

Дослідження впливу нелінійно-пружних характеристик матеріалу на динаміку підводних тросових систем

Олександр Безверхий, Вікторія Корнієнко

Інститут механіки ім. С.П. Тимошенка НАН України
вул. П. Нестерова, 3, Київ, Україна, 03057, e-mail: vf_kornienko@ukr.net

Анотація. Досліджено вплив нелінійно-пружних характеристик матеріалу на параметри коливань тросових елементів заякореної конструкції з урахуванням розслаблень в окремих елементах в умовах розвинутого морського хвилювання, яке моделюється плоскими прогресивними хвилями.

Ключові слова: підводні тросові системи, нелінійно-пружні характеристики матеріалу, морське хвилювання.

ВСТУП

Підводні тросові системи широко використовуються при будівництві і експлуатації плавучих бурових платформ та інших гідроспоруд, в якості підводних ліній зв'язку, трубопроводів при видобутку корисних копалин і дослідженні профілю та ресурсів морського дна, а також в якості бонових огорожень для обмеження розливів нафти та гнучких біотехнічних споруд для вирощування морських організмів і водоростей та ін. Вони знаходяться під дією нерівномірно розподілених у просторі навантажень (течії, хвилі) і можуть бути доволіно закріплені на краях.

Значною проблемою функціонування гнучких протяжних конструкцій є поява ривків в тросах, які виникають внаслідок розслаблень та дії зовнішніх факторів. Тривала дія перемінних зусиль і ривкових ефектів негативно позначається на міцності і надійності роботи тросових систем. Тому сучасні тенденції проектування нових та удосконалення існуючих

гнучких протяжних підводних конструкцій і споруд спрямовані на використання матеріалів з нелінійно-пружними характеристиками [5, 6].

ВИКЛАД ОСНОВНОГО МАТЕРІАЛУ

Для гнучких елементів конструкцій, пружність яких нелінійна, залежність між силою натягу T і деформацією ϵ можна записати у вигляді [1, 6]

$$T = (C_E \epsilon + C_{E_1} \epsilon^2) H(\epsilon), \quad (1)$$

де T – сила натягу, $\epsilon = \frac{ds - dl}{dl}$ – відносне видовження, s , l – поточна координата до і після деформації, C_E , C_{E_1} – пружні постійні для лінійно та нелінійно-пружних матеріалів, $H(\epsilon) = 0$ при $\epsilon \leq 0$ і $H(\epsilon) = 1$ при $\epsilon > 0$ (функція Хевісайда, тобто враховується те, що гнучкі елементи працюють на розтягування і не працюють на стискування [1, 2]).

Рух тросової системи у потоці рідини досліджується в нерухомій системі координат $0x_1x_2x_3$. Для цього на гнучкому елементі обрано послідовність точок $P_i(x_{ki})$, $k = 1, 2, 3$, $i = 0, 1, \dots, N$ і введено природну параметризацію $x_{ki} = x_{ki}(l)$ від довжини дуги троса, що починає відлік від точки P_0 . На проміжку між точками P_i і P_{i+1} рух ділянки троса описано за допомогою радіус-векторів

$$\vec{R}_i = \sum_{k=1}^3 R_{ki} \vec{e}_k, \quad (2)$$

де R_{ki} – деякі функції, що виражають зв'язок довжин дуг троса і координат P_i точок в нерухомій системі координат, $\vec{e}_k$ – одиничний радіус-вектор.

Під час руху на гнучкий елемент тросової системи діють як масові, так і поверхневі (гідродинамічні сили). Інтенсивність останніх залежить від орієнтації гнучких елементів в потоці, параметрів потоку і параметрів конструкції. Для визначення гідродинамічних сил використано квазістаціонарну напівемпіричну модель [5].

