

ISSN 1729-4959

МАШИНОЗНАВСТВО

MECHANICAL ENGINEERING

ВСЕУКРАЇНСЬКИЙ ЩОМІСЯЧНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ І ВИРОБНИЧИЙ ЖУРНАЛ



№4
2006

Всеукраїнський щомісячний
науково-технічний і виробничий
журнал

Висвітлюються результати теоретичних і
експериментальних досліджень у галузях:
Динаміка та міцність машин
Матеріалознавство
Математичне моделювання й обчислю-
вальні методи
Механіка деформованого 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. Гевко, 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, с. н. с., д. ф.-м. н.,
В. Малащенко, проф., д. т. н.,
В. Марцинковський, проф., д. т. н.,
В. Осадчук, проф., д. ф.-м. н.,
В. Павлице, 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. Тріш, доц., к. т. н.,
Є. Харченко, проф., д. т. н.

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

Відповідальність за достовірність
реклами несуть рекламодавці.

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

© Машинознавство, 2006.

З М І С Т

3. Гачкевич О., Курницький Т., Терлецький Р. Математичне моделювання механотермодифузійних процесів у багатокомпонентних тілах низької електропровідності при надвисокочастотному електромагнітному опроміненні

15. Стацук М., Малик О. Розподіл електричного потенціалу в тілі з еліптичним отвором при механічному навантаженні

20. Фільштинський Л., Боднар О. Дослідження спектрів власних частот для скінченних циліндрів при скручуванні (кососиметричний розв'язок)

26. Дудзінський Ю. Вимушені осесиметричні коливання циліндричної оболонки в потоці суцільного середовища

30. Галас О., Аврамов К. Метод активного гасіння коливань стрижнів

33. Чабан А. Математичне моделювання коливних процесів у двовузловій багатомашинній системі з глибокопазними асинхронними приводами

39. Трунін К. Динаміка системи судно — глибоководний трал при донному зачепленні трала

42. Формальчик Є., Качмар Р., Терлецький І. Експлуатаційна надійність конструкцій підвісок легкових автотранспортних засобів

45. Жуков А., Жигуц Ю., Шиліна О. Оброблення поверхонь за допомогою лазерного поверхневого зміцнення деталей і саморозповсюджувальний високотемпературний синтез

48. Інформація для авторів

УДК 629.1293.0025:539.4

К. Трунін

Доцент, канд. техн. наук,
Миколаївська філія
Європейського університету,
м. Миколаїв

ДИНАМІКА СИСТЕМИ СУДНО — ГЛИБОКОВОДНИЙ ТРАЛ ПРИ ДОННОМУ ЗАЧЕПЛЕННІ ТРАЛА

Розглянуто динамічну систему судно-траулер разом з глибоководним тралом в умовах зачеплення трала (тралової дошки) за дно. Сформульована задача розв'язана з використанням перетворень Лапласа за часом. Отримано аналітичні залежності для визначення сил у ваєрі та дослідження динаміки судна.

судно-траулер, глибоководний трал, ваєр

У зв'язку зі зменшенням рибних ресурсів морів та океанів на малих глибинах, до 500 — 1000 м, та введенням двохсотмильних зон заборони вилову, більшість прибережних держав все більшу увагу приділяють проблемі глибоководного тралового ловлення риби й дослідженню супутніх явищ. Попередження аварійної ситуації при цьому (зачеплення трала за дно) має важливе значення як з точки зору безпеки мореплавства судна-траулера, так і з точки зору збереження самого трала.

Динамічні навантаження в системі судно — ваєр — трал при вибиранні трала визначені в [1]. У [2] сформульована проблема математичного моделювання системи судно — глибоководний трал.

Широкий аналіз проблеми включає моделювання як технологічних процесів роботи з тралом, так і аварійних ситуацій. У [3] запропонована математична модель аварійного зачеплення тралової дошки за донну перешкоду. При цьому ваєр описано як хвилевід з імпульсним навантаженням з боку судна, а довжина хвилі збурення не перевищує довжини ваєра. Це обмежує застосування розроблених математичних моделей і не дає змоги прогнозувати поведінку ваєра при інших (широко розповсюджених) режимах роботи трала.

Мета статті — розглянути випадок, коли довжина хвилі збурення перевищує довжину ваєра.

Вважатимемо, що судно-траулер, буксируючи глибоководний донний трал, рухається зі швидкістю V_0 . Глибина тралення h , довжина витраленої частини ваєра L . У результаті зачеплення трала за донну перешкоду нижній кінець ваєра в момент $t=0$ виявляється закріпленим. Судно, рухаючись за інерцією, розтягує ваєр, а потім здійснює загасаючі позовжні коливання. У загальному випадку на судно може діяти й опір гвинта P_0 .

