навантаження нитки; S -дугова координата відрахована від осі нитки з боку ходового кінця; q -вага нитки в воді; α -кут атаки (кут між дотичною до осі нитки і вектором руху потоку); r -гідродинамічна сила на одиницю довжини нитки (при $\alpha = 90^\circ$); C_n -коэф. сили нормального тиску потоку; ρ -щільність середовища; V -швидкість потоку; d -діаметр каната. Система (1) одержана при допущеннях: канат розглядається як абсолютно гнучка нерозтяжна нитка, розташована в площині зметрії буксированої системи, яка проходить через центральну площину судна; не враховується вплив бокової гідродинамічної сили,

що діє на канат, і гідродинамічної сили тертя; потім, що наближе на канат, передбачується стаціонарним.

Для описування рівноважних конфігурацій троса в плоскому потоці введено праву прямокутну систему координат Oxz , початок якої взятий у точці кріплення каната до буксированого об'єкта. Вісь X спрямована горизонтально і протилежно вектору швидкості потоку, а вісь Z - вертикально угору. За допомогою цього точного приватного рішення система (1) приведена до єдинішого диференціального рівняння першого порядку відносно кута атаки, яке лінеаризоване по приросту кута атаки (в околі його початкового значення α_0 на ходовому кінці) Одержане приближене рішення:

$$\alpha(\sigma) = \alpha_0 + \kappa_0(1 - e^{-\delta\sigma})/\delta, \quad (2)$$

де $\sigma = S/\ell$ - безрозмірна подовжня координата; l - поперечна довжина каната; $\kappa_0 = r\ell(2V\cos\alpha_0 - \sin^2\alpha_0)/T_0$ - кривизна каната в точці $\sigma = 0$; $V = g/2r$ - безрозмірний параметр; r - натяг каната в точці кріплення до транспортувального об'єкта; $\delta = 2r\ell\sin\alpha_0 \times (\cos\alpha_0 + 2V)^{1/2}/T_0$ безрозмірний параметр.

Натяг каната знайдений із першого рівняння системи (1), яке попередньо лінеаризоване по α в околі точки $\alpha = \alpha_0$

$$T(\sigma) = T_0 + q\ell[(\sin\alpha_0 + \kappa_0\cos\alpha_0/\delta)\sigma - \kappa_0\cos\alpha_0(1 - e^{-\delta\sigma})/\delta^2].$$

Для визначення координат точок (3) вісьові лінії каната використані диференціальні співвідношення $dx/d\sigma = \ell\cos\alpha$ і $dz/d\sigma = \ell\sin\alpha$, - проінтегровані в лінійному наближенні по α . Приближені залежності координат X ; Z від безрозмірної довжини дуги мають вигляд:

$$x(\sigma) = l \left[(\cos \alpha_0 - K_0 \sin \alpha_0 / \delta) \sigma + \sin \alpha_0 K_0 (1 - e^{-\delta \sigma}) / \delta^2 \right], \quad (1)$$

$$z(\sigma) = l \left[(\sin \alpha_0 + K_0 \cos \alpha_0 / \delta) \sigma - \cos \alpha_0 K_0 (1 - e^{-\delta \sigma}) / \delta^2 \right]. \quad (2)$$

Оцінки абсолютних погрешностей приблизних рішень (2)...(5)

$$\max \Delta \leq \frac{\varepsilon}{L} (e^L - 1), \quad (6)$$

де Δ - абсолютна погрешність приблизного рішення; ε - нев'язність приблизного рівняння; L - постійна Ліпшица. "в'язність

$$\varepsilon = \max_{\alpha \in G} |f - \eta|, \quad G \subset [0, 1] \times [\alpha_0, \alpha_n],$$

$\forall \alpha \in G$

де f і η - праві частини відповідно точного і приблизного рівнянь $\alpha_n = \arcsin(-\nu + \sqrt{1 + \nu^2})$ - граничний кут атаки, що відповідає трьохлінійній р'яважній формі каната в потоці.