Зроблено припущення, що переміщення конструкції можна представити за допомогою дискретного числа узагальнених координат. Приймаючи в якості узагальнених координат просторові координати точок $P_i(x_{ki})$ і використовуючи узагальнення принципу стаціонарності на динамічні задачі [3], запишемо рівняння руху гнучкого елемента тросової системи у формі Лагранжа II-го роду

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}_{kj}} \right) - \frac{\partial L}{\partial x_{kj}} = Q_{kj}, \quad (3)$$

де $k=1,2,3$, $j=\overline{0,N}$, x_{kj} – узагальнені координати, Q_{kj} – узагальнені сили від дії об'ємних, поверхневих та зосереджених сил, N – кількість узагальнених координат, $L = K - \Pi$, K – кінетична і Π – потенціальна енергія троса.

Потенціальна енергія розтягу для відрізку троса, пружність якого відповідає закону (1), буде

$$\begin{aligned} \Pi_{E_1} &= \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} \int_{l_i}^{l_{i+1}} T_i \varepsilon_i dl = \\ &= \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} \int_{l_i}^{l_{i+1}} (C_{Ei} \varepsilon_i + C_{E_{1i}} \varepsilon_i^2) H(\varepsilon_i) \varepsilon_i dl = \\ &= \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} L_i \int_0^1 H(\varepsilon_i) (C_{Ei} \varepsilon_i^2 + C_{E_{1i}} \varepsilon_i^3) d\xi. \end{aligned}$$

Похідна по узагальненим координатам від потенціальної енергії розтягу набуде вигляду

$$\begin{aligned} \frac{\partial \Pi_{E_1}}{\partial x_{kj}} &= \int_0^1 \sum_{i=0}^{N-1} L_i H(|\vec{\tau}_i| - 1) \times \\ &\times \left(C_{Ei} (|\vec{\tau}_i| - 1) + \frac{3}{2} C_{E_{1i}} (|\vec{\tau}_i| - 1)^2 \right) \frac{\partial}{\partial x_{kj}} (|\vec{\tau}_i|) d\xi, \end{aligned}$$

де $|\vec{\tau}_i| - 1 = \varepsilon_i$.

Кінетична енергія розтягу троса матиме вигляд

$$K = \frac{1}{2} \sum_{i=0}^{N-1} \int_{l_i}^{l_{i+1}} m_i \dot{\vec{R}}_i^2 dl.$$

Узагальнені сили від дії розподілених на трос сил будуть

$$Q_{kj} = \sum_{i=0}^{N-1} \int_{l_i}^{l_{i+1}} \vec{f}_i \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial x_{kj}} \left| \frac{\partial \vec{R}_i}{\partial l} \right| dl.$$

В узагальнених силах враховуються сила ваги $\vec{f}_w = \vec{g}m \left| \frac{\partial \vec{R}}{\partial l} \right|$, сила плавучості

$\vec{f}_{w*} = -\rho F \vec{g}$ і гідродинамічні сили: сила інерції приєднаної маси рідини, що залучається в сумісний рух, – пропорційна відносному прискоренню: $\vec{f}_a = C_a \ddot{\vec{u}}$ і сила опору руху в рідині – пропорційна квадрату відносної швидкості руху: $\vec{u} = \vec{v} - \dot{\vec{R}}$, $\vec{f}_c = C_n |\vec{u}_n| \vec{u}_n + C_\tau |\vec{u}_\tau| \vec{u}_\tau$. Коефіцієнти пропорційності C_n і C_τ при нормальному і дотичному обтіканні є функціями експериментальних коефіцієнтів опору K_n і K_τ , густини середовища ρ , поперечних розмірів троса (d_T – діаметр, P_T – периметр). Так, при стаціонарному обтіканні в діапазоні чисел $Re = 10^3 \div 10^6$, $K_n = 1,2$, $K_\tau = 0,02 \dots 0,005$. В результаті підстановки в рівняння руху (3) виразів для похідних від кінетичної та потенціальної енергії системи, виразів для узагальнених сил, а та-

