

Література

1. Коломнінова М.В. Машини й механізми для боротьби з лісовими пожежами: метод. вказівки / М.В. Коломнінова // УІТУ. – Ухта, 2008. – 43 с.
2. Кузнецов Н.Е. Математическая модель генерации автоколебаний рабочего органа культиватора / Н.Е. Кузнецов, Д.С. Ганич, Е.А. Назаров // Известия Нижегородского агроуниверситетского комплекса / НВАУК. – Волгоград, 2011. – Вып. № 4. – С. 1–6.
3. Назаров Е.А. Оптимизация упругих связей культиваторного МТА с трактором класса 5: автореф. на соискание ученой степени канд. техн. наук: спец. 05.20.01 / Е.А. Назаров. – Волгоград, 2010. – 20 с.
4. Семків О.М. Метод визначення особливих траєкторій коливань вантажу 2d-пружинного маятника / О.М. Семків // Вісник ХНАДУ / ХНАДУ. – Харків, 2015. – № 71. – С. 36–44.
5. Семків О.М. Особенности геометрической формы колебаний груза 2d-пружинного маятника / О.М. Семків // VII Международная конференция по научному развитию Евразии. – Вена, 2015. – С. 214–217.

**СХЕМА РАЗРЫХЛИТЕЛЯ ГРУНТА МАШИНЫ
ДЛЯ ТУШЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ СПОСОБОМ
ГРУНТОМЕТАНИЯ**

Семків О.М., Адашевская И.Ю.

Рассмотрена схема разрыхлителя грунта машины для тушения лесных пожаров способом грунтометания, который не будет противодействовать движению машины, а также позволит реагировать на различные включения в почве.

Ключевые слова: разрыхлитель грунта, уравнение Лагранжа второго рода, упругий элемент, коэффициент жесткости.

**SCHEME OF RIPPER MACHINE FOR FOREST FIRE
EXTINGUISHING IN THE WAY OF SOIL TOSSING**

O. Semkiv, I. Adashevskaya

The scheme of ripper machine for forest fire extinguishing in the way of soil tossing that will not counteract the movement of the machine, and will respond to the various inclusions in the soil is studied.

Keywords: ripper, Lagrange equation of the second kind, the elastic member, stiffness coefficient.

**ВИВЧЕННЯ КОЛИВАННЯ ПРУЖИННОГО МАЯТНИКА ПІД
ВІЗКОМ НА ПРИКЛАДІ МОДЕЛІ ПІДВІСКИ ВЕРТОЛЬОТА**

Семків О.М., к.т.н.

Національний університет цивільного захисту України (м. Харків),

Морозова Г.В., к.т.н.

*Український державний університет залізничного транспорту
(м. Харків)*

Розглянуто метод визначення нехаотичної траєкторії руху вантажу на зовнішній тросовій підвісці вертольоту за умов врахування пружних властивостей тросу.

Ключові слова: тросова підвіска вертольоту, пружні властивості тросу, Лагранжіві, рівняння Лагранжіві другого роду.

Постановка проблеми. Транспортування вантажів на зовнішній тросовій підвісці вертольотів досягло своєї ефективності на монтажних і аварійно-рятувальних роботах. Доставка вертольотом води для гасіння лісових пожег є ефективним методом їх ліквідації. Але неконтрольоване розгойдування вантажу у подовжньо-поперечному напрямку може спричинити аварійну ситуацію. Боротьба з такими коливаннями досягається зниженням швидкості польоту або виконанням вертикальних чи горизонтальних прискорень вертольота, що суттєво збільшить від майстерства пілота [1]. Тому актуальними будуть роботи, пов'язані з дослідженням умов руху точки підвісу вантажу, щоб якнайшвидше позбавити коливання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Існує велика кількість робіт, присвячених динаміці руху зовнішньої тросової підвіски вертольотів (див. перелік у дисертації [1]). Кінцева мета таких досліджень полягає у створенні апаратних засобів, здатних допомогти пілоту у разі виникнення аварійних ситуацій. Для цього складаються і досліджуються різноманітні математичні моделі для опису процесу коливань тросової підвіски. Для осмислення фізики процесу і з'ясування ключових факторів часто розглядаються спрощені моделі зв'язки, які зв'язані між собою за допомогою більш точних моделей або аналітично запрограмовано. У роботі [2] вважається, що коливання тросової підвіски відбуваються в підвішенні. У моделях робіт [3, 4] вантаж на тросовій підвісці розглядається як сферичний маятник з рухомою точкою підвісу. Але для адекватного опису процесу коливань необхідно врахувати і пружні властивості

