

УДК 534.014

Определение коэффициента вязкого трения для режима кратного подбрасывания материальной частицы в модельной задаче с неударивающей связью

С.В. Елисеев^a, А.В. Елисеев^b

Иркутский государственный университет путей сообщения, ул. Чернышевского 15, Иркутск, Россия

^aeliseev_s@inbox.ru

Статья поступила 15.12.2012, принята 12.02.2013

Необходимость исследования влияния вибрации на механическую систему возникает при разработке приложений в области транспортировки грузов, добыче полезных ископаемых, проектировании машин и механизмов. Особый интерес представляют задачи моделирования механических систем при наличии сил трения и связями между элементами, которые несут неударивающий характер. В статье рассмотрена модельная задача исследования условий реализации периодических режимов в системе, состоящей из поверхности колебания и материальной точки при наличии сил гравитации и вязкого трения. Предметом исследования является зазор между подбрасываемой частицей и поверхностью вибрации, возникающий при режиме кратного подбрасывания. Представлены необходимые и достаточные условия реализации отрыва третьего порядка, основные характеристики режима подбрасывания материальной частицы. Показана невозможность реализации режимов кратного подбрасывания для определенных коэффициентов вязкого трения. Получено аналитическое выражение амплитуды колебания при условии существования режима кратного подбрасывания. Амплитуда представлена в виде функции, которая зависит от частоты колебания поверхности, массы частицы, коэффициента вязкого трения и кратности режима подбрасывания. Приведен частный случай графика функции амплитуды в зависимости от коэффициента вязкого трения. Представлена методика определения критических значений параметра вязкого трения, который обеспечивает режим кратного подбрасывания, на основе приближения длительности бесконтактного движения частицы функцией длительности полета частицы над уровнем амплитуды колебания. Предложен графоаналитический метод определения приближенного значения коэффициента вязкого трения, который обеспечивает режим кратного подбрасывания.

Ключевые слова: подбрасывание материальной точки, поверхность колебания, режим кратного подбрасывания, вязкое трение, неударивающие связи, условия отрыва, зазор.

Determination of viscous friction factor for the material particles multiple flipping mode in the unilateral constraint model problem

S.V. Eliseev^a, A.V. Eliseev^b

Irkutsk State University of Railway Transport, 15, Chernyshevskogo str., Irkutsk, Russia

^aeliseev_s@inbox.ru

Received 15.12.2012, accepted 12.02.2013

The need to study the vibration effects on a mechanical system arises while developing the applications in transportation, mining, engineering machinery designing areas. The problem of mechanical systems modeling in the presence of frictional forces and the relationships between the elements of unilateral nature is of particular interest. This article considers the model problem of studying the conditions for the periodic modes implementation in a system consisting of a vibrational surface and a particle in the presence of gravitational forces and viscous friction forces. The subject of the study is a gap between the tossed particle and the vibrational surface that occurs during a multiple flipping mode. The necessary and sufficient conditions for the implementation of the third order separation, the main characteristics of a particle flipping mode have been presented. The impossibility of implementing the multiple flipping modes to determine certain viscous friction factors has been shown. An analytical expression of the vibration amplitude in case of the multiple flipping mode existence has been obtained. The amplitude is represented as a function that depends on the surface oscillations frequency, the particle mass, the viscous friction factor and the flipping mode multiplicity. The special case of the amplitude function graph as a function of the viscous friction factor has been presented. The technique to determine the viscous friction critical values that provides the multiple flipping mode based on the approximation of the particle contactless motion duration by the function of the duration of the particle flipping above the vibrational amplitude level has been presented. The graphic-analytical method for determining the approximate value of the viscous friction factor, which provides multiple flipping mode has been proposed.

Key words: material particle flipping, vibrational surface, multiple flipping mode, viscous friction, unilateral constraints, separation conditions, gap.