кож врахування односторонності роботи троса [1, 2], одержано систему нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку в частинних похідних, що описують рух нелінійно-пружної тросової системи в рідині

$$\int_0^1 \sum_{i=0}^{N-1} L_i \left\{ m_i \ddot{\bar{R}}_i \frac{\partial \dot{\bar{R}}_i}{\partial x_{kj}} + m_i \dot{\bar{R}}_i \frac{\partial \dot{\bar{R}}_i}{\partial x_{kj}} - m_{ai} \left(\dot{\bar{V}} - \dot{\bar{R}}_i \right) |\bar{\tau}_i| \frac{\partial \bar{R}_i}{\partial x_{kj}} + H(|\bar{\tau}_i| - 1) \times \right. \\ \times \left(C_{Ei} (|\bar{\tau}_i| - 1) + \frac{3}{2} C_{Eii} (|\bar{\tau}_i| - 1)^2 \right) \frac{\partial}{\partial x_{kj}} (|\bar{\tau}_i|) + \\ \left. + \left\{ (\rho_c F_i |\bar{\tau}_i| - m_i) \bar{g} - \frac{C_{\tau i}}{|\bar{\tau}_i|} |\bar{\tau}_i| \left(\bar{V} - \dot{\bar{R}}_i \right) \bar{\tau}_i \left[\left(\bar{V} - \dot{\bar{R}}_i \right) \bar{\tau}_i \right] \frac{1}{|\bar{\tau}_i|^2} - \right. \right. \\ \left. \left. - \frac{C_{ni}}{|\bar{\tau}_i|} \left| \bar{\tau}_i \times \left(\bar{V} - \dot{\bar{R}}_i \right) \right| \left(\left(\bar{V} - \dot{\bar{R}}_i \right) \bar{\tau}_i \right)^2 - \right. \right. \\ \left. \left. - \bar{\tau}_i \left[\left(\bar{V} - \dot{\bar{R}}_i \right) \bar{\tau}_i \right] \frac{1}{|\bar{\tau}_i|^2} \right\} \frac{\partial \bar{R}_i}{\partial x_{kj}} \right\} d\xi = 0, \quad (4) \\ k = 1, 2, 3, \quad j = \overline{0, N}, \\ \bar{\tau}_i = \frac{\partial \bar{R}_i}{\partial l}, \quad \xi = \frac{l - l_i}{L_i}, \quad L_i = l_{i+1} - l_i.$$

Тут m_i , m_{ai} – погонна маса і приєднана маса рідини одиниці довжини троса, $\bar{R}_i$ – радіус-вектор, L_i – довжина відрізка розбиття, F_i – площа поперечного перерізу троса, $C_{\tau i}, C_{ni}$ – коефіцієнти опору руху в рідині при дотичному і нормальному обтіканні i -го відрізка троса, $\bar{V}$ – вектор швидкості потоку, ρ – густина рідини, $\bar{g}$ – вектор прискорення вільного падіння.

В якості початкових умов обрано початкове просторове розміщення системи, а початкові швидкості руху прийняті рівними нулю

$$x_{ki}(l_i, t) \Big|_{t=0} = x_{ki}(l_i), \\ \dot{x}_{ki}(l_i, t) \Big|_{t=0} = V_{ki}^0(l_i) = 0. \quad (5)$$

Крайові умови для одиночного троса, один кінець якого закріплений, а інший робить просторові коливання, набудуть вигляду

$$x_{k0} = X_{k0}, \quad x_{kN} = A_b \sin \omega t + X_{kN}, \\ \dot{x}_{k0} = 0, \quad \dot{x}_{kN} = A_b \omega \cos \omega t, \quad (6) \\ \ddot{x}_{k0} = 0, \quad \ddot{x}_{kN} = -A_b \omega^2 \sin \omega t,$$

де X_{k0} – координати точки закріплення; X_{kN} – просторові координати точки, де задані вимушені коливання; A_b – амплітуда вимушених коливань.