Постійна Ліпшица

$$L = \max_{\alpha \in G} |df / d\alpha|$$

Величини ε і L для оцінок абсолютних погрешностей приблизних рішень по формулі (6) відносно α , T/q_l , z/l , x/l відповідно мають вигляд:

$$\varepsilon_\alpha = |K_0 - \delta(\alpha_n - \alpha_0)|, \quad \varepsilon_T = \varepsilon_z = \varepsilon_x = \frac{(\alpha_n - \alpha_0)^2}{2}$$

$$L_{\alpha} = \delta, \quad L_T = L_Z = \begin{cases} \cos \alpha_0, & \text{если } K_0 < 0 \\ \cos \alpha_0, & \text{если } K_0 > 0 \end{cases}, \quad L_x = \begin{cases} \sin \alpha_0, & \text{если } K_0 < 0 \\ \sin \alpha_0, & \text{если } K_0 > 0 \end{cases}$$

Практичне застосування приблизних залежностей ілюструється на прикладі рішення прикладних задач механіки буксированих систем.

Осуження этих методов геохимической разведки нефтяных и газовых родовищ на шельфовых акваториях привело до разработки новых конструкций гибких элементов - кабель-трос-шланг (КТШ). Спир КТШ порівнянний з тисом буксированого приладового контейнера або перевищує його. Тому зниження гідродинамічного опору КТШ особливо актуально.

В морських геохімічних системах необхідно при обмеженій довжині КТШ досягти найбільшого заглиблення приладового контейнера.

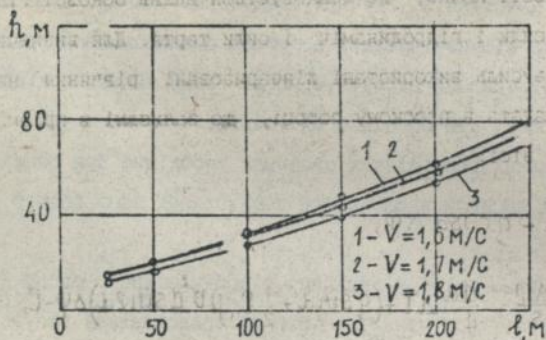
Ефективним засобом зниження гідродинамічного опору КТШ є гідролінамічні обтічники. В роботі представлені результати порівняльно оцінки характеристик буксированої системи з КТШ без обтічників і з обтічниками муфтового типу.

Досліджений вплив різних параметрів БС на її геометрію і сили характеристики і надані рекомендації щодо забезпечення субвертикального буксування.

Приближний метод визначення статичної форми і напруги капа в потоці використаний також в методиці розрахунку па-

раметрів тралової системи в режимі тралення. Методика проілюстрована на прикладі розрахунку горизонту ходу рівноглибинного трала 123/10 для судна типу РТМ-5 при швидкості тралення 2,5 м/с і довжині попущених ваєрних канатів 500 м.

Достовірність результатів розрахунку пара тралової системи за розробленою методикою перевірена в промислових умовах. При випробуваннях використовувався рівноглибинний канатний трал 25,2/115 м. План експерименту містив в собі контроль глибини ходу трала за допомогою ехолотного кабельного вимірника глибини з одночасним вимірюванням довжини попущених ваєрних канатів. Дані дослідів, представлені на рисунку 1, добре угаджуються з розрахунковими значеннями.



- експеримент

- розрахунок

Мал.1. Залежність глибини тралення від довжини ваєрів.

Методика розрахунку горизонту ходу рівноглибинного трала в залежності від швидкості тралення і довжини попущених ваєрів рекомендована до застосування на судах прибережного

рисальства.