Введение. Необходимость исследования влияния вибрации на механическую систему возникают при разработке приложений в различных областях, к примеру, при транспортировке грузов, добыче и переработке полезных ископаемых, промышленности строительных материалов. К наиболее значимым эффектам, возникающим при вибрации, необходимо отнести изменения свойств динамической колебательной системы, которые обусловлены трением и характером неустойчивых связей. Основные результаты, полученные в данных направлениях, отражены в работах по теоретической [1] и аналитической механике [2], теории механизмов и машин, теории вибрационного переноса [3]. Специальные исследования контактного взаимодействия, динамики колебательного процесса с неустойчивыми связями, условий нарушения и существования контакта [4-6,12-45] частично позволяют решить задачу обеспечения надежности работы различных машин и повысить эффективность технологических процессов. Методы исследования влияния вибрирующей среды на движение представлены в [8]. В работе [9] исследованы условия нарушения контакта материальной частицы с вибрирующей поверхностью при наличии силы тяжести с учетом дополнительной постоянной силы, получены аналитические условия реализации режимов периодического подбрасывания материальной частицы с кратным периодом.

Несмотря на то, что многие вопросы взаимодействия материальной частицы и поверхности глубоко исследованы, в части вопросов не достигнута достаточная детализация необходимая для моделирования процесса подбрасывания материальной частицы. В частности, не достаточно детально отражены вопросы возможности реализации режима кратного подбрасывания в зависимости от силы вязкого трения.

Цель работы – определение параметров вязкого трения, при которых реализуется режим кратного подбрасывания в модельной задаче с неустойчивыми связями.

Общие положения и постановка задачи. Рассмотрим поверхность H и материальную частицу с массой m , которая лежит на данной поверхности. Предположим, что на частицу m действует сила тяжести Q и сила вязкого трения F_p , направленная в противоположную сторону к скорости относительного движения материальной частицы по отношению к среде и пропорциональна скорости частицы. Коэффициент пропорциональности $p > 0$. Для каждого значения амплитуды A и частоты ω рассмотрим гармонический закон движения поверхности $H(t) = A \sin(\omega t)$ в зависимости от времени t . На рисунке 1 представлена расчетная схема действующих на частицу сил для двух стадий движения: (а)-движение в контакте с поверхностью, (б)-бесконтактное движение.

С учетом данной схемы проекция силы трения на ось X принимает вид: $F_p = -p\dot{x}$.

Полагаем, что в некоторый начальный момент времени t_0 точка m находится в контакте с поверхностью H и не удерживается на поверхности H никакими силами, кроме обозначенных сил. В момент контакта скорости частицы и поверхности совпадают. Очевидно, что при некоторых значениях амплитуды A и частоты ω частица m может оторваться от поверхности и опять упасть на поверхность в определенный момент времени. Полагаем, что удар о поверхность является абсолютно неупругим. После падения частица, либо сразу отрывается от поверхности, либо лежит на поверхности некоторое время.

Далее происходят повторы подбрасывания и моментов контакта материальной частицы с поверхностью. На рисунке 2 представлена характерная траектория периодического подбрасывания материальной частицы массой $m=1$ кг на поверхности колебания с амплитудой $A=0.074$ м, $\omega=60$ рад/с и коэффициентом вязкого трения $p=14$ кг/с. Перебрасывание происходит через различное количество периодов.

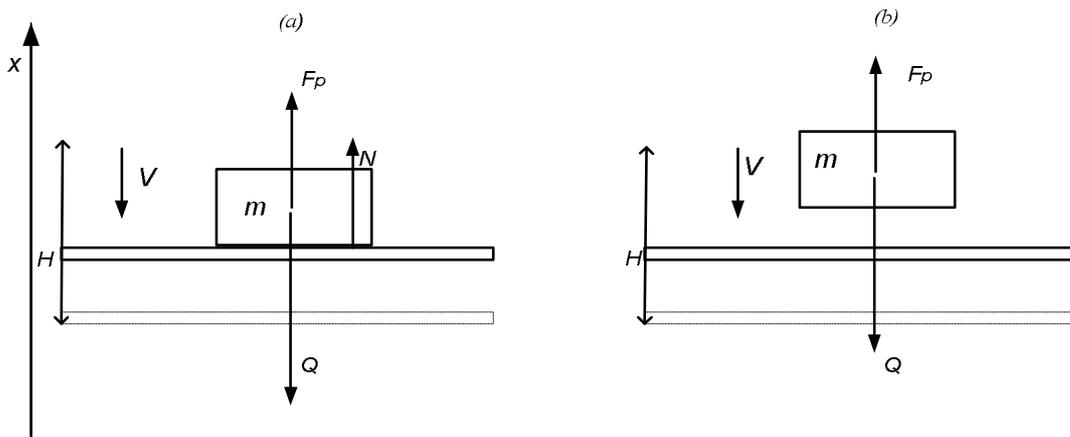


Рис. 1. Расчетная схема для стадии контакта (а) и стадии бесконтактного движения (б) материальной частицы m с поверхностью H . N -реакция опоры, Q -сила тяжести, F_p - сила трения, V -скорость движения материальной частицы

