

УДК 622.678.5

А. И. ЕВДОКИМОВ

Донбасская национальная академия строительства и архитектуры

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОДОЛЬНО-ПОПЕРЕЧНЫХ КОЛЕБАНИЙ ПОДЪЕМНОГО КАНАТА ШАХТНЫХ ПОДЪЕМНЫХ УСТАНОВОК

В статье приведены результаты теоретических исследований шахтных подъемных установок в различных режимах их работы. В процессе эксплуатации подъемные канаты совершают продольно-поперечные колебания, которые оказывают существенное влияние на установление безопасных параметров подъемной установки: определение относительной длины струны каната и угла наклона ее к горизонту. На основании качественного анализа полученных результатов даны рекомендации по повышению уровня безопасности этих установок в процессе эксплуатации.

подъемная установка, струна подъемного каната, угол наклона струны каната к горизонту, шахтный подъем, подъемная машина, продольно-поперечные колебания

При создании крупных высокопроизводительных шахт и рудников непрерывно увеличивается глубина подъема полезного ископаемого, грузоподъемность и скорость движения подъемных сосудов, что приводит к интенсивной эксплуатации шахтных подъемных установок. Следствием этого является уменьшение срока службы подъемных канатов, снижение уровня безопасности шахтных подъемных установок. Поэтому при разработке нормативных документов и рекомендаций по обеспечению безопасной эксплуатации шахтных подъемных установок необходимо знать и учитывать динамические процессы в подъемных канатах.

С целью проведения качественной оценки взаимовлияния поперечных колебаний струны каната на продольные колебания отвесов подъемного каната были проведены теоретические исследования продольно-поперечных колебаний системы при движении подъемного сосуда в стволе шахты. При составлении математической модели (расчетной схемы) подъемная установка рассматривалась как многомассовая система с сосредоточенными и распределенными параметрами (рис. 1). Используя обобщенные координаты и уравнения Лагранжа второго рода, были получены дифференциальные уравнения движения подъемной установки:

$$\left. \begin{aligned} \left(M + \frac{qS}{3g} \right) \ddot{z} + \frac{qS\ddot{S}}{6g} + \frac{q\dot{S}}{6g} (\dot{S} + 2\dot{z}) + \frac{qSLu^2\ddot{S}}{6g(z+L)^2} &= Q_z \\ \frac{qS}{6g} \ddot{z} + \left(\frac{J_{np}}{R^2} + \frac{qS}{3g} \right) \ddot{S} + \frac{q\dot{S}}{6g} (2\dot{S} + \dot{z}) - \frac{q}{6g} \left(\frac{Lu^2}{z+L} + \dot{S}^2 + \dot{S}\dot{z} + \dot{z}^2 \right) &= Q_S \\ \frac{qSL}{3g(z+L)} \ddot{u} + \frac{qu \left[(\dot{S}L + SL)(z+L) - SL(\dot{z} + \dot{L}) \right]}{3g(z+L)^2} - \frac{2quS\dot{z}^2}{3gL(z+L)^2} &= Q_u \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где L – продольные перемещения сечений струны каната;
 u – поперечные перемещения сечений струны каната;
 S – перемещения точек обода барабана подъемной машины;
 z – перемещения сечений отвеса подъемного каната (концевого груза);

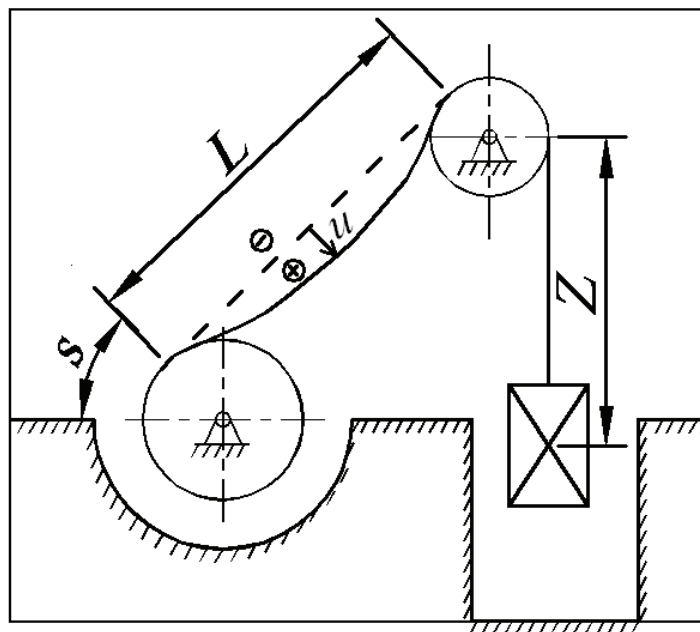


Рисунок 1 – Подъемная установка.