В третьому розділі подана уточнена постановка задачі про динамічні зусилля в канатах стуско-підйомних установок БО при «місній качці» судна і буксированої системи на морському хвилюванні. Поширені припущення: судно розглядається як жорстке з двома степенями свободи, що здійснює малі коливання під дією поперечної качки і зусилля натягу буксирного каната; хвилювання моря передбачається регулярним; буксирний канат уявляється абсолютно гнучкий розтяжний за законом Гука витці; коливання відбуваються в вертикальній площині, що є паралельною зметральній площині судна; переміщення каната малі по відношенню до положення квазістатичної рівноваги при відсутності качки; не враховується вплив бокової гідродинамічної сили і гідродинамічної сили тертя. Для визначення динамічних зусиль використані лінеаризовані рівняння малих коливань каната в плоскому потоці, що записані в проєкціях на природні вісі:

$$\mu \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial \Delta T}{\partial s} - q \cos \alpha \Delta \varphi,$$

$$\mu \frac{\partial v}{\partial t} = N \frac{\partial \Delta \varphi}{\partial s} + \frac{d \Delta T}{d t} + \left(q \sin \alpha + \frac{1}{2} C_n \rho v^2 d \sin 2\alpha \right) \Delta \varphi - C_n \rho v d \sin \alpha v,$$

$$\frac{\partial \Delta T}{\partial t} = EF \left(\frac{\partial u}{\partial s} - \frac{d \Delta T}{d s} V \right),$$

$$\frac{\partial \Delta \varphi}{\partial t} = \frac{\partial v}{\partial s} + \frac{d \Delta \varphi}{d s} u,$$

де u і v - дотична і нормальна складові швидкості довільної ланки каната; S - дугова координата, відрахована від точки кріплення каната до буксированого об'єкту; α - кут атаки каната в положенні квазістатичної рівноваги; ΔT - приріст натя-

гу м'ячці; N-статичний натяг каната; l, l^* - лінійна маса каната відповідно без урахування і з урахуванням приєднаної маси води; q - лінійна вага каната в воді; ρ - густина рідини; V - швидкість буксирівання; C_n - коефіцієнт нормальній складовій гідродинамічної сили; d - діаметр каната; E - модуль пружності; F - площа поперечного перетину каната.

Граничні умови для системи (7) у точці S-Q, суть рівняння руху буксированого тіла:

$$m \frac{\partial u(0,t)}{\partial t} = \Delta T(0,t) - (Q \cos \alpha_0 - \frac{1}{2} C_n \rho F_0 V^2 \sin 2\alpha_0) \Delta \varphi(0,t) - C_t \rho F_0 V \sin \alpha_0 u(0,t),$$

$$m^* \frac{\partial v(0,t)}{\partial t} = (Q \sin \alpha_0 + \frac{1}{2} C_\perp \rho F_\perp V^2 \sin 2\alpha_0) \Delta \varphi(0,t) - C_\perp \rho F_\perp V \sin \alpha_0 v(0,t),$$

де m, m^* - маса і віртуальна маса тіла; Q - вага буксированого тіла у воді; C_n, C_\perp - коефіцієнти дотичної і нормальній складовій гідродинамічних сил; F_0 - площа міделевого перетину тіла; F_\perp - характерна площа поздовжнього перетину тіла.

Граничні умови на корінному кінці каната в точці S-L (L - повна довжина каната) являють собою рівняння поздовжньої качки судна на регулярному хвилюванні, доповнені складовими, що враховують сумісний рух судна і буксированої системи. Стаціонарне рішення системи (7), що відповідає регулярному хвилюванню:

$$u(s,t) = u_1(s) \cos \omega t + u_2(s) \sin \omega t, \quad v(s,t) = v_1(s) \cos \omega t + v_2(s) \sin \omega t, \quad (8)$$

$$\Delta T(s,t) = T_1(s) \cos \omega t + T_2(s) \sin \omega t, \quad \Delta \varphi(s,t) = \Delta \varphi_1(s) \cos \omega t + \Delta \varphi_2(s) \sin \omega t.$$

де ω - частота хвиль що вважається. Для визначення величин $U_i, V_i, T_i, \Delta \varphi_i$ вирішувалася лінійна крайова задача, одержана після підстановки (8) - сист. (7) з урахуванням відповідних граничних умов. Рішення знаходилося методом диференційної прогонки. Встановлено, що кривизна каната в положенні квазістатичної рівноваги незначно впливає на його динамічні характеристики в збуреному русі. Зроблений висновок про слабку взаємодію поздовжніх і поперечних коливань каната.

