

О.В. ІВАНОВСЬКА

Керченський державний морський технологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ РОБОТИ ВАНТАЖОПІДЙОМНИХ МЕХАНІЗМІВ ІЗ ЗМІННИМИ ПАРАМЕТРАМИ НА ПРИКЛАДІ НЕВОДОВИБОРочної МАШИНИ

© Івановська О.В., 2011

Отримано математичну модель динаміки роботи вантажопідйомного механізму із змінними параметрами на прикладі неводовиборочної машини. Знайдено аналітичне рішення. Отримані залежності характеристик коливного процесу цієї системи.

The mathematical model of dynamics of work of mechanism for getting up of load with variable parameters is got on the example of power block crane for purse net. An analytical decision is found. Dependences of descriptions of swaying process of this system are got.

Постановка проблеми. Для оцінювання міцнісних властивостей машини необхідне знання динамічних навантажень, які визначаються обурюючими діями і в'язкопружними властивостями механічної системи. Багато машин залежно від режиму роботи змінюють свою еквівалентну схему і, зрештою, розпадаються на ряд одномасових механічних систем.

Так, неводовиборочна машина після зупинки органа навівки (барабана) перетворюється на дві незалежні одномасові системи. Перша – збігаюча вітка джгута невода, друга – набігаюча вітка джгута з уловом. Верхні кінці джгутів закріплені до барабанів. В цих двох механічних системах після зупинки машини здійснюються незалежні вільні коливання кінцевих мас. Характеристики коливальних процесів в системі визначаються масами, жорсткістю елементів і коефіцієнтами дисипації, а також початковими умовами в момент зупинки машини. Знати ці характеристики жорсткості елементів і коефіцієнтів дисипації важливо, оскільки у багатьох установках максимальні динамічні навантаження виникають якраз після зупинки машини, тобто тоді, коли машина “розпалась” на окремі одномасові механічні системи. Величина динамічних навантажень визначається початковими умовами процесу вільних коливань. Початкові умови, своєю чергою, сформувалися діями на машину під час розгону або гальмування, а також динамічними властивостями системи.

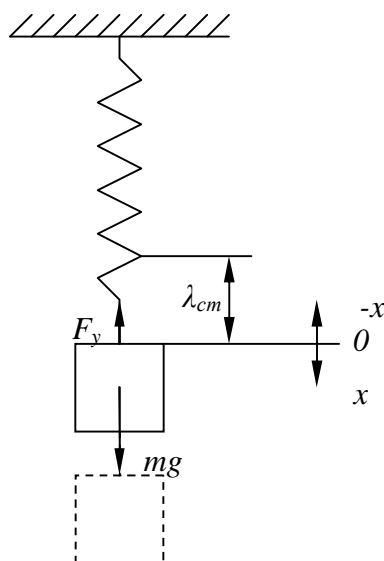


Рис. 1

Аналіз останніх досліджень. Сьогодні дослідження в галузі динаміки роботи неводовиборочної машини розглянуто в роботах [1, 4, 5]. Акцент робиться на числових методах розв'язання, а у випадку знаходження аналітичного розв'язку вводяться спрощення, що впливають на опис кількісних і якісних характеристик досліджуваного процесу. Тому знаходження аналітичного розв'язку цієї задачі, що враховує всі визначальні чинники процесу, є актуальним.

Мета дослідження. Метою дослідження є знаходження аналітичного розв'язку задачі моделювання коливальних процесів, що відбуваються у вантажопідйомних механізмах зі змінними параметрами після зупинки на прикладі неводовибірочної машини.

Результати дослідження. Після зупинки роботи неводовибірочної машини відбувається виливання улову. В цей час барабани машини нерухомі, й вітка джгута невода з уловом на кінці представляється одномасовою системою, в якій маси змінюються у функції часу.

Розглянемо динамічні процеси цієї одномасової механічної системи з в'язкопружними елементами. На рис. 1 наведено принципову схему системи після зупинки машини. Маса m з'єднана з барабаном за допомогою в'язкопружного джгута невода. Після зупинки машини верхній кінець джгута залишається нерухомим. Маса m зменшується за лінійним законом і здійснює при цьому вільні коливання.

Під дією власної ваги і ваги маси m джгут невода має статичне подовження, визначуване силами від половини власної ваги джгута і повної ваги вантажу

$$l_{cm} = \frac{g}{c} \left(m + \frac{m_n}{2} \right), \quad (1)$$

де m_n – маса в'язкопружного елемента, тобто джгута невода.