Для визначення радіус-векторів $\bar{R}_i$ задачу в частинних похідних зведено до системи нелінійних звичайних диференціальних рівнянь другого порядку. Для цього функцію зв'язку довжин дуг відрізків троса і просторових координат точок P_i записано за допомогою параметричних локальних сплайнів першого ступеня [4]. Використання таких сплайнів дозволяє визначати координати точок і кут нахилу дотичної в цих точках, не визначаючи довжину дуги інтерпольованої кривої. Радіус-вектор при цьому набуває такого вигляду

$$\bar{R}_i = \sum_{k=1}^3 (x_{ki} + (x_{ki+1} - x_{ki}) \xi) \bar{e}_k, \quad (7)$$

Фактично, це ламана, що проходить через систему точок P_i .

Оцінка похибки такого представлення визначається аналогічно [4]

$$\|R_s\| \leq \frac{\sqrt{2}}{8} L^2 \|K(l)\|_{\infty},$$

де $L = \max\{L_i\}$, $K(l)$ – кривизна осі троса.

Підставляємо (7) в (4) та проводимо інтегрування, в результаті чого отримуємо систему звичайних нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку відносно координат x_{kj} , яка є розрахунковою системою рівнянь руху для нелінійно-пружної тросової системи. При заданні

крайових умов (6) вона буде мати розмірність $3(N-1)$

$$\sum_{p=1}^{N-1} \ddot{x}_{kp} A_{pj} = F_{kj} - \ddot{x}_{ko} A_{oj} - \ddot{x}_{kN} A_{Nj}, \quad (8)$$

де $k=1,2,3$, $j=\overline{1,N-1}$, A_{pj} – елементи матриці A коефіцієнтів при других похідних, що являють собою інерційну дію; F_{kj} – вектор нелінійних функцій правих частин рівнянь.

В результаті одержимо задачу Коші для системи нелінійних звичайних диференціальних рівнянь, яка однозначно описує динамічний процес просторової неоднорідної тросової системи в рідині. Систему рівнянь розв'язуємо чисельно методом з застосуванням багатокрокових методів типу предиктор-коректор – методів Адамса і Гіра.

Розглянемо трос, один кінець якого закріплений на дні на глибині $H = 200$ м, а другий кінець прикріплений до плавучого об'єкта, при цьому трос розташовується під різноманітними кутами α до поверхні дна (Рис.1). Під дією хвилювання плавучий об'єкт безупинно переміщується, при цьому точка закріплення робить просторові коливання в напрямку осі $0x_1$ по гармонічному закону. Помістимо початок нерухомої системи координат на незбуреній поверхні води над точкою заякорення. Напрямок координатної осі $0x_3$ протилежний вектору прискорення вільного падіння $\vec{g}$, вісь $0x_1$ направлена уздовж проекції троса на незбурену поверхню води, а вісь $0x_2$ направлена так, щоб доповнювала трійку правої системи координат.

Крайові умови для троса, один кінець якого заякорений, а інший робить просторові коливання, мають вигляд (6).

Параметри троса: погонна маса троса $m = 3$ кг/м, площа перерізу $F = 0,0003$ м². Коефіцієнти гідродинамічного опору руху в рідині: дотична складова $C_{ti} = 0,78$ кг/м², нормальна складова