На підставі припущення про слабку взаємодію поздовжніх і поперечних коливань розроблена методика розрахунку динамічних зусиль в канаті при кінематичному збуренні - коливань корінного кінця.

Титула динамічного зусилля:

$$\frac{\max \Delta T}{EFA/a} = \sqrt{\frac{\left(\frac{m\ell}{m} \sin \frac{\omega \ell}{a} + \frac{\omega \ell}{a} \cos \frac{\omega \ell}{a}\right)^2 + \left(\frac{C_p \rho V F_0}{m \omega} \frac{\omega \ell}{a} \cos \alpha_0 \cos \frac{\omega \ell}{a}\right)^2}{\left(\frac{m\ell}{m} \cos \frac{\omega \ell}{a} - \frac{\omega \ell}{a} \sin \frac{\omega \ell}{a}\right)^2 + \left(\frac{C_p \rho V F_0}{m \omega} \frac{\omega \ell}{a} \cos \alpha_0 \sin \frac{\omega \ell}{a}\right)^2}}$$

де A - амплітуда збурення кінця каната; v - швидкість корінного кінця каната; a - швидкість розповсюдження звуку в канаті; α_0 - значення кута атаки на ходовому кінці каната в положенні квазістатичної рівноваги.

Розроблена методика дозволяє на стадії проектування оцінити величину динамічного коефіцієнта і резонансних частот системи канат-вантаж.

В четвертому розділі подана математична модель настанціонарного руху буксированої системи в режимах опуску і підйому і дається методика розрахунку динамічних зусиль в ВГЕ БС. При використанні припущення: рух буксированої системи відбувається в вертикальній площині, що проходить через

діаметральну площину судна; канат передбачається абсолютно гнучкою розтягнутою за законом Гука ниткою; ρ усіх гідродинамічних сил діючих на канат в рідині, враховується тільки нормальна складова; сила інерції приєднаної маси води пропорційна нормальній складовій прискорення троса, вантаж, що транспортується являє собою матеріальну точку.

Одержані рівняння руху каната змінної довжини в рідині, що описують динамічні процеси спуску і підйому при довільних змінах швидкості судна-буксирувальника і тягової лебідки:

$$\begin{aligned} \mu \frac{\partial u}{\partial t} &= \mu \frac{dl}{dt} \frac{\sigma}{l} \frac{\partial u}{\partial \sigma} + \frac{1}{l} V \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} + u \frac{\partial \varphi}{\partial \sigma} \right) + \frac{1}{l} \frac{\partial T}{\partial \sigma} - q \sin \varphi, \\ \mu^* \frac{\partial V}{\partial t} &= \mu^* \frac{dl}{dt} \frac{\sigma}{l} \frac{\partial V}{\partial \sigma} - \frac{\mu^* u}{l} \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} + u \frac{\partial \varphi}{\partial \sigma} \right) + \frac{T}{l} \frac{\partial \varphi}{\partial \sigma} - q \cos \varphi + \frac{1}{2} C_n \rho \dot{x} \times \\ &\quad (V \sin \varphi - V) |V \sin \varphi - V|, \\ \frac{\partial T}{\partial t} &= \frac{dl}{dt} \frac{\sigma}{l} \frac{\partial T}{\partial \sigma} + \frac{EF}{l} \left(\frac{\partial u}{\partial \sigma} - V \frac{\partial \varphi}{\partial \sigma} \right), \quad \frac{\partial \varphi}{\partial t} = \frac{dl}{dt} \frac{\sigma}{l} \frac{\partial \varphi}{\partial \sigma} + \frac{1}{l} \left(\frac{\partial V}{\partial \sigma} + u \frac{\partial \varphi}{\partial \sigma} \right), \end{aligned}$$

де $\sigma = S/l(t)$ - нормалізована поздовжня координата; V - швидкість підводної течії. На уздовньому кінці каната в точці $\sigma = 0$ як граничні умови задаються рівняння руху підводного об'єкта.