Математична модель та розв'язання задачі. Нехай ваєр представляє собою прямолінійний відрізок розтягнутої пружної нитки довжиною L . Лінія ваєра утворює кут θ_0 з площиною дна (або поверхнею води), так що

$$\cos \theta_0 = \sqrt{1 - \left(\frac{h}{L}\right)^2}. \quad (1)$$

Спочатку визначимо в рамках прийнятих допущень максимальну силу розтягу ваєра. При цьому вважаємо, що вся кінетична енергія судна переходить у потенціальну енергію розтягнутого судном пружного ваєра. Накопичена кінетична енергія судна

$$K_0 = \frac{1}{2} M V_0^2, \quad (2)$$

де M — сумарна маса судна і приєднана маса води при поздовжньому русі судна.

Потенціальна енергія розтягнутого ваєра

$$P_0 = \frac{1}{2} T_0 U_0, \quad (3)$$

де U_0 — величина деформації ваєра; T_0 — максимальна сила ваєра.

Крім цього, приймаємо, що

$$T_0 = (ES)_b \frac{U_0}{L}, \quad (4)$$

де E — модуль пружності матеріалу ваєра; S — площа поперечного перерізу ваєра.

Підставляючи (4) в (3), отримуємо

$$P_0 = \frac{1}{2} b U_0^2, \quad (5)$$

де $b = L^{-1} (ES)_b$.

Прирівнюючи праві частини енергії з (2) і (5), отримуємо:

$$U_0 = V_0 \sqrt{\frac{M}{b}}; \quad (6)$$

$$T_0 = b U_0 = V_0 \sqrt{M b}. \quad (7)$$

Далі розглянемо інший підхід. Вважатимемо, що накопичена кінетична енергія судна переходить у пружні коливання системи судно — ваєр. Поточна величина кінетичної енергії судна

$$K(t) = \frac{1}{2} M V^2(t), \quad (8)$$

де $V(t) = \dot{x}(t)$ — поточне значення швидкості судна.

Поточне значення потенціальної енергії ваєра

$$P(t) = \frac{1}{2} b U^2(t), \quad (9)$$

де $U(t)$ — поточне значення величини деформації ваєра.

Зазначимо, що

$$U(t) = x(t) \cos \theta_0, \quad (10)$$

де $x(t)$ — поточна координата положення судна, $x(0) = 0$. Тоді

$$P(t) = \frac{1}{2} (b \cos^2 \theta) x^2(t). \quad (11)$$

Введемо до розгляду дисипативну функцію Релея [4]

$$R = \frac{1}{2} a \dot{x}^2. \quad (12)$$

Рівняння Лагранжа для цього випадку матиме вигляд

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial k}{\partial \dot{x}} = - \frac{\partial P}{\partial x} - \frac{\partial R}{\partial \dot{x}}. \quad (13)$$

Підставляючи в (13) вирази (8), (10) і (12), отримуємо рівняння вільних коливань судна:

$$M \ddot{x} + a \dot{x} + (b \cos^2 \theta) x = 0. \quad (14)$$

Рівняння (14) можна записати в канонічному вигляді:

$$\ddot{x} + 2n \dot{x} + \omega_0^2 x = 0, \quad (15)$$

де

$$2n = a/M; \quad (16)$$

$$\omega_0^2 = \frac{b \cos^2 \theta}{M}. \quad (17)$$

Якщо на судно діє опір гвинта $P(t)$, то ми замість (15) маємо рівняння вимушених коливань

$$\ddot{x} + 2n \dot{x} + \omega_0^2 x = F(t), \quad (18)$$

де $F(t) = P(t)/M$.

Обмежуючись розглядом малого часу t , можна покласти, що опір гвинта не змінюється, тобто

$$P(t) = P_0 1_t(t), \quad (19)$$

де $1_t(t) = \begin{cases} 0, & \text{при } t < 0 \\ 1, & \text{при } t \geq 0 \end{cases}$.

У результаті приходимо до такого формулювання задачі:

$$\ddot{x} + 2n \dot{x} + \omega_0^2 x = F_0, \quad x(0) = 0; \quad \dot{x}(0) = V_0, \quad (20)$$

де $F_0 = P_0/M$.

Задачу (20) розв'яжемо операційним методом (перетворенням Лапласа за часом t):

$$x(t) = \frac{F_0}{(n^2 + \omega^2)} \left[1 - e^{-nt} \left(\cos \omega t + \frac{n}{\omega} \sin \omega t \right) \right] + \frac{V_0}{\omega} e^{-nt} \sin \omega t;$$

$$\dot{x}(t) = e^{-nt} \left[V_0 \cos \omega t - \left(V_0 - \frac{F_0}{n} \right) \frac{n}{\omega} \sin \omega t \right], \quad (21)$$

де $\omega = \sqrt{\omega_0^2 - n^2}$.