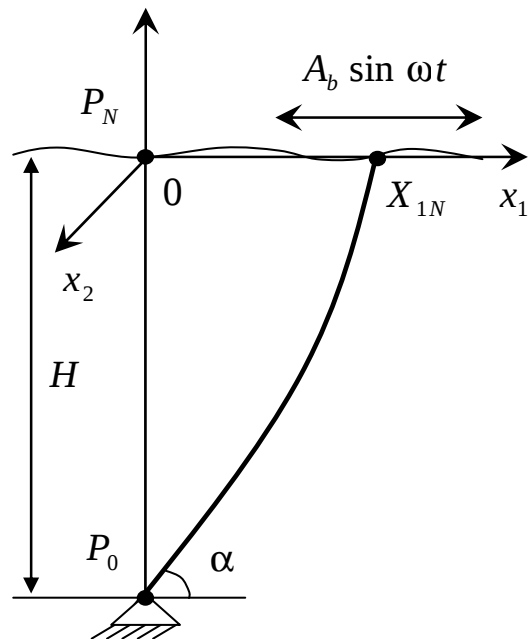


Рис. 1. Розрахункова схема системи заякорення з кінематичними крайовими умовами

Fig. 1. Design scheme of anchoring with kinematic boundary conditions

$C_{ni} = 15,6$ кг/м², коефіцієнт приєднаної маси $C_{ai} = 0,4$ кг/м.

При різноманітних періодах морського хвилювання, де залежність між періодом хвиль і їх амплітудою виражається по закону [5] $A = 0,085 \exp(0,75 \ln(gT_w^2/2\pi))$, досліджуємо коливання троса, розташованого під різними кутами $\alpha = 30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ при переміщенні точки P_N по осі $0x_1$. Координата розміщення точки кріплення троса до плаваючої конструкції в початкових умовах визначається як $X_{1N} = H \operatorname{ctg} \alpha$, де H – глибина точки заякорення (в даному випадку 200 м).

На Рис. 2 представлено зміну натягу у часі при вимушених коливаннях троса з періодом $T_w = 5,6$ с з врахуванням різних нелінійно-пружних характеристик матеріалу $C_{E1} = 0,1 \cdot C_E$ (крива 1) та $C_{E1} = 0,2 \cdot C_E$ (крива 2). Кут проектного нахилу троса складає $\alpha = 30^\circ$.

Видно, що при збільшенні коефіцієнта нелінійно-пружності матеріалу максимальна величина натягу в тросі зменшується несуттєво.

Розглянемо коливання троса, кут проектного нахилу якого складає 45° . На Рис. 3 показано залежність натягу від часу при вимушених коливаннях троса з періодом $T_w = 5,6 \text{ с}$ з врахуванням таких нелінійно-пружних характеристик матеріалу:

$C_{E_1} = 0,2 \cdot C_E$ (крива 1),
 $C_{E_1} = 0,1 \cdot C_E$ (крива 2), $C_{E_1} = 0,05 \cdot C_E$
 (крива 3) та $C_{E_1} = 0$ (крива 4), тобто залежність між натягом і деформацією лінійна як в законі Гука.

Видно, що при збільшенні коефіцієнта нелінійно-пружності матеріалу максимальна величина натягу зменшується до 20% від величини натягу конструкції із матеріалів, пружність яких відповідає лінійному закону Гука. При цьому бачимо,

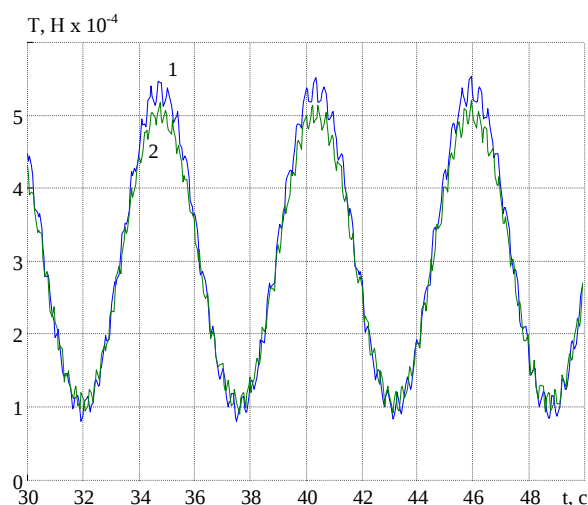


Рис. 2. Залежність натягу від часу при вимушених коливаннях $T_w = 5,6 \text{ с}$, $\alpha = 30^\circ$, $C_{E_1} = 0,1 \cdot C_E$ (крива 1), $C_{E_1} = 0,2 \cdot C_E$ (крива 2)

