УДК 621.771.0

В.А.Лещев, канд. техн. наук

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ГАШЕНИЕМ КОЛЕБАНИЙ ПОДВЕШЕННОГО НА КРАНЕ ГРУЗА

Аннотация. *Проведено исследование условий гашения колебаний груза, подвешенного на гибких канатах. Показано, что при определённом управлении параметрическими колебаниями возможно эффективное демпфирование подвешенного на канате груза при горизонтальном перемещении крана.*

Ключевые слова: *колебания, груз, демпфирование, длина каната.*

V.A.Leshchev, Ph.D.

PARAMETRIC CONTROL OF A HANGED AT A CRANE LOAD VIBRATIONS

Abstract. *The investigation of damping conditions in the oscillating load suspended by flexible ropes was made. It is shown that the management of the parametric oscillations can be effectively damping hanging on the rope load in the horizontal movement of the crane.*

Keyword *oscillation, load, demphing, rope length.*

В.А.Лещев, канд. техн. наук

ПАРАМЕТРИЧНЕ КЕРУВАННЯ ГАСІННЯМ КОЛИВАНЬ ПОДВІШЕНОГО НА КРАНІ ВАНТАЖУ

Анотація. *Проведено дослідження умов гасіння коливань вантажу, підвішеного на гнучких канатах. Показано, що у разі певного управління параметричними коливаннями можливе ефективне демпфування підвішеного на канаті вантажу під час горизонтального пересування крана.*

Ключові слова: *коливання, вантаж, демпфування, довжина канату.*

Динамическая стабилизация колебаний груза, подвешенного на канатах, исследована пока ещё недостаточно. Поэтому столь актуально представлять все происходящие при этом процессы. Различные колебания, привносящиеся в электромеханические системы, могут вызывать в последних неоднозначные, в том числе резонансные явления, что не всегда является благоприятным. Поэтому в настоящее время существуют многочисленные способы демпфирования таких колебаний. Примером одного из них есть способ, изложенный в [1]. Однако в [2] предложен принципиально новый способ гашения колебаний подвешенного груза, перемещающегося вместе с тележкой, мостом или поворотной платформой крана, при помощи вибрирования точки подвеса груза.

Такое демпфирование названо динамической стабилизацией колебаний подвешенного груза [4]. Подобная стабилизация возможна, в частности, при принудительном изменении длины каната подвеса груза. В настоящем исследовании сделана попытка обосновать такую возможность.

Предположим, что длина каната l, на котором подвешен груз, изменяется неким способом на величину h в определенных точках траектории своего колебательного движения.

Такая схема приведена на рис.1, на котором показана также траектория движения груза, получаемая при изменении длины каната.

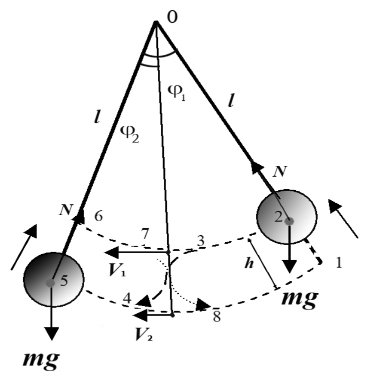

Рис.1. Схема колебаний, совершаемых подвешенным на гибком канате грузом

Пунктиром на этом рисунке обозначена траектория движения, а цифрами отмечены характерные точки такого движения при регулировании.

Пусть канат укорачивается на участках 1–2 и 5–6, а на участках 3–4 и 7–8 удлиняется на определенную величину h. Такое колебание осуществимо, если подтягивать и опускать грузовой канат в точке 0 (точке подвеса), т.е. прикладывать внешнюю силу к нему, меняя его длину с амплитудой h / 2 по определенному закону во времени.

Покажем, что при этом система «точка подвеса, канат, груз» теряет запасенную при отклонении энергию и, следовательно, происходит уменьшение амплитуды раскачивания груза и демпфирование его колебаний.

Для расчетов используем метод энергетического баланса системы «точка подвеса, канат, груз».

В данном случае величина $\Delta l = h$ представляет собой удвоенную амплитуду параметрических колебаний каната подвеса, v_1, v_2 – скорости груза в верхнем и нижнем положениях его движения, а φ_1 и φ_2 – начальный и конечный (на данном полупериоде) углы отклонения груза.

