ISSN 1729-4959

МАШИНОЗНАВСТВО

MECHANICAL ENGINEERING

ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ ЩОМІСЯЧНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ І ВИРОБНИЧИЙ ЖУРНАЛ

6'07 МАШИНО ЗНАВСТВО

Всеукраїнський щомісячний науково-технічний і виробничий журнал

Висвітлюються результати теоретичних і експериментальних досліджень у галузях:
Динаміка та міцність машин
Матеріалознавство
Математичне моделювання й обчислювальні методи
Механіка деформівного твердого тіла
Захист матеріалів від корозії
Конструювання, розрахунок, випробування та надійність машин
Системи приводів
Тертя та зношування в машинах
Технологія машинобудування
Розрахований на викладачів вищих закладів освіти, наукових працівників, аспірантів і спеціалістів машинобудівної промисловості.

Редакційна колегія:

О. Андрейків, член-кор. НАН України, проф., д. т. н.,
М. Бобир, проф., д. т. н.,
Я. Бурак, член-кор. НАН України, проф., д. ф.-м. н.,
В. Гелетій, доц., к. т. н.,
Б. Ґевко, проф., д. т. н.,
С. Гутиря, проф., д. т. н.,
М. Дмитриченко, проф., д. т. н.,
В. Кир'ян, член-кор. НАН України, проф., д. т. н.,
Б. Кіндрацький, проф., д. т. н.,
І. Кузьо, проф., д. т. н.,
Р. Кушнір, проф., д. ф.-м. н.,
В. Малащенко, проф., д. т. н.,
В. Марцинковський, проф., д. т. н.,
В. Осадчук, проф., д. ф.-м. н.,
В. Павлище, проф., к. т. н.,
В. Палаш, проф., к. т. н.,
В. Панасюк, академік НАН України, проф., д. т. н.,
М. Пашечко, проф., д. т. н.,
В. Похмурський, член-кор. НАН України, проф., д. т. н.,
З. Стоцько, проф., д. т. н.,
Г. Сулим, проф., д. ф.-м. н.,
Г. Тріщ, доц., к. т. н.,
Є. Харченко, проф., д. т. н.

Адреса редакції:
79058, м. Львів-58, а/с 6758.
E-mail: me@ln.lviv.ua

Відповідальність за достовірність реклами несуть рекламодавці.

При повному або частковому передруковуванні матеріалів посилання на "Машинознавство" є обов'язковим.

© Машинознавство, 2007.

З М І С Т

3. *Зайцев Б., Шульженко М., Асайонок О.* **Розрахунок власних коливань робочих коліс гідротурбін з тріщинами в лопатях**

9. *Книш В.* **Моделювання процесу гальмування втомної тріщини залишковими напруженнями стиску**

14. *Литвин О., Попов В.* **Дослідження хвильових полів, дифрагованих тонкими пружними включеннями, при антиплоскій деформації**

20. *Курпа Л., Лінник Г., Тимченко Г.* **Застосування методу R-функцій до розв'язування задач про вільні коливання багатошарових оболонок складної форми плану**

25. *Маковецький О.* **Навантаження поперечним індентором тонкостінних осесиметричних оболонок**

29. *Пилипенко О.* **Трибологічна оцінка автодеталей з покриттям після комбінованого оброблення**

33. *Поліщук Л., Адлер О.* **Динаміка пристрою керування гідроприводу, чутливого до навантаження**

38. *Стрілець О., Стрілець В., Шинкаренко І.* **Керування змінами швидкості за допомогою зубчастої диференціальної передачі**

42. *Трунін К.* **Моделювання еквівалентного однорідного стрижня для динамічно навантаженого сталевого каната з органічним сердечником.**

45. *Чумало Г.* **Підвищення ефективності експлуатації газових родовищ, технологічний продукт яких містить сірководень**

48. *Інформація для авторів*

УДК 621.863.2 : 519.872

МОДЕЛЬ ЕКВІВАЛЕНТНОГО ОДНОРІДНОГО СТРИЖНЯ ДЛЯ ДИНАМІЧНО НАВАНТАЖЕНОГО СТАЛЕВОГО КАНАТА З ОРГАНІЧНИМ СЕРДЕЧНИКОМ

К. Трунін

Доцент, канд. техн. наук,
Національний університет
кораблебудування
імені адмірала Макарова,
м. Миколаїв

Розглянуто модель еквівалентного однорідного стрижня для динамічно навантаженого сталевого каната з органічним сердечником. Отримано аналітичні залежності для таких параметрів еквівалентного стрижня: щільності, модуля пружності, площі поперечного перерізу та швидкості розповсюдження пружних хвиль.