зовнішньої тросової підвіски вертольотів.

Формулювання цілей статті. Розробити метод визначення нехаотичної траєкторії руху вантажу на зовнішній тросовій підвісці вертольоту за умови врахування пружних властивостей тросу.

Основна частина. Як тросові підвіски вертольотів все частіше використовуються сучасні синтетичні матеріали типу «Kevlar» або «Dyneema», які набагато перевищують міцність сталевих виробів і при цьому набагато легші. Однак, синтетичні матеріали є еластичними, і цю властивість необхідно враховувати під час розрахунків. Зазначимо, що для деяких волокон подовження може досягати 1%–3% довжини тросу.

Розглянемо коливання системи «вертоліт-вантаж», коли переміщення точки підвісу і вантажу відбуватимуться в одній площині. Приймемо такі допущення [2]: невагомий трос підвіски є пружним у поперечному напрямку і незмінним у поздовжньому напрямку, шарнір у точці підвісу вантажу є ідеальним, аеродинамічне демпфування коливань відсутнє, вантаж має форму кулі, радіус якої значно менше довжини троса, трос кріпиться до вантажу у центрі його маси.

Схема коливної системи (у літературі «маятник під візком») показана на рис. 1, де m_1 – маса вертольота, m_2 – маса вантажу, d – довжина троса, коефіцієнт жорсткості якого дорівнює k . Крім того, як узагальнені координати обрано: $u(t)$ – горизонтальне зміщення вертольота, $v(t)$ – кут відхилення троса від вертикалі, і $w(t)$ – пружне подовження троса.

Для дослідження динамічних характеристик зовнішньої підвіски вертольота було складено і розв'язано відносно узагальнених координат систему рівнянь Лагранжа другого роду. Для цього використано [3] загранижан $L = K - P$, де формули для кінетичної і потенціальної енергій такі:

$$K = \frac{1}{2} (m_1 + m_2) \left(\frac{d}{dt} u(t) \right)^2 + \frac{1}{2} m_2 \left[\left(\frac{d}{dt} w(t) \right)^2 + w(t)^2 \left(\frac{d}{dt} v(t) \right)^2 + \left(\frac{d}{dt} w(t) \right)^2 \sin^2 v(t) + w(t) \left(\frac{d}{dt} w(t) \cos v(t) \right)^2 \right]$$

$$P = m_2 g w(t) \cos v(t) + \frac{1}{2} k w(t)^2$$

Система рівнянь Лагранжа другого роду має вигляд

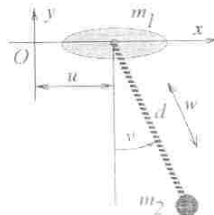


Рис. 1. Схема тросової підвіски вертольота

$$(m_1 + m_2) \left(\frac{d^2}{dt^2} u(t) \right) + \frac{1}{2} m_2 \left[2 \left(\frac{d}{dt} w(t) \right) \frac{d}{dt} v(t) \right] =$$

$$+ 4 \left(\frac{d}{dt} w(t) \right) \cos v(t) \left(\frac{d}{dt} v(t) \right) + 2 w(t) \left(\frac{d^2}{dt^2} v(t) \right) \cos v(t) -$$