Неважко переконатися, що розв'язок задачі задовольняє такі початкові умови: $x(0) = 0$; $\dot{x}(0) = V_0$. Далі знайдемо поточне значення для динамічної сили у ваєрі

$$T(t) = \frac{(ES)_b}{L} U(t) = \frac{(ES)_b \cos \theta_0}{L} x(t)$$

або

$$T(t) = \frac{(ES)_b \cos \theta_0 F_0}{L \omega_0} \left\{ 1 + e^{-n t} \left[\frac{\left(\frac{V_0 \omega_0}{F_0} - n \right)}{\sqrt{\omega_0^2 - n^2}} \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \sin \omega t - \cos \omega t \right] \right\}. \quad (22)$$

Максимальне значення сили

$$T_{max} \approx \frac{(ES)_b F_0 \cos \theta_0}{L \omega_0} \left\{ 1 + \frac{\left(\frac{V_0 \omega_0}{F_0} - n \right)}{\sqrt{\omega_0^2 - n^2}} \right\}. \quad (23)$$

У випадку нульового опору гвинта при русі судна за інерцією $F_0 = 0$. Тоді з (23) отримуємо

$$T_{max} \approx \frac{(ES)_b F_0 \cos \theta_0 (V_0)}{L \sqrt{\omega_0^2 - n^2}}. \quad (24)$$

У випадку $F_0 = 0$ і $n = 0$, матимемо

$$T_{max} \approx \frac{(ES)_b V_0 \cos \theta_0}{L \omega_0} = \frac{(ES)_b V_0 \cos \theta_0}{L \sqrt{\frac{b}{M}} \cos \theta_0} = \\ = \frac{(ES)_b V_0}{\Delta} \sqrt{\frac{M}{b}} = V_0 \sqrt{M b}, \quad (25)$$

що збігається з (7).

Формулою (21) описується динаміка судна, а формулами (22) — (25) — динамічна сила у ваєрі.

Повна сила у ваєрі складається зі статичного натягу $T_{ст}$ до зачеплення і динамічного, яке виникає після цього.

Висновок. Сформульована математична постановка задачі „м'якого зачеплення” глибоководного трала за дно. Отримано аналітичний розв'язок задачі динаміки системи судно — ваєр. Виведена формула для визначення максимальної динамічної сили натягу ваєра.

Література

1. Трунін К.С. Динаміка системи „судно — тралова лебідка — ваєр — трал” // Праці НКІ. Динаміка і міцність суднових машин. — 1981. — Вип. 182. — С. 36—43.
2. Трунін К.С. Математичне моделювання тралового комплексу в умовах глибоководного промислу риби / Безпека мореплавання і її забезпечення при проектуванні і будівництві суден (БМС-2004): Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. — Миколаїв: НУК, 2004. — С. 131—132.
3. Поздєєв В.А., Трунін К.С. Математична модель зачепа за дно донного трала при глибоководному промислі / Безпека мореплавання і її забезпечення при проектуванні і будівництві суден (БМС-2004): Матеріали міжнародної науково-технічної конференції. — Миколаїв: НУК, 2004. — С. 128—130.
4. Бабаков И.М. Теория колебаний. — М.: Наука, 1965. — 864 с.

Отримана 10.05.05

K. Trunin

The dynamic system of "trawler-bottom trawl" of the catch to the floor obstacle under the condition

The Mykolaiv Branch of the European University, Mykolaiv

The warning task in the case of emergency when there's a catch of a trawler to the floor obstacle is very important for trawler navigation safety and for ensuring the safety of the trawl itself as well. As the trawl catches the floor obstacle, the wire bottom appears to be fixed at $t=0$. The vessel continuous moving in inertio and under the screw pressure so it strains the wire. As a result the vessel gets longitudinal vibrations. We'll see the solution of the given task with the help of Laplas transformation through time. We'll get the analytic picture of the wire power and the vessel dynamics.

Інформація

List of EUROMECH Conferences in 2006

EFMC6

The 6th EUROMECH Fluid Mechanics Conference

Dates: 26-30 June 2006

Location: KTH, Stockholm, Sweden. Contact: Email: efmc6@mech.kth.se

Website: www2.mech.kth.se/efmc/

ESMC6

6th European Solid Mechanics Conference (ESMC 2006)

Dates: 28 August — 1 September 2006

Location: Budapest University of Technology and Economics (BUTE), Budapest, Hungary

Contact: Fax: +36 1 463 3471. E-mail: esmc2006@mm.bme.hu; Website: http://esmc2006.mm.bme.hu