Fig. 2. The dependence of the tension from time to time in the forced oscillations $T_w = 5,6 \text{ с}$, $\alpha = 30^\circ$, $C_{E_1} = 0,1 \cdot C_E$ (curve 1), $C_{E_1} = 0,2 \cdot C_E$ (curve 2)

що вібрації, які виникають при розслабленні в нелінійно-пружних тросах, не зникають. При збільшенні кута нахилу з 30° до 45° при однакових коефіцієнтах нелінійно-пружності зміна величини натягу в тросі незначна.

Дослідимо динаміку троса, кут проектного нахилу до горизонтальної поверхні якого складає 60° . На Рис. 4 показана залежність натягу від часу при вимушених коливаннях троса з періодом $T_w = 5,6 \text{ с}$ з врахуванням нелінійно-пружних характеристик матеріалу: $C_{E_1} = 0,1 \cdot C_E$ (крива 1) та $C_{E_1} = 0,2 \cdot C_E$ (крива 2). Бачимо, що вплив коефіцієнта нелінійно-пружності на зміну величини натягу в тросі незначний. При збільшенні кута нахилу до горизонту при однакових коефіцієнтах нелінійно-пружності з 30° до 45° величина натягу майже не змінюється, а до 60° зменшується приблизно на 25%.

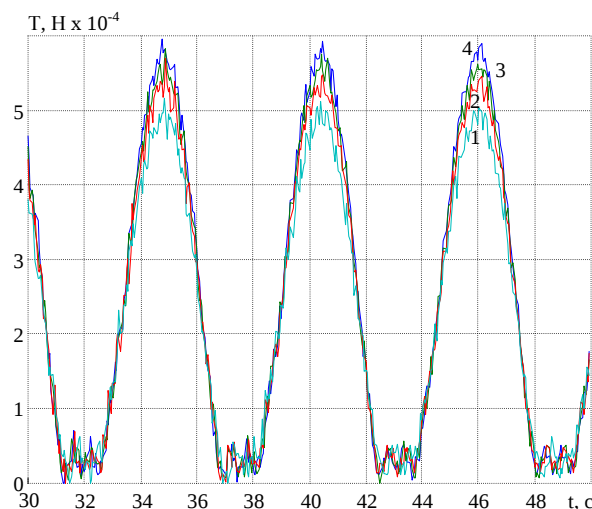


Рис. 3. Залежність натягу від часу при вимушених коливаннях $T_w = 5,6 \text{ с}$, $\alpha = 45^\circ$, $C_{E_1} = 0,2 \cdot C_E$ (крива 1), $C_{E_1} = 0,1 \cdot C_E$ (крива 2), $C_{E_1} = 0,05 \cdot C_E$ (крива 3) та $C_{E_1} = 0$ (крива 4)

Fig. 3. The dependence of the tension from time to time in the forced oscillations $T_w = 5,6 \text{ с}$, $\alpha = 45^\circ$, $C_{E_1} = 0,2 \cdot C_E$ (curve 1), $C_{E_1} = 0,1 \cdot C_E$ (curve 2), $C_{E_1} = 0,05 \cdot C_E$ (curve 3), $C_{E_1} = 0$ (curve 4)