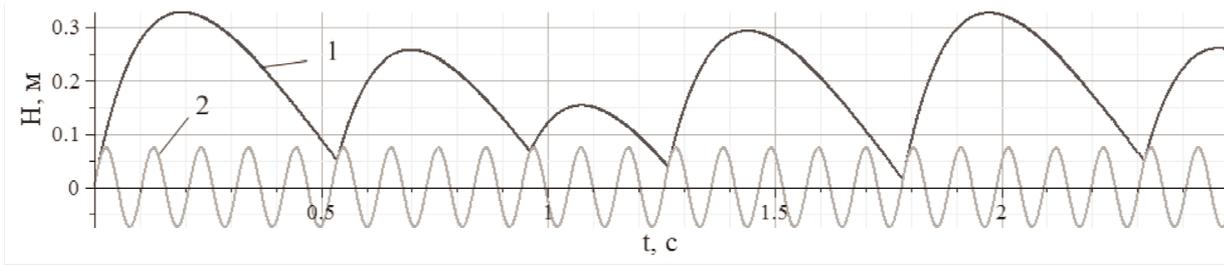


Рис. 2. Характерная траектория подбрасывания с перелетом частицы через несколько периодов. 1-траектория подбрасывания частицы. 2-траектория поверхности колебания с амплитудой $A=0.74\text{м}$, $\omega=60\text{ рад/с}$, $p=14\text{ кг/с}$

Для составления модели процесса обозначим за $X(t)$ траекторию движения частицы. Фиксируем A и ω – амплитуду и частоту поверхности колебания $H(t) = A\sin(\omega t)$. Будем считать, что в момент отрыва t_0 частица находится в таком контакте с поверхностью, что значение точки траектории $X(t_0)$ и её производной $\dot{X}(t_0)$ соответственно совпадают со значениями поверхности $H(t_0)$ и $\dot{H}(t_0)$. В этом случае часть траектории движения материальной частицы, которая в момент t_0 подброшена и некоторое время находится над поверхностью, удовлетворяет системе:

$$\begin{cases} m\ddot{X}(t) + p\dot{X} = -mg, t \geq t_0 \\ \dot{X}(t_0) = \dot{H}(t_0) \\ X(t_0) = H(t_0) \end{cases} \quad (1)$$

Решение данной системы имеет вид:

$$X(t) = \frac{m}{p} \left(\frac{gm}{p} + \dot{H}(t_0) \right) \left(1 - \exp\left(-\frac{p}{m}(t-t_0)\right) \right) - \frac{gm}{p}(t-t_0) + H(t_0). \quad (2)$$

Для того, чтобы решение (1) системы (2) являлось траекторией полета частицы необходимо, чтобы точка являлась точкой отрыва второго или третьего порядка [10].

В зависимости от параметров колебания поверхности и параметра частица отрывается и пролетает через различное количество k периодов поверхности колебания $2\pi/\omega$ падает на поверхность в область пролеживания, точку отрыва второго или третьего порядка. В общем случае количество перелетаемых периодов $2\pi/\omega$ не является целым числом и траектория подбрасывания не является периодичной.

Необходимо определить условия реализации режима подбрасывания, при котором материальная частица, оторвавшись в некоторый момент времени, перелетает через период $2\pi k/\omega$, для некоторого натурального k :

$$X(t)|_{t=t_0} = X(t)|_{t=t_0 + \frac{2\pi k}{\omega}} \quad (3)$$

В данной работе рассматривается только отрыв из точки отрыва третьего порядка [11]. В точке отрыва третьего порядка реакция опоры равна нулю. Можно показать, что при выполнении условий:

$$\begin{cases} -m\omega^2 A \sin(\omega t_0) + p\omega A \cos(\omega t_0) + gm = 0 \\ -m\omega^3 A \cos(\omega t_0) - p\omega^2 A \sin(\omega t_0) < 0 \end{cases} \quad (4)$$

в момент t_0 происходит отрыв.