Пусть при начальном отклонении груза на угол φ_1 длина его подвеса, отсчитываемая от точки О (рис.1), l (для точек 2, 6 и т.д.), а груз под действием внешней силы перейдет из положения 1 в положение 2. Тогда центр масс при колебательном движении в точке 3 ($\varphi = 0$) приобретет скорость v_1, которую можно рассчитать при помощи формул физики, выведенных с учётом равенства кинетической энергии в точке 3 и потенциальной в точке 2 (рис.1).

Так, из уравнения

$$\frac{mv_1^2}{2} = mgl(1-\cos\varphi_1) \quad (1)$$

получаем значение скорости:

$$v_1 = \sqrt{2gl(1-\cos\varphi_1)} \,. \quad (2)$$

При опускании груза из точки 3 в точку 4 на высоту h его скорость в соответствии с законом сохранения импульса уменьшится до значения v_2. Находим эту скорость из формулы

$$mv_1 l = mv_2(l+h) \,. \quad (3)$$

откуда получим соотношение

$$v_2 = v_1\frac{l}{l+h}. \quad (4)$$

Как видно из формулы (4), скорость v_2 меньше v_1, поэтому теперь кинетической энергии груза будет недостаточно для достижения им наивысшего положения, которое соответствовало бы условию $\varphi_2 = \varphi_1$. Таким образом при этом выполняется неравенство $\varphi_2 < \varphi_1$.

Напомним, что в этих расчетах не учитывались силы сопротивления воздуха и другие силы трения, которые дополнительно только увеличивали бы разницу между углами.

Из приведенного вытекает, что затухание колебаний в системе «точка подвеса, канат, груз» обеспечивается даже без учёта силы трения или других сил сопротивления раскачиванию. При этом потери механической энергии привносятся в систему «точка подвеса, канат, груз» извне работой внешних сил, действующих по определенному закону изменения во времени.

Определим теперь, на какую величину уменьшится высота подъема груза D_Z за половину периода его колебания, т.е. в крайнем левом положении. Для этого запишем равенство для точки 5 крайнего левого положения с учетом (1):

$$mg(l+h)(1-\cos\varphi_2) = \frac{mv_2^2}{2}\,. \quad (5)$$

Тогда с учетом (4) из (5) получим

$$\frac{mv_1^2}{2}\left(\frac{l}{l+h}\right)^2 = mgl(1-\cos\varphi_1)\left(\frac{l}{l+h}\right)^2 . \quad (6)$$

Разделив на mg обе части уравнения (6), имеем

$$(l+h)(1-\cos\varphi_2) = l(1-\cos\varphi_1)\left(\frac{l}{l+h}\right)^2 . \quad (7)$$

Преобразовывая (7), получим зависимость

$$l(1-\cos\varphi_2) = l(1-\cos\varphi_1)\left(\frac{l}{l+h}\right)^3 . \quad (8)$$

Далее определяем разницу высот для половины периода

$$\begin{aligned}\Delta z_{\text{ïîë ïåðèîäà}} &= l(1-\cos\varphi_2) - l(1-\cos\varphi_1) = \\ &= l\left[\left(\frac{l}{l+h}\right)^3 - 1 + \cos\varphi_1 - \cos\varphi_1\left(\frac{l}{l+h}\right)^3\right]\end{aligned} . \quad (9)$$

Считая соотношение $\frac{l}{l+h}$ близким к 1, получаем

$$\Delta z_{\text{пол периода}} = l\left[\left(\frac{l}{l+h}\right)^3 - 1\right].$$

Затем, представив дробь $\frac{l}{l+h}$ в виде знакопеременного ряда и отбросив отношения $\frac{h}{l}$ в высших степенях вследствие их малости, получим:

$$\Delta z_{\text{ïîë ïåðèîäà}} = l\left[\left(1 - 3\frac{h}{l} + 3\frac{h^2}{l^2} - \frac{h^3}{l^3}\right) - 1\right].$$

Лещев В.А. Опубликовано в журнале *Электротехнические и компьютерные системы* № 04 (80), 2011 039-041

Вновь отбрасывая малые высшего порядка, имеем приближенное значение искомой величины:

$$\Delta z_{\text{ïîë ïåðèîäà}} \approx -3l\frac{h}{l} = -3h. \cdot \qquad (10)$$

Учитывая, что за полный период колебаний груза уменьшение его высоты подъема удвоится, получим следующее значение:

$$\Delta z = 2\Delta z_{\text{ïîë ïåðèîäà}} = 2\times 3h. = 6h \qquad (11)$$

Для примера приведём следующий расчет.