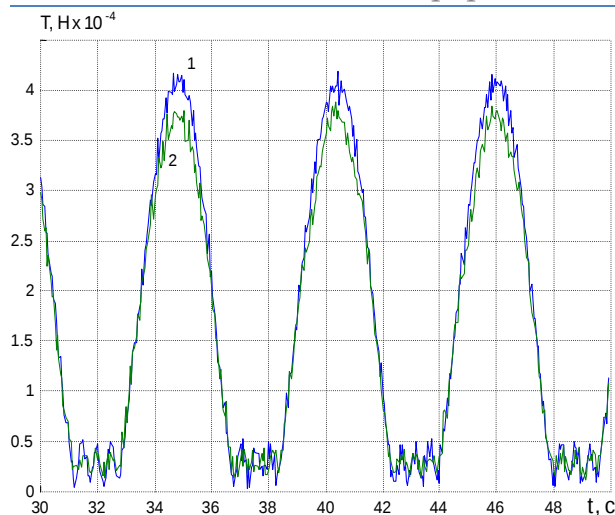


Рис.4. Залежність натягу від часу при вимушених коливаннях $T_w = 5,6 \text{ c}$, $\alpha = 60^\circ$, $C_{E1} = 0,1 \cdot C_E$ (крива 1), $C_{E1} = 0,2 \cdot C_E$ (крива 2)

Fig. 4. The dependence of the tension from time to time in the forced oscillations $T_w = 5,6 \text{ c}$, $\alpha = 60^\circ$, $C_{E1} = 0,1 \cdot C_E$ (curve 1), $C_{E1} = 0,2 \cdot C_E$ (curve 2)

Дослідимо вплив коефіцієнта нелінійно-пружності на зміну величини натягу в різних точках гнучкого елемента.

На Рис. 5 зображена зміна натягу в різних точках по довжині троса в залежності від величини коефіцієнта нелінійно-пружності матеріалу. При загальному зменшенні натягу з ростом коефіцієнту нелінійно-пружності по довжині троса зміна відбувається нерівномірно. Це можна пояснити тим, що різні відрізки троса мають різний дійсний кут нахилу.

ВИСНОВКИ

1. Досліджено вплив нелінійно-пружних характеристик матеріалу на параметри коливань гнучких елементів заякореної конструкції в умовах розвинутого морського хвилювання, яке моделюється плоскими прогресивними хвилями.

2. Одержані амплітудно-частотні та силові характеристики вимушених просторових коливань гнучких елементів конструкцій з нелінійно-пружних матері-

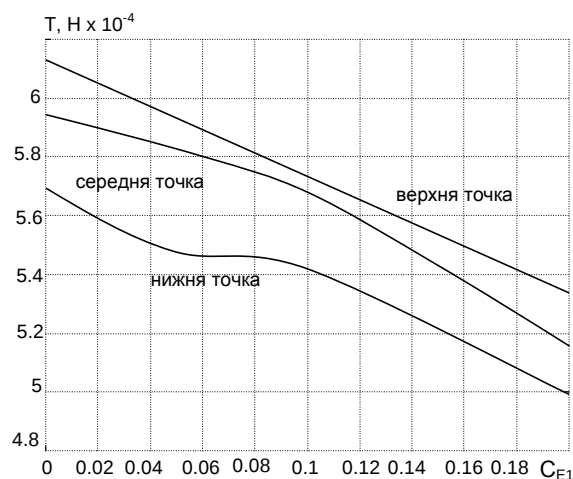


Рис. 5. Залежність натягу в різних точках по довжині троса від величини коефіцієнта нелінійно-пружності матеріалу

Fig. 5. Dependence of tension at different points on length the cable on the value of the coefficient of nonlinear elasticity of the material

алів та проведені їх порівняння для елементів з пружними властивостями.

3. При збільшенні коефіцієнта нелінійно-пружності матеріалу максимальна величина натягу в тросі зменшується в межах 20% порівняно з величиною натягу в тросі із матеріалу, пружність якого відповідає лінійному закону Гука; при цьому вібрації, які виникають після розслаблення в нелінійно-пружних гнучких елементах, не зникають.

4. При загальному зменшенні натягу з ростом коефіцієнта нелінійно-пружності по довжині троса зміна відбувається нерівномірно. Це можна пояснити тим, що різні ділянки троса мають різний дійсний кут нахилу до горизонту (поверхні дна).

ЛІТЕРАТУРА

1. Баженов В.А., Гоцуляк Е.А., Кондаков Г. С., Оглобля А.И., 1989. Устойчивость и колебания деформируемых систем с односторонними связями. Киев, Выща школа, 399.