Закон зміни швидкості верхнього перетину каната ($\sigma = 1$) може задаватися у відповідності до тахограми лебідки і програми зміни швидкості судна, що визначається за їх рівнянням сумісно з буксированою системою. Окреме рішення системи (9)

$$\begin{aligned} u(\sigma, t) &= \sum_{k=0}^n a_k(t) P_k(\sigma), \quad V(\sigma, t) = \sum_{k=0}^n b_k(t) P_k(\sigma), \\ T(\sigma, t) &= \sum_{k=0}^n c_k(t) P_k(\sigma), \quad \varphi(\sigma, t) = \sum_{k=0}^n d_k(t) P_k(\sigma), \end{aligned}$$

де $\alpha_k, \beta_k, \gamma_k, d_k$ - невідомі функції часу, що визначено методом
зв'язаних нев'язностей; \mathbb{R}_k - базисна функція, вибрана з множини
ортонормальних систем функцій. Модель виробована на прикладі
рішення задачі розрахунку динамічних зусиль в канаті тягової
лебідки для випадків спуску і підйому вантажу з нерухомого
шудна. Результати розрахунків задовільно узгоджуються з ек-
спериментальними даними. Розроблена методика розрахунку ди-
намічних зусиль при нестационарних режимах руху ЕО реалізо-
вана у вигляді програми для ЕОМ.

Основні результати.

1. Розроблено метод розрахунку плоскої конфігурації і
натягу каната в стаціонарному і тоці, який використаний в
методиці визначення параметрів тралової системи в режимі
тралення для розрахунку горизонту ходу рівноглибинного трала
в залежності від довжини попущених ваєрів і швидкості тра-
лення. Методика апробована в промислових умовах і рекомендо-
вана до застосування на рибпромислових судах прибережного
риболовства.

2. Показана можливість використання плоскої моделі
рівноваги каната в потоці до рішення просторових статичних
задач апарата дова...

3. Виконані теоретичні дослідження щодо визначення
раціональних параметрів морської геохімічної системи з метою
забезпечення субертальної форми вантажонесучих гнучких
елементів спеціального призначення. Результати рішення за-
дач про статичну рівновагу каната в потоці використані в
Краснодарській філії НДІ морської фізики.

1. Запропоновано метод оцінки погрешності приблизного

ршення задачі про статичну рівновагу каната у в'язку до тоці.

5. Знайдені динамічні зусилля в канатах спуско-підйомних вантажів ЕС при сумісній качці судна і буксированої системи при регулярному хвилюванні.

6. Розроблено алгоритм розрахунку динамічних зусиль, заснований на уявленні про кінематичний характер збудження коливань морінного кінця каната внаслідок качки судна на хвилюванні.

7. Створена методика розрахунку динамічних зусиль в канатах СПУ ЕС при гармонійному збудженні коливань, гнучких канатів судна на регулярному хвилюванні. Методика дозволяє оцінювати значення динамічного коефіцієнта і резонансних частот систем канат-вантаж.

8. Одержана математична модель вестационарного руху буксированої системи, яка дозволяє визначити динамічні зусилля в ВПЕ СПУ з урахуванням режимів роботи лебідки.

Основний зміст дисертації відображений в публікаціях:

1. Васильев А.Н., Калугин Е.А. Динамика буксирного мата при качке судна-буксировщика на морском волнении // Межреспубликанская научная конференция "Технические средства освоения Мирового океана": Тез. докл. - Севастополь, 1982. - с. 40-41.