$$2 w(t) \left(\frac{d}{dt} v(t) \right) \sin v(t) = 0$$

$$\frac{1}{2} m_2 \left[4 w(t) \left(\frac{d^2}{dt^2} v(t) \right) + 4 w(t) \left(\frac{d^2}{dt^2} v(t) \right) + 4 \left(\frac{d}{dt} w(t) \right) \left(\frac{d}{dt} v(t) \right) \sin v(t) \right] =$$

$$+ 2 \left(\frac{d}{dt} w(t) \right) \left(\frac{d}{dt} v(t) \right) \sin v(t) - 2 \left(\frac{d}{dt} w(t) \right) w(t) \sin v(t) \left(\frac{d^2}{dt^2} v(t) \right) -$$

$$- m_2 \left(\frac{d}{dt} w(t) \right) \left[\left(\frac{d}{dt} w(t) \right) \cos v(t) - w(t) \left(\frac{d}{dt} v(t) \right) \sin v(t) \right] + m_2 g w(t) \cos v(t) = 0$$

$$\frac{1}{2} m_2 \left[2 \left(\frac{d^2}{dt^2} w(t) \right) + 2 \left(\frac{d}{dt} w(t) \right) \sin v(t) + \cos v(t) \left(\frac{d}{dt} w(t) \right) \right] =$$

$$- \frac{1}{2} m_2 \left[2 w(t) \left(\frac{d}{dt} v(t) \right)^2 + 2 \left(\frac{d}{dt} w(t) \right) \sin v(t) \left(\frac{d}{dt} v(t) \right) - 2 g w(t) \cos v(t) - k w(t) \right] = 0$$

Розв'язувати цю систему рівнянь будемо чисельно [4,5] за допомогою методу Рунге-Кутти і початковими умовами $u(0) = u_0$, $u'(0) = Du_0$, $v(0) = v_0$, $v'(0) = Dv_0$ і за умови визначення швидкості подовження Dw_0 тросу вивести від інших сталих параметрів схеми. Для аналізу (4) обираємо наступні параметри (усі в умовних одиницях): $m_1 = 6,5 \cdot 10^3$ – маса вертольота; $m_2 = 10^3$ – маса вантажу; $k = 8 \cdot 10^3$ – коефіцієнт жорсткості тросу; $d = 50$ – довжина тросу; $g = 9,81$.

У процесі обчислень необхідно враховувати швидкість подовження Dw_0 тросу, причому якщо забезпечити нехаотичну траєкторію переміщення вантажу. Розв'язувати систему рівнянь будемо чисельним методом Рунге-Кутти з умовами $u(0) = 0$, $u'(0) = 0$, $v(0) = 0,01$, $v'(0) = 0$, $w(0) = 10$. В результаті будемо отримати зображення інтегральної кривої у фазовому просторі (u, Dv, v) , яке відображатиме від певного значення чотирьоховий лічильник Dw_0 . При певних початкових значеннях Dw_0 у фазовому просторі (u, Dv, v) утвориться відсутня інтегральна крива, зображення якої на фазовій площині (u, Dv) також буде чотирьоховим. Фазовий простір тросу (5,а), що спричинить хаотичний рух вантажа, можна побачити в разі малих значень жорсткості пружності тросу або коливаннях і характер фазової траєкторії. При критичному значенні Dw_0 траєкторія зміниться на якесьомо рівні – відтвориться в нехаотичну криву (рис. 2,б). На рис. 2,а) показано відповідні графіки функцій $u(t)$ та $v(t)$.