2. **Безверхий А.И., Шульга Н.А., 1994.** Расчет динамики тросовой системы в жидкости при их односторонней работе. Прикладная механика, 30, № 4. 38-43.
3. **Васидзу К., 1987.** Вариационные методы в теории упругости и пластичности. Москва, Мир, 542.
4. **Завьялов Ю.С., Квасов Б.И., Мирошниченко В.Л., 1980.** Методы сплайн-функций. Москва, Наука, 352.
5. **Ньюмен Дж., 1985.** Морская гидромеханика. Ленинград, Судостроение, 368.
6. **Шульга М.О., Безверхий О.І., Корнієнко В.Ф., 2003.** Динаміка гнучких протяжних одномірних систем з нелінійно-пружними характеристиками при взаємодії з зовнішнім середовищем. Доповіді НАН України, № 3, 59-63.

REFERENCES

1. **Bazhenov V.A., Gotsulyak E.A., Kondakov G.S., Ogloblya A.I., 1989.** Stability and oscillations of deformable systems with unilateral constraints. Kyiv, Vyshcha shkola Publ., 399 (in Russian).
2. **Bezverkhyi O.I., Shulha M.O., 1994.** Calculation of the dynamics of cable system in the liquid at their unilateral operation. Int. Appl. Mech., 30, Nr. 4, 38-43 (in Russian).
3. **Vasidzu K., 1987.** Variational methods in the theory of elasticity and plasticity. Moscow, Mir Publ., 542 (in Russian).
4. **Zavyalov Yu.S., Kvasov B.I., Miroshnichenko V.L., 1980.** Methods of spline functions. Moscow, Nauka Publ., 352 (in Russian).
5. **Nyumen Dzh., 1985.** Marine Hydromechanics. Leningrad, Sudostroenie Publ., 368 (in Russian).
6. **Shulha M.O., Bezverkhyi O.I., Korniienko V.F., 2003.** Dynamics of flexible elongated one-dimensional systems with nonlinear elastic characteristics in the interaction with the external medium. Dopovidi NAN Ukrainy. Nr.3, 59-63 (in Ukrainian).

INVESTIGATION OF THE INFLUENCE OF NONLINEAR ELASTIC CHARACTERISTICS OF THE MATERIAL ON THE DYNAMICS OF SUBMARINE CABLE SYSTEMS

Oleksandr Bezverkhyi, Viktoriia Korniienko

S.P. Timoshenko Institute of Mechanics National Academy of Sciences of Ukraine
P. Nesterov str, 3, Kyiv, Ukraine, 03057,
e-mail: vf_korniienko@ukr.net

Summary. To investigate the influence of nonlinear elastic characteristics of material on parameters of oscillations of cable elements of an anchor structures considering loosening in separate elements developed in terms of sea waves which.

To study the dynamics of submarine cable systems are applied numerical and analytical methods. To construct a discrete-continuum equations of motion applied Lagrange formalism. Initial-boundary value problems are reduced to the Cauchy problems by the methods of spline functions. Numerical integration of stiff systems of ordinary nonlinear differential equations performed by the Adams and Gear methods.

The study received amplitude-frequency and power characteristics of the forced vibrations of ropes of spatial nonlinear elastic materials and conducted comparing them for flexible elements with elastic properties. By increasing the nonlinear coefficient of elasticity of the material the maximum value of the tension in the tether is reduced within 20% in comparison with the tension in the cable from a material the elasticity of which corresponds to a linear Hooke's law. When this vibration occurring after relaxation in nonlinear elastic flexible member, not disappear.

The work was made possible to construct a mathematical model and software of forced oscillations submarine cable systems with nonlinear elastic flexible elements.

A study of the dynamics of submarine cable systems of polymeric nonlinear elastic materials.

Key words: submarine cable systems, nonlinear elastic characteristics of material, sea waves.