M – масса концевого груза;

q – погонный вес подъемного каната;

Q_z, Q_s, Q_u – обобщенные силы механической системы, определяемые по следующим аналитическим соотношениям:

$$\left. \begin{aligned} Q_z &= Mg \pm F_{\text{тор}} - \frac{(z+L-S)EF}{S} + \frac{qS}{2} \left[1 - \frac{L^2(1+\sin\alpha)}{(z+L)^2} \right] \\ Q_s &= \frac{(z+L-S)EF}{S} + \frac{qS}{2} \left[\frac{z^2}{(z+L)^2} (1+\sin\alpha) - \sin\alpha \right] \\ Q_u &= \frac{LSq \cos\alpha}{2(z+L)} - \frac{u}{\sqrt{a^2+u^2}} \left[\frac{Szq}{z+L} + \frac{2EF(z+L-S)}{S} \right] \end{aligned} \right\}, \quad (2)$$

где α – угол наклона струны каната к горизонту;

F – площадь поперечного сечения каната;

E – модуль упругости подъемного каната;

$F_{\text{тор}}$ – тормозное усилие, прикладываемое к ободу барабана подъемной машины.

Система дифференциальных уравнений (1) описывает движение подъемной установки в различных режимах ее работы: свободный выбег системы; подъем-спуск груза в рабочем режиме подъемной установки; аварийное торможение системы при подъеме-спуске груза и т. д.

Так как решение системы (1) в замкнутой форме получить не представляется возможным, был использован численный метод решения таких уравнений с привлечением ЭВМ. В результате решения этих уравнений были получены графические зависимости между кинематическими и силовыми параметрами конкретных подъемных установок в режимах свободного выбега системы и аварийного торможения при подъеме полезного ископаемого. Были определены силовые (усилия в подъемном канате при заданном законе нарастания тормозного усилия) и кинетические характеристики (перемещения, скорости и замедления подъемного сосуда, барабана подъемной машины и сечений струны подъемного каната) и подъемной установки.

В качестве примера на рис. 2 приведены графики изменения скоростей точек обода барабана подъемной машины (кривая 1), подъемного сосуда (кривая 2), поперечных сечений струны каната (кривая 3) при экстренном торможении подъемной установки в процессе подъема груженого сосуда. Расчеты были выполнены для положения подъемного сосуда в трех точках ствола: верхней (на расстоянии 100 м от верхней приемной площадки), средней (300 м от верхней приемной площадки) и

нижней (700 м от верхней приемной площадки). На рис. 2 приведены графики для верхней точки ствола шахты.

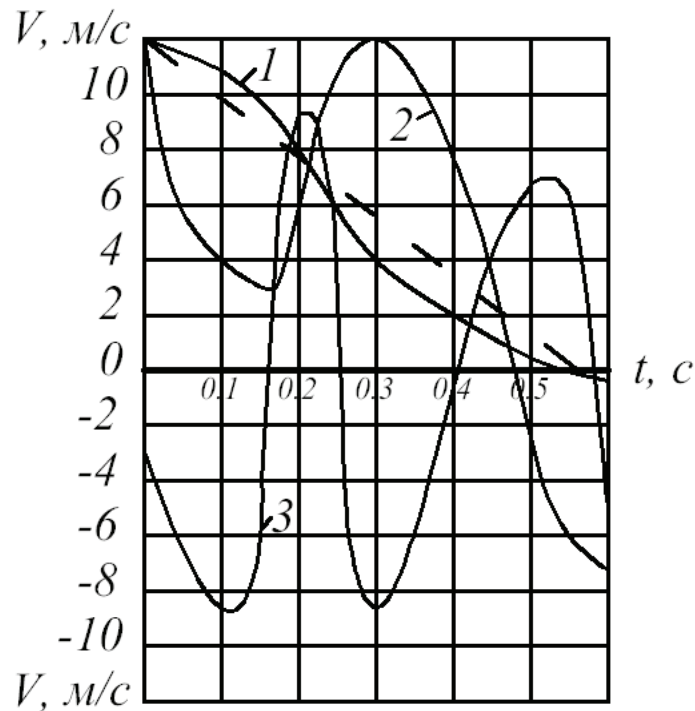


Рисунок 2 – Графики изменения скоростей точек.

Сравнивая изменения скоростей барабана подъемной машины, подъемного сосуда и поперечных сечений струны каната, можно четко пронаблюдать влияние упругих свойств каната на скорость подъемного сосуда и струны каната. Так, кривая 1, характеризующая изменение скорости барабана подъемной машины, лишь незначительно отклоняется от скорости подъемной установки как одно-массовой системы (пунктирная прямая 4). Изменение же скоростей подъемного сосуда и поперечных сечений струны каната имеет явно выраженный синусоидальный характер. Из приведенных графиков следует, что в процессе торможения подъемной установки продольные колебания отвеса подъемного каната накладываются на поперечные колебания струны каната. Это явление на графике характеризуется критическими точками: например, первая вторая – через 0,45 с. Наличие таких точек подтверждает взаимосвязь продольных колебаний отвеса каната и поперечных колебаний струны каната. В процессе торможения подъемной установки скорость поперечных сечений струны каната в вертикальной плоскости трижды принимала нулевое значение, что при исследовании работы подъемной установки необходимо учитывать. Как показали проведенные экспериментальные исследования характер изменения кинематических параметров подъемной установки подтверждают приведенные графики.