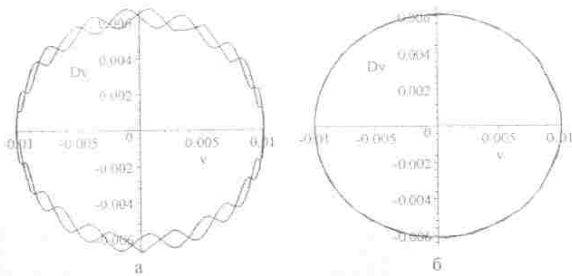


Рис. 2. Фазові траєкторії для:

а) випадкового значення Dv_0 ; б) обчисленого значення $Dv_0 = 0$

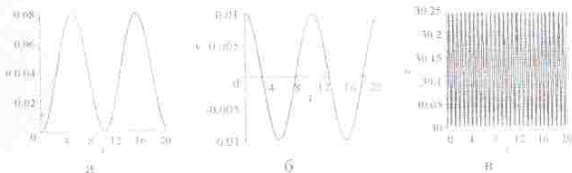


Рис. 3. Графіки функцій: а) $u(t)$; б) $v(t)$; в) $w(t)$

Отже, у розглянутому прикладі урахування значення $Dv_0 = 0$ у процесі розв'язання системи рівнянь Лагранжа другого роду дозволяє наближено обчислити узагальнені координати $u(t)$, $v(t)$, і $w(t)$, які забезпечують нехаотичні рухи у часі вантажу на підвісі. Переконатися у цьому можна за допомогою рис. 4, де зображено траєкторію переміщення центральної точки вантажу.

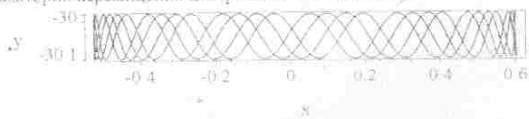


Рис. 4. Траєкторія переміщення центральної точки вантажу

Висновки. Наведений спосіб дозволяє оцінити параметри коливання ковчезної підвіски вертольота. Подальші дослідження будуть пов'язані з встановленням меж зміни параметрів для забезпечення необхідних рухів схеми підвіски.

Література

1. Ефимов В.В. Теоретические методы обеспечения безопасности летной эксплуатации вертолетов при транспортировке грузов на внешней подвеске: дисс. ... доктора техн. наук: 05.22.14 / Ефимов Вадим Викторович. - Москва: МГТУ ГА, 2014. - 130 с.
2. Ефимов В.В. Исследование колебаний физического маятника с подвижной точкой подвеса как упрощенной модели груза на внешней подвеске вертолета / В.В. Ефимов // Научный вестник МГТУ ГА. - 2009. - № 138 (1). - С. 126-133.
3. Lagrangian Dynamics: Examples and Equilibrium Analysis [Електронний ресурс]. - 2007. - Режим доступу: <http://ocw.mit.edu/courses/mechanical-engineering/2-003-dynamics-and-control-spring-2007/lecture-notes/lec7.pdf>.
4. Семків О.М. Метод визначення особливих траєкторій коливань вантажу 2d-пружинного маятника / О.М. Семків // Вісник ХНАДУ / ХНАДУ. - Харків, 2013. - № 71. - С. 36-44.
5. Семків О.М. Особливості геометричної форми коливань групи 2d-пружинного маятника / О.М. Семків // VII Міжнародна конференція по авіаційному розвитку Європи. - Вена, 2015. - С. 214-217.

ВЗУЧЕННЯ КОЛЕБАНИЙ ПРУЖИННОГО МАЯТНИКА ПІД ТЕЛЕЖКОЮ НА ПРИМЕРІ МОДЕЛІ ПІДВЕСКИ ВЕРТОЛІТА

Семків О.М., Морозова Г.В.

Рассмотрено определение нехаотической траектории движения груза на внешней пружинной подвеске вертолета при условии учета упругих свойств троса.

Ключевые слова: пружинная подвеска вертолета, упругие свойства троса, сглаженный, уравнение Лагранжа второго рода.

STUDY OF OSCILLATIONS OF A SPRING PENDULUM TRUCK BY THE EXAMPLE OF HELICOPTER SUSPENSION MODEL

O. Semkiv, G. Morozova

The determining of the non chaotic trajectory of cargo vibration on external sling rope in helicopter under the account of the elastic properties of the cable is examined.

Keywords: the helicopter rope suspension, the elastic properties of the cable, Lagrangian, Lagrange equation of 2-nd kind.