Если принять, что длина каната подвески груза составляет 5 м, а угол первоначального отклонения – $\varphi_1 = 10^0$, то максимальное отличие в высоте подъёма груза при его раскачивании

$$\Delta z = l(1-\cos 10^0) = 5\times(1-0,984) = 0,08\text{ì} \;,$$

Для подавления таких колебаний в течение одного полного периода необходима и достаточна амплитуда вибратора

$$h = \frac{l(1-\cos 10^0)}{6} = \frac{0,08}{6} = 0.013\text{ì}$$

Следует отметить, что закон управления длиной каната *h(t)* при практическом применении может быть гармоническим с двойной или кратной ей частотой, но со сдвигом по фазе относительно колебания груза на угол π (рис.2):

$$h(t) = \frac{h}{2}sin\left(2n\omega t + \pi\right), \qquad (12)$$

где $n = 1,2,...k.$

Если же длину каната изменять с такой же частотой, но без сдвига фазы, то произойдет не демпфирование, а раскачивание груза [3,4], приводящее к параметрическому резонансу.

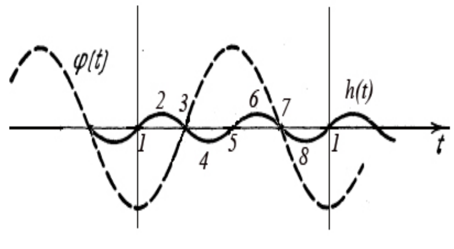

Рис.2. Графики угла отклонения груза при колебаниях *φ(t)* и амплитуды изменения длины его подвеса ***h(t)***

На рис.2 цифрами указаны те же характерные точки траектории движения, что и на рис.1.

Выводы

Проведенное исследование показало, что эффективное демпфирование колебаний подвешенного и раскачиваемого груза возможно производить, если в системе «точка подвеса, канат, груз» длину каната изменять по гармоническому закону в соответствии с формулой (12).

Список использованной литературы

1. Герасимяк Р.П. Анализ и синтез крановых электромеханических систем / Р. П. Герасимяк , В. А. Лещев – Одесса: СМИЛ, 2008. – 192 с.

2. Лещев В.А. Динамическая стабилизация подвешенного на гибкой нити груза / В. А. Лещев – К.: Техніка. //Электротехничні та компютерні системи. – № 3(79). – 2011. – С.172-174.

3. Слободянюк А. И. Физика / А. И. Слободянюк. – Минск: – НИО. – 2009. – С.186-189.

4. Строганова И.С. Изучение вынужденных колебаний маятника с движущейся точкой подвеса / И. С. Строганова, В.И. Хаустова – М.: МВТУ.– 1981. – С.57-61.

Получено 10.10.2011

References

1. Gerasymiak R.P., Leschev V.A. Analysis and synthesis of crane electromechanical systems. – Odessa: SMIL, 2008, – 192 p. [in Russian].

2. Leschev V.A. Dynamic stabilization of a flexible string suspended from the load. – Kiev: Tehnika, Elektrotehnichni kompyuterni systemy. – № 3 (79). – 2011. – P.172-174 [in Russian].

3. Slobodyanyuk A.I. Physics. – Minsk: NIO. – 2009. – P.186-189 [in Russian].

4. Stroganov I.S., Khaustova I.V. The study of forced oscillations of a pendulum with a moving point of suspension. – Moscow: MVTU. – 1981. – P.57-61 [in Russian].

Лещев Владимир Александрович, канд.техн.наук, проректор по научной работе Измаильского ин-та водного транспорта,
тел. 048-41-55-845,
e-mail: vleschev@mail.ru