Якщо масу m вивести із стану рівноваги, допустимо, перемістити на відстань і відпустити, то остання здійснюватиме коливання відносно точки O . Оскільки точку O (початок координат коливального процесу) вибрано з врахуванням статичної деформації, дії сил від ваги маси і джгута невода не враховуються. Отже, на масу m діють сили пружності

$$F_y = m_x \ddot{x} + c_x x, \quad (2)$$

де m_x – коефіцієнт, що характеризує дисипативні властивості одномасової системи; c_x – подовжня жорсткість джгута невода.

Оскільки маса в'язкопружного елемента, тобто джгута невода велика, то вона помітно впливає на динамічний процес. Тому за принципом Релея, еквівалентна маса джгута, приведена до маси вантажу, дорівнює $m_e = \frac{1}{3} m_n$. Тоді величина маси, що бере участь у динамічному процесі, буде

$$m_x = m + \frac{1}{3} m_n. \quad (3)$$

В описуваному процесі після зупинки неводовибірочної машини відбувається виливання улову, тобто маса вантажу зменшується за лінійним законом

$$m = m(t) = m_0 (1 - kt), \quad (4)$$

де m_0 – початкова маса улову.

Отже, маса системи дорівнює

$$m_x = m_0 (1 - kt) + \frac{1}{3} m_n. \quad (5)$$

За принципом Даламбера, рівняння руху еквівалентної маси запишемо у вигляді

$$m_x \frac{d^2 x}{dt^2} = -F_y$$

або
$$m_x \frac{d^2 x}{dt^2} + m_x \frac{dx}{dt} + c_x x = 0. \quad (6)$$

Коефіцієнт m_x , що характеризує сили в'язкого опору, визначимо як

$$m_x = 2m_x \frac{d}{T} + a, \tag{7}$$

де d – логарифмічний декремент коливань; T – період коливань у системі; a – поправковий коефіцієнт.

З того, що $T = \frac{2p}{w}$, де частота коливань $w = \sqrt{\frac{c_x}{m_x}}$, отримаємо

$$m_x = 2m_x \frac{d}{2p} \sqrt{\frac{c_x}{m_x}} + a = \frac{d}{p} \sqrt{c_x m_x} + a = \frac{d}{p} \sqrt{c_x \left[m_0(1-kt) + \frac{1}{3} m_n \right]} + a. \tag{8}$$

З врахуванням цього диференціальне рівняння руху має вигляд

$$\left[m_0(1-kt) + \frac{1}{3} m_n \right] \frac{d^2 x}{dt^2} + \left\{ \frac{d}{p} \sqrt{c_x \left[m_0(1-kt) + \frac{1}{3} m_n \right]} + a \right\} \frac{dx}{dt} + c_x x = 0. \tag{9}$$

Отримане рівняння є однорідним лінійним диференціальним рівнянням із змінними коефіцієнтами. Знайдемо аналітичний розв’язок цього рівняння, використовуючи запропоновану нами раніше методику інтегрування окремого класу диференціальних рівнянь із змінними коефіцієнтами [2, 6].

Згідно з достатніми умовами інтегрування, коефіцієнти при похідних повинні знаходитися в певній залежності.

Нехай вихідне диференціальне рівняння в загальному вигляді можна записати як

$$a_0(t) \frac{d^2 x}{dt^2} + a_1(t) \frac{dx}{dt} + a_2(t) x = 0. \tag{10}$$

Тоді для інтегрування в квадратурах достатньо, щоб

$$\begin{cases} a_1(t) = \frac{C_1}{\sqrt{C_0}} \sqrt{a_0(t)} + \frac{\Phi(t)}{2}, \\ a_2(t) = const \end{cases} \tag{11}$$

де C_0, C_1 – постійні коефіцієнти.

Оскільки коефіцієнти рівняння, що описує рух системи, задовольняють ці умови

$$\begin{aligned} a_0(t) &= m_0(1-kt) + \frac{1}{3} m_n \\ a_1(t) &= \frac{d}{p} \sqrt{c_x \left[m_0(1-kt) + \frac{1}{3} m_n \right]} - \frac{m_0 k}{2} \\ a_2(t) &= c_x, \end{aligned} \tag{12}$$

то введемо нову змінну $z = f(t)$ та отримаємо нове диференціальне рівняння з постійними коефіцієнтами C_0, C_1, C_2 , з похідними за змінною z

$$C_0 \frac{d^2 x}{dz^2} + C_1 \frac{dx}{dz} + C_2 x = 0. \tag{13}$$

Припустимо, що $C_0 = \frac{1}{c_x}, C_1 = \frac{d}{p}, C_2 = c_x, a = \frac{m_0 k}{2}$.