Характеристики режима кратного подбрасывания. Основными характеристиками траектории отрыва являются фаза отрыва, высота подлета траектории над уровнем A , длительность подлета частицы над уровнем A . При фиксированной амплитуде, частоте и параметре вязкого трения p из системы условий (4) однозначно определяется точка и фаза отрыва третьего порядка. Известный момент времени отрыва позволяет однозначно определить траекторию отрыва, высоту и длительность подлета над уровнем амплитуды A .

Для определения режима кратного подбрасывания для траектории отрыва необходимо выполнение условий (3). Разрешение условий (3) для траектории (2) при реализации условий отрыва (4) позволяет однозначно определить амплитуду A :

$$A = \sqrt{\left(\frac{2g\pi k p}{\omega^3 m \left(1 - \exp\left(-\frac{2p\pi k}{\omega m}\right) \right)} \right)^2 + \left(\frac{2g\pi k}{\omega^2 \left(1 - \exp\left(-\frac{2p\pi k}{\omega m}\right) \right)} - \frac{mg}{p\omega} \right)^2} \quad (5)$$

Полученное выражение означает, что если при некоторых фиксированных частоте колебания, коэффициенте вязкого трения $p > 0$ реализуется режим с перебрасыванием с периодом $2\pi k/\omega$ частицы массой m , то амплитуда колебания поверхности определяется формулой (5). Амплитуда (5) как функция параметра вязкого трения p является неограниченно возрастающей функцией. График функции для параметров $\omega=60\text{ рад/с}$, $m=1\text{ кг}$, $k=5$ представлен на рисунке 3. Параметр вязкого трения p изменяется в диапазоне от 0 до 100.

На рисунке 4 представлены траектории подлета частиц одинаковой массы с кратным режимом $k=5$ для разных параметров вязкого трения $p_1=6\text{ кг/с}$ и $p_2=18\text{ кг/с}$. В соответствии с рисунком 4 показано, что при p_1 траектория 1 частицы удовлетворяет условиям кратности режима (3).

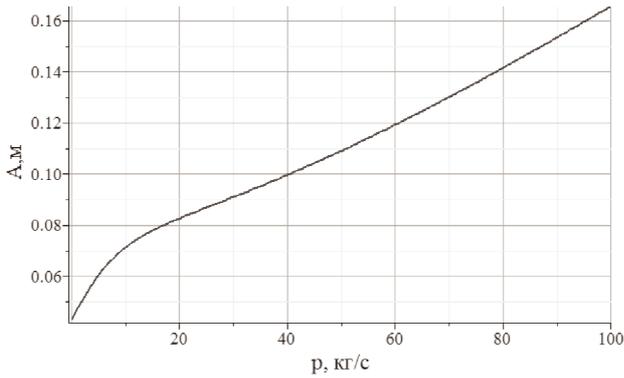


Рис. 3. График функции $A=A(p)$

Траектория 2 для коэффициента p_2 так же формально удовлетворяет условию кратности режима, но частица не достигает точки падения, фаза которой совпадает с фазой точки отрыва. Это означает, что для коэффициента p_2 и амплитуды колебания поверхности $A_2=0.08\text{м}$ условия (3) не являются достаточными условиями реализации режима с кратным подбрасыванием.

Представленный пример показывает, что все множество параметров вязкости p , можно разделить на множество, для элементов которого реализуется режим перебрасывания частицы через k периодов, и на множество, для элементов которого режим с перебрасыванием не реализуется с учетом выполнения условий кратности (3).

Определение критического коэффициента трения. В работе [11] показано, что при отсутствии трения ($p=0$) режим подбрасывания реализуется для любого периода подбрасывания $2\pi k/\omega$. Можно показать, что траектория движения без силы трения является предельным случаем $p \rightarrow 0$ траектории движения с учетом силы вязкого трения. Это означает, что для любого периода $2\pi k/\omega$ режим кратного подбрасывания реализуется для некоторой окрестности $p \in (0, p_k)$.