система „судно — тралова лебідка — ваєр — трал", сталевий канат, органічний сердечник, еквівалентний стрижень

В останні роки споживання морських рибопродуктів в Україні на одну особу істотно зменшилося, що можна пояснити зменшенням загального вилову риби та видобутку морепродуктів, відсутністю рибопромислового флоту в потрібному обсязі. Рибопромислові судна, які є його часткою, були побудовані ще в 1970 — 1990 роки і фізично та морально застаріли.

Перед рибною промисловістю України стоїть важливе завдання: забезпечити видобуток потрібної кількості риби та морепродуктів, що можливо лише за умов існування могутнього рибопромислового флоту, який був би спроможним вирішити проблему видобутку риби та морепродуктів у кількості, потрібній для споживання, тобто 15 — 20 кг на одну особу на рік.

Розвиток рибної галузі з урахуванням її специфічності і багатогранності потребує розв'язання проблем економіки, техніки, технології, соціології, біології, нормативно-правової бази [9]. Для відродження галузі потрібні заходи з її відновлення та подальшого економічного розвитку. Шляхом економічного розвитку рибного господарства повинен стати інноваційний, системний підхід та комплексність заходів.

Для вирішення проблем інноваційного шляху економічного розвитку рибного господарства України, насамперед, мають бути розроблені політика і стратегія розвитку галузі, де були б визначені найважливіші завдання галузі, потрібні для цього шляхи, методи та інструменти [9]. Рибне господарство України має можливість запроваджувати іниовації шляхом використання розробок суднобудівної галузі.

Виходом з цього положення може стати створення могутніх і в той же час компактних рибопромислових комплексів, які забезпечили б вилов риби у потрібній кількості та потрібної якості. Створення таких комплексів потребує інформації про навантаження, які діють на елементи тралового комплексу "судно-траулер — тралова лебідка — ваєри — трал". Це стосується перш за все навантажень на ваєри, які з'єднують трал з траловою лебідкою.

На сьогодні є певна інформація про навантаження тралових комплексів та їхні режими роботи [3 — 5, 10, 12]. При цьому треба звернути увагу, що отримання достовірної інформації про навантаження тралових комплексів експериментальним шляхом потребує

великих матеріальних витрат. Однак, незважаючи на це, тільки експеримент в реальних умовах промислу може забезпечити отримання вірогідних даних, на базі яких можна було б створити (спроектувати) потрібні для тралових комплексів тралові лебідки і рибопромислові судна (траулери). Зараз провести такий експеримент практично неможливо з причини відсутності потрібного судна-траулера та високої вартості такого експерименту. У зв'язку з цим, питання дослідження навантажень на ваєри тралової лебідки і тралового комплексу матиме більш теоретичний характер, базуючись на даних натурних експериментів, які були проведені раніше [10 — 12, 14].

Однак в літературі [1 — 3] практично відсутні будь-які дані про особливості проектування та форму ваєра, окрім [4], особливо в найважчих умовах роботи — вибиранні тралу. У зв'язку з цим виникає потреба в теоретичному та експериментальному дослідженнях форми ваєрів та умов роботи трала, розроблення рекомендацій щодо розрахунків і проектування тралів, ваєрів, їхніх параметрів та всього тралового комплексу в цілому. Це потребує створення відповідних математичних моделей [14].

Для вдосконалення процесу вилову риби велике значення мають дослідження окремих етапів тралового вилову риби, тобто системи „судно — тралова лебідка — ваєр — трал". Автор раніше присвятив себе дослідженню навантажень на тралові лебідки [8, 10 — 12], в тому числі на окремі елементи тралового комплексу: тралових лебідок та їхніх основних елементів (ваєрного барабана, валів редукторів, електродвигунів). При цьому були розроблені пропозиції щодо зменшення матеріаломісткості елементів тралових лебідок та їхньої маси в цілому [12, 13].

Постановка задачі. Розглянемо модель еквівалентного однорідного стрижня для динамічно навантаженого сталевого каната з органічним сердечником.

Силовий розрахунок каната містить визначення загальних сил у канаті як єдиному елементі під дією зовнішніх впливів як статичного, так і динамічного характеру. Завдання динаміки каната виникають при ривку вантажу, який падає, у підйомних пристроях [1, 7], за умов прямого ривка буксирного троса при буксируванні морських суден [6], при зачепі трала за дно в умовах промислового вилову донним тралом [8, 14]. Сталевий канат, який складається з окремих пасм, що містять велику кількість дротин, розглядається як еквівалентна суцільна нитка [2], де визначення осьової сили каната засновано на підсумуванні осьових сил, які припадають на кожну дротину.