Тоді визначна функція

$$z = f(t) = \sqrt{C_0} \int \frac{dt}{\sqrt{a_0(t)}} = \frac{1}{\sqrt{c_x}} \int \frac{dt}{\sqrt{m_0(1-kt) + \frac{1}{3} m_n}} = -\frac{2}{m_0 k \sqrt{c_x}} \sqrt{m_0(1-kt) + \frac{1}{3} m_n}. \tag{14}$$

Отримане диференціальне рівняння з постійними коефіцієнтами

$$\frac{1}{c_x} \frac{d^2 x}{dz^2} + \frac{d}{p} \frac{dx}{dz} + c_x x = 0 \quad (15)$$

має розв'язок

$$x(z) = e^{-bz} (K_1 \cos jz + K_2 \sin jz), \quad (16)$$

де $2b = \frac{dc_x}{p}$ і $j^2 = c_x^2 - b^2$.

Повертаючись до вихідної змінної t , отримаємо

$$x(t) = e^{\frac{2b}{m_0 k \sqrt{c_x}} \sqrt{m_0(1-kt) + \frac{1}{3} m_H}} \left\{ K_1 \cos \left(-\frac{2j}{m_0 k \sqrt{c_x}} \sqrt{m_0(1-kt) + \frac{1}{3} m_H} \right) + \right. \\ \left. + K_2 \sin \left(-\frac{2j}{m_0 k \sqrt{c_x}} \sqrt{m_0(1-kt) + \frac{1}{3} m_H} \right) \right\} \quad (17)$$

де K_1 і K_2 – постійні інтегрування.

Для кошелькового невода 740×200 м [3], параметри якого $m_H = 20,6$ т, $c_x = 300$ кН/м, $d = 0,15$, початкової маси улову $m_0 = 50$ т, $k = 0,01$, за початкових умов $x_0 = 0,5$ м, $\dot{x}_0 = 0$ м/с графік вільних коливань має вигляд (рис. 2).

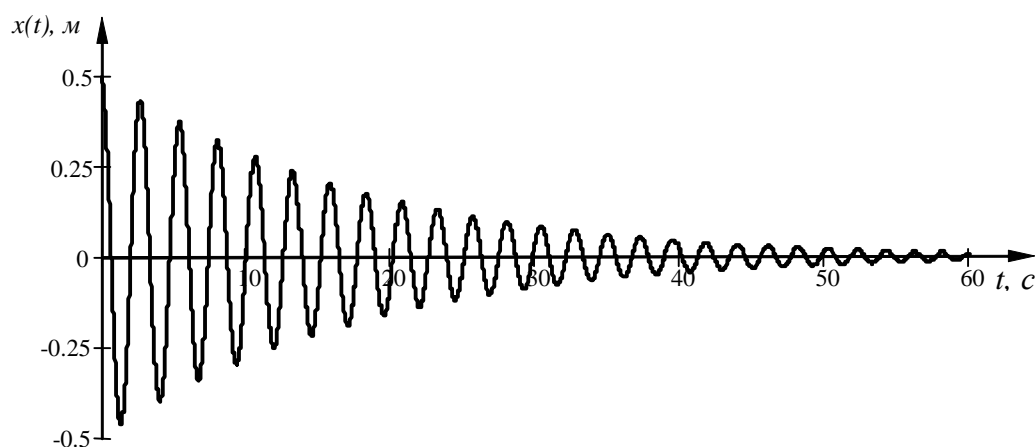


Рис. 2

Частота та період вільних коливань також є функціями часу (рис. 3, 4)

$$w = \sqrt{\frac{c_x}{m_0(1-kt) + \frac{1}{3} m_H}} \quad (18)$$

$$T = \frac{2p}{w} = 2p \sqrt{\frac{m_0(1-kt) + \frac{1}{3} m_H}{c_x}} \quad (19)$$