Таким образом, система дифференциальных уравнений движения подъемной установки (1) может быть взята за основу при проведении теоретических исследований работы подъемной установки в режиме торможения. Так как данные уравнения учитывают взаимовлияние продольных колебаний отвеса подъемного каната и поперечных колебаний струны каната, то их можно использовать при установлении оптимальных конструктивных параметров установки, обеспечивающих безопасную эксплуатацию системы.

В настоящее время проблематичным является выбор оптимальных значений длины струны подъемного каната и угла наклона ее к горизонту. Как показал анализ литературных источников [1, 2, 3] и некоторых нормативных документов [4, 5], известны различные варианты определения параметров струны каната. Однако все эти предложения связаны с различного рода допущениями, упрощающими проведение теоретических и экспериментальных исследований. Например, не были учтены такие факторы, как влияние углов девиации струны каната на ее параметры, колебания сечений струны каната в горизонтальной плоскости, взаимосвязь продольных и поперечных колебаний сечений

подъемного каната и т. д. Для каждой конкретной подъемной установки оптимальные параметры струны каната имеют свое, относящееся к данной подъемной установке, значение. Дифференцированный подход и определение этих параметров является необходимым условием повышения уровня безопасной эксплуатации шахтных подъемных установок.

Таким образом, качественный анализ полученных результатов показал, что дифференциальные уравнения (1) могут быть использованы при исследовании конкретной подъемной установки в различных режимах ее работы. Это дает возможность установить оптимальные параметры подъемной установки при ее проектировании, что повысит безопасность и надежность работы подъемной установки в процессе ее эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев, Н. М. Сопротивление материалов [Текст] : учеб. для вузов / Н. М. Беляев. – 9-е изд., стер. – М. : Гостехиздат, 1954. – 856 с.
2. Писаренко, Г. С. Справочник по сопротивлению материалов [Текст] / Г. С. Писаренко, А. П. Яковлев, В. В. Матвеев. – К. : Наукова думка, 1975. – 704 с.
3. Бутенин, Н. В. Теория колебаний [Текст] / Н. В. Бутенин. – М. : Высшая школа, 1998. – 187 с.
4. Пановко, Я. Г. Устойчивость и колебания упругих систем [Текст] / Я. Г. Пановко, И. И. Губанова. – М. : Наука, 1996. – 256 с.
5. Яблонский, А. А. Курс теории колебаний [Текст] / А. А. Яблонский, С. С. Норейко. – М. : Высшая школа, 1998. – 391 с.

Получено 07.10.2015

А. І. ЄВДОКИМОВ

ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОЗДОВЖНЬО-ПОПЕРЕЧНИХ КОЛИВАНЬ ПІДЙОМНОГО КАНАТУ ШАХТНИХ УСТАНОВОК Донбаська національна академія будівництва і архітектури

У статті надані результати теоретичних досліджень шахтних підйомних установок у різних режимах їх роботи. В процесі їх експлуатації підйомні канати здійснюють поздовжньо-поперечні коливання, які суттєво впливають на встановлення безпечних параметрів підйомної установки: визначення оптимальної довжини струни канату і кута нахилу її до горизонту. На основі якісного аналізу одержаних результатів сформульовані рекомендації щодо підвищення рівня безпеки цих установок в процесі їх експлуатації.

підйомна установка, струна підйомного канату, кут нахилу струни канату до горизонту, шахтний підйом, підйомна машина, поздовжньо-поперечні коливання

ANATOLIY EVDOKIMOV

THE ESTABLISHMENT OF ROPE STRING OPTIMUM PARAMETERS FOR THE VERTICAL LIFT SYSTEMS

Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture

The results of theoretical research of mine hoist installations in different modes of operation have been given. In the process of operation, the hoisting ropes make longitudinal-transverse vibrations, which have a significant impact on the establishment of the safe parameters of the elevator installation: determination of the relative length of the string rope and angle it toward the horizon. Based on the qualitative analysis of the results, the recommendations according to improvement of the safety of these plants in operation.

lifting system, lifting rope string, support rollers, lifting rope strength margin, angle of rope string inclination, mine lifting, lifting machine

Євдокимов Анатолій Іванович – кандидат технічних наук, доцент кафедри теоретичної та прикладної механіки Донбаської національної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: безпечна експлуатація шахтних підйомних установок.

Евдокимов Анатолий Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры теоретической и прикладной механики Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: безопасная эксплуатация шахтных подъемных установок.

Anatoliy Evdokimov – Ph.D. (Eng.), Associate Professor, Theoretical Mechanics Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific Interests: safe maintenance of mine lifting installations.