2. Калугин Е.А., Калинин М.И. Обеспечение оптимальной рабочей формы кабель-трос-шланга систем подводного поиска // 4 Всесоюзная конференция "Проблемы научных исследований в области изучения и освоения Мирового океана": Тез. докл. - Владивосток, 1983. - с.111.

3. Бокша В.В., Калугин Е.А. Терминальное управление с обратной связью в нечеткой обстановке // Межреспубликанская

научная : нференци. модели выбора альтернатив в нечеткой среде": Тез. докл. - Рига, 1984. - с. 37-39.

4. Ветров А. П., Калугин Е. А. Оптимальное по быстродействию управление режимами движения необитаемого подводного аппарата // 5-ая Всесоюзная конференция "Технические средства изучения и освоения океана": Тез. докл. - Ленинград, 1985. - с. 47.

5. Калугин Е. А., Ветров А. П. Моделирование и анализ нестационарного движения системы судно-трал // Севастоп. приборостроит. журн. - Севастополь, 1987. - 22 с. - Деп. в УкрНИИнти 17.02.88, 427- Ук 88.

6. Калугин Е. А. Приближенный метод расчета динамических усилий в кабеле тресе океанографической системы при качке судна на регулярном волнении // Республиканская научно-техническая конференция "Технология и оборудование для производства многопроволочных витых изделий": Тез. докл. - Севастополь, 1989. - с. 82-83.

7. Калугин Е. А., Ветров А. П. Вынужденные колебания треса буксируемой системы на регулярном волнении // Проблемы надежности, долговечности, металлоемкости подъемно-тралового оборудования рыбопромысловых судов. - Севастополь, 1988. - с. 11-12.

8. Фисунов В. Н., Калугин Е. А. Исследование колебаний каната в вязком потоке при отрывном обтекании // Проблемы надежности, долговечности, металлоемкости подъемно-тралового оборудования рыбопромысловых судов. - Севастополь, 1989. - с. 16-20.

9. Калугин Е. А. Приближенный метод расчета формы и натяжения гибкой нити в стационарном потоке жидкости // Моделирование и эксперимент в инженерных задачах: Науч. техн. сборник. Вып. 2. - Севастополь: СевГУ. - 1987. - 8 с.

Калугин Е.А Статические и динамические усилия в канатах подъемных лебедок при движении

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.05 - подъемно-транспортные машины, Украинская инженерно-педагогическая академия, Харьков, 1995.

Заявляю результаты теоретических исследований статических и динамических усилий в канатах спуско-подъемных установок буксируемых систем при стационарном и нестационарных режимах движения. На основе математических моделей различных режимов движения каната с грузом в вязкой среде разработаны методы расчета его формы и натяжения; для случая стационарного движения получены теоретические оценки погрешности метода. Результаты работы использованы в методике определения горизонта хода разноглубинного трала, рекомендованной к применению на рыбопромысловых судах, а также в пакете прикладных программ расчета параметров морской геохимической системы.

Kalugin E.A. The static and dynamic exertions in lifting winch ropes at moving of rope with liquid viscous medium.

Thesis for the application of the Doctor of Philosophy degree (Ph.D) in lifting-transport machine, Ukrainian Engineering and Pedagogical Academy, Harkov, 1995.

Are defended the results of theoretical researches of static and dynamic exertions in ropes of lifting installations of towed systems at stationary and non-stationary regimes of movement. On the base of mathematical models of various regimes of movement of rope with load in viscous medium are developed the methods for calculations its form and tension; for case of stationary movement the theoretical valuations of error of method are received. The results of work are used in technique of definition the fishing trawl depth, recommended to application on fishing vessels, as well as in pack of applied programs for computation marine geochemical system parameters.

Ключевые слова:

підйомно-транспортні системи, навантаження канатів, в'язке середовище, буксировані системи, статичні і динамічні зусилля.

Калугин