Розглянемо модель еквівалентного стрижня для каната, який складається з неоднорідних матеріалів, наприклад, сталевого каната з органічним сердечником.

Так, інтерпретація сталевого каната з дротин у вигляді еквівалентного за поздовжньою жорсткістю суцільного пружного стрижня у постановці динамічної задачі приводить до хвильового рівняння поздовжніх коливань [2]:

$$\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} - a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = 0, \qquad (1)$$

$$0 \le x \le L,\ t \ge 0;\quad a = \sqrt{\frac{A}{\rho}}, \qquad (2)$$

де x — осьова координата; L — довжина каната; t — час; a — швидкість розповсюдження пружних хвиль; A — поздовжня жорсткість каната.

У свою чергу

$$A = ES, \qquad (3)$$

де E — модуль пружності еквівалентного стрижня; S — площа поперечного перерізу каната.

Динамічна сила в канаті визначається виразом

$$T = A\frac{\partial u}{\partial x}. \qquad (4)$$

Раніше [2] для покращання роботи каната була запропонована конструкція, яка містить органічний сердечник (рис. 1). При цьому органічний сердечник може бути оповитий або сталевими пасмами (рис. 1,а), або оболонкою (рис. 1,б), так що

$$S = S_1 + S_2, \qquad (5)$$

де S_1 — площа поперечного перерізу пасм (оболонки); S_2 — площа поперечного перерізу сердечника.

Далі припускаємо, що ρ_i, E_i, a_i $(i=1,2)$ — густина, модуль пружності, швидкість поздовжніх хвиль для i-го елемента. Причому $i=1$ стосується матеріалу оболонки, $i=2$ — матеріалу сердечника. Тоді сила в канаті

$$T = T_1 + T_2, \qquad (6)$$

де T_1, T_2 — складові сили.

Розглянемо елемент неоднорідного каната (рис. 2) довжиною Δx, який отримує деформацію ΔU. Очевидно, що всі елементи отримають однакову деформацію, тому

$$T = A\frac{\Delta U}{\Delta x};\ T_i = A_i\frac{\Delta U}{\Delta x};\quad (i=1,2), \qquad (7)$$

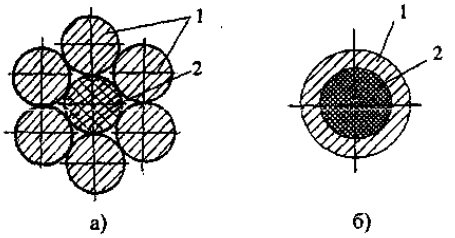
де $A = ES$, $A_i = E_i S_i$.

Підставляючи (7) у (6), отримуємо, що

$$A = \sum_i A_i;\ E = \frac{1}{S}\sum_i E_i S_i. \qquad (8), (9)$$

Знайдемо густину еквівалентного стрижня

$$\rho = \frac{1}{S}\sum_i \rho_i S_i. \qquad (10)$$



а) б)

Рис. 1. Поперечний переріз каната з органічним сердечником

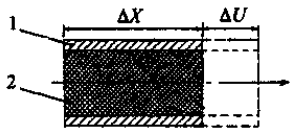


Рис. 2. Поздовжній переріз елемента каната: 1 — оболонка; 2 — сердечник

Враховуючи відношення (8) — (10), з (6) визначимо

$$a=\left[\frac{E_1 S_1/S+E_2 S_2/S\, E_1}{\rho_1 S_1/S+\rho_2 S_2/S}\right]^{\frac{1}{2}} \qquad (11)$$

або

$$a=a_1\left[\frac{1+\dfrac{A_2}{A_1}}{1+\dfrac{q_2}{q_1}}\right]^{\frac{1}{2}}, \qquad (12)$$

де $a_i=\sqrt{\dfrac{E_i}{\rho_i}}$ — швидкість пружних хвиль в i-му елементі;

$q_i=\rho_i S_i$ — вага i-го елемента одиничної довжини.

Для конструкції каната, який складається зі сталевих пасм і органічного сердечника, маємо $A_2/A_1 \ll 1$, $q_2/q_1 \ll 1$.

Тоді вираз (12) спрощується:

$$a \approx a_1\left\{1+\frac{1}{2}\frac{q_2}{q_1}\left[\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^2-1\right]\right\}. \qquad (14)$$

Якщо прийняти, що D — зовнішній діаметр каната, d_1 — діаметр пасм, n — кількість пасм; d_2 — діаметр стрижня, то геометричні параметри можна подати так:

$$S_1=n\frac{\pi d_1^2}{4};\ S_2=n\frac{\pi d_2^2}{4},\ \text{де}\ d_2=D-2d_1;$$

$$S_2=n\frac{\pi D^2}{4}\left[1-4\left(\frac{d_1}{D}\right)+(n+4)\left(\frac{d_1}{D}\right)^2\right].$$

В окремому випадку (при $D=3d_1$, n = 6) маємо $S\approx 0.2\pi D^2$; $S_1/S\approx 0.86$, $S_2/S\approx 0.14$.