Повне натягнення джгута невода в точці кріплення його до барабана визначається як

$$F = \left[m_0(1-kt) + \frac{1}{3} m_H \right] g + c_x \cdot x(t). \quad (20)$$

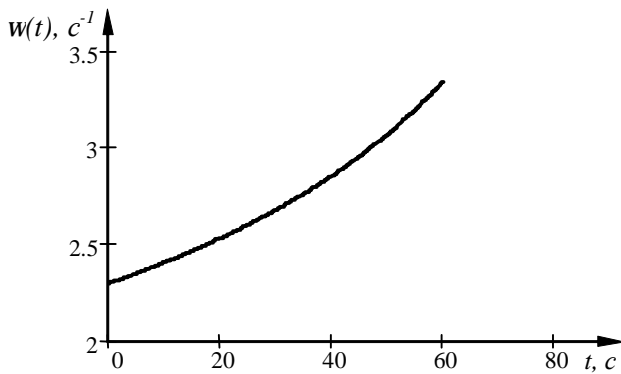


Рис. 3

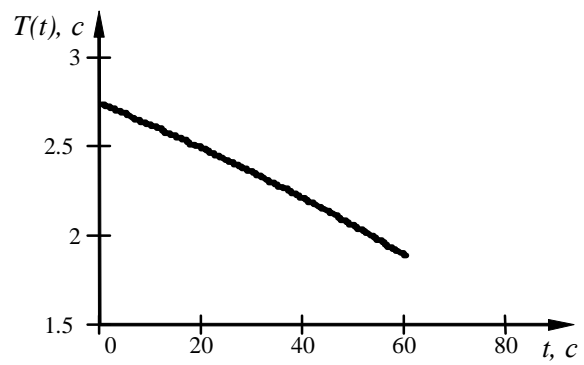


Рис. 4

Для досліджуваної системи натягнення є спадною функцією, графік якої зображено на рис. 5.

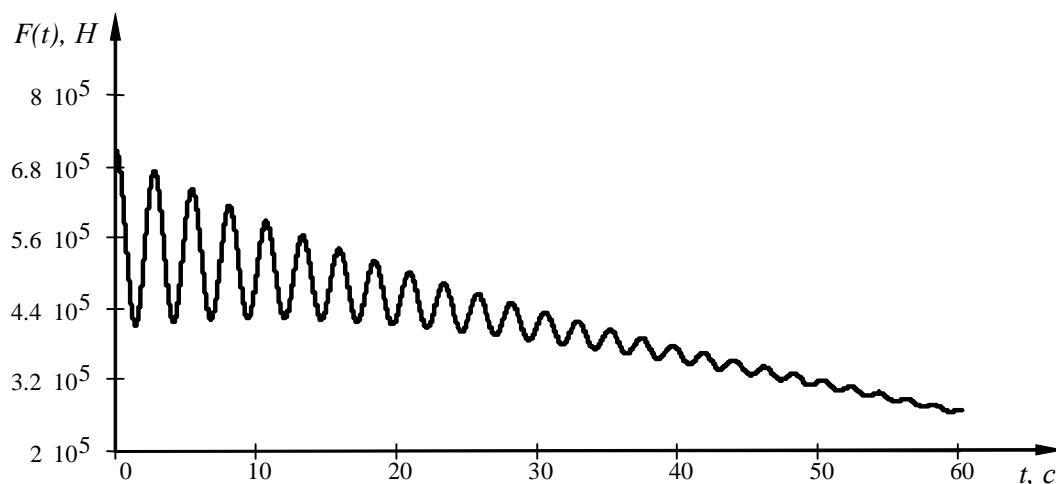


Рис. 5

Висновки. У результаті проведених досліджень вперше отримано аналітичний розв'язок динаміки роботи неводовибірочної машини в період вивантаження улову. Отримані результати можуть бути використані при проектуванні неводовибірочного комплексу, а також використовувана методика може бути застосована для дослідження подібних механічних систем.

1. Ивановская А.В. Взаимодействие промыслового судна и кошелькового невода при кошельковании // Рыбное хозяйство Украины: Спецвыпуск. Подготовлен по материалам IV Международной научно-практической конференции "Морские технологии: проблемы и решения – 2006", г. Керчь, 7/2006. 2. Кислый А.А., Ивановская А.В. О свободном движении системы с переменными параметрами: Сборник научных трудов Керченского государственного морского технологического университета "Механизация производственных процессов рыбного хозяйства, промышленных и аграрных предприятий". – Керчь, 2009. – №10. – С. 27–30. 3. Пахомов Г.Н., Лисовой А.П., Соловьев Ю.Я. Техника и тактика кошелькового лова в Атлантике. – Калининград: Кн.изд-во, 1977. – 128 с. 4. Торбан С.С. Промысловые механизмы для комплексной механизации кошелькового лова рыбы. – М.: Пищевая промышленность, 1971 – 384 с. 5. Фридман А.Л. Теория и проектирование орудий промышленного рыболовства. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981. – 328 с. 6. Ivanovskaya A. The research of the dynamic of the mechanical system with variable parameters. *Journal of Vibroengineering*, December 2010, volume 12, issue 4, pages 494 – 499.