Висновки. Показано, що динаміка каната, який складається з неоднорідних за матеріалом елементів, описується хвильовим рівнянням для еквівалентного за поздовжньою жорсткістю суцільного пружного стрижня. Отримано аналітичні вирази для таких параметрів еквівалентного стрижня: густина, модуль пружності, площа поперечного перерізу, швидкість розповсюдження пружних хвиль.

Література

1. *Александров М.Н.* Судовые устройства. — Л.: Судостроение, 1968. — 372 с.

2. *Глушко М.Ф.* Стальные подъемные канаты. — К.: Техніка, 1976. — 328 с.

3. *Трунин С.Ф.* Траловые лебедки. — Л.: Судостроение, 1979. — 84 с.

4. *Бащенко А.П., Соколацкий В.К., Закржевский А.И.* Конструкция ваеров для крупнотоннажных судов // Рыбное хозяйство. — 1981. — №2. — С. 64.

5. *Кавер И., Куц А., Алесина Н.* Вертикально интегрированные структуры и технополисы в рыбопромышленных регионах Украины // Экономика Украины. — 2005. — №2. — С. 40—47.

6. *Лаврентьев В.М.* Исследование движения судна при косом рывке буксирного троса // Труды ЦНИИ морского флота. Гидромеханика судна, 1966. — Вып. 75. — С. 3—31.

7. *Поздеев В.А., Бескаравайный Н.М.* К теории нестационарных волновых задач акустики с усложненными граничными условиями // Теория, практика электроразрядных технологий. – Сб. научных трудов ИИПТ НАН Украины, Николаев: Атолл, 2002. — Вып. 4. — С. 100—107.

8. *Поздеев В.А., Трунин К.С.* Математическая модель зацепа за дно донного трала при глубоководном рыболовном промысле // Безопасность мореплавания и её обеспечение при проектировании и постройке судов (БМС–2004): Матер. междунар. научно-техн. конф. — Николаев, НУК, 2004. — С. 129—130.

9. *Стасишен М.* Проблеми інноваційного розвитку рибного господарства України // Економіка України. — 2002. — №3. — С. 50—56.

10. *Трунин К.С.* Динамика системы "судно — траловая лебедка — ваер — трал» // Труды НКИ "Динамика и прочность судовых машин". — 1981. — Вып. 182. — С. 36—43.

11. *Трунін К.С.* Про динаміку системи "судно траулер – глибинний трал" за умов донного зачепу тралу" / Тези доп. 7-го Міжнародного симпозіуму українських інженерів-механіків у Львові. — Львів: КІНПАТРІ ЛТД. — 2005. — С. 31—32.

12. *Трунін К.С.* Прогнозування процесів навантаження суднових машин / Матер. Міжнародного симпозіуму українських інженерів-механіків у Львові. Праці. — Львів: Штабар, 1996. — С. 51—53.

13. *Трунін К.С.* Математичне моделювання системи "судно — траловий комплекс" / Тези доп. 6-го Міжнародного симпозіуму українських інженерів-механіків у Львові. — Львів: КІНПАТРІ ЛТД, 2003. — С. 101—102.

14. *Трунин К.С.* Математическое моделирование тралового комплекса в условиях глубоководного промысла рыбы / Матер. междунар. научно-техн. конф. "Безопасность мореплавания и ее обеспечение при проектировании и постройке судов" (БМС-2004), Николаев, 2004. — С. 74.

15. *Трунін К.С.* Динаміка системи "судно — траулер — глибинний трал" при донному зачепі трала // Машинознавство, 2006. — №4. — С. 39—41.

Отримана 23.05.07

K. Trunin

The mathematical model of the equivalent isotrope spring rod for the dinamics loading flexible wire rope organic core

Makarov National University of Shipbuilding, Mykolaiv

Fish farming of Ukraine has an opportunity to use innovations with the help of investigations of shipbuilding industry. The researches of a durable process of catching the fish that is the system "ship – trawl winch – wire – trawl" yas been of great importance lately for improving the process of catching the fish. The dynamics of the work of one flexible wire rope core (type LK-O construction) has been observed. A mathematical model of isotrope spring rod has been designed equivalent to longitudinal resilience. The analytic ideas of a resilience module, linear solidity, the speed of spring longitudinal wave spreading in equivalent rod-break water have been presented.