Для определения критического значения P_k необходимо определить такую траекторию кратного подлета, которая касается графика функции $H(t)$ в промежутке $t_p \in \left(\frac{2\pi}{\omega}(k-1); \frac{2\pi}{\omega}k \right)$:

$$\begin{cases} \dot{X}(t_p) = \dot{H}(t_p) \\ X(t_p) = H(t_p) \end{cases}$$

Длительность подлета материальной частицы над уровнем A для критического параметра вязкости P_k может быть приблизительно оценена через моменты времени $\hat{t}_{1,p} < \hat{t}_{2,p}$, таких что $X(\hat{t}_{1,p}) = A$, $X(\hat{t}_{2,p}) = A$.

Можно утверждать, что для критического параметра вязкости моменты пересечения траекторией полета уровня A находится в промежутках:

$$\begin{cases} \hat{t}_{1,p} \in \left(0; \frac{\pi}{2\omega} \right) \\ \hat{t}_{2,p} \in \left(\frac{2\pi}{\omega}(k-1) + \frac{\pi}{2\omega}; \frac{2\pi}{\omega}(k-1) + \frac{\pi}{\omega} \right) \end{cases}$$

Длительность подлета $\Delta\tau = \hat{t}_{1,p} - \hat{t}_{2,p}$ находится в промежутке $\Delta\tau \in \left(\frac{2\pi}{\omega}(k-1); \frac{2\pi}{\omega}k + \frac{\pi}{\omega} \right)$ Следовательно,

критический параметр P_k находится в промежутке $p_k \in (p_1; p_2)$. Границы данного промежутка являются решениями уравнений:

$$\begin{cases} \Delta\tau_2(p_2) = \frac{2\pi}{\omega}k - \frac{2\pi}{\omega} \\ \Delta\tau_1(p_1) = \frac{2\pi}{\omega}k + \frac{\pi}{\omega} \end{cases} \quad (6)$$

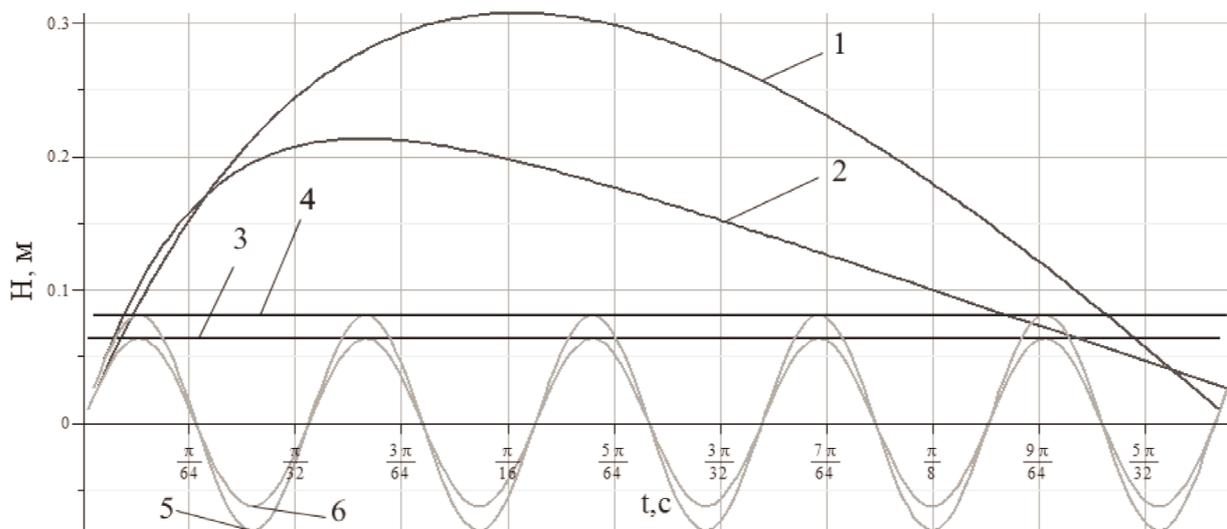


Рис. 4. Графики подлетов для кратных режимов подбрасывания с разными коэффициентами $p_1 = 6\text{кг/с}$, $p_2 = 18\text{кг/с}$, $m = 1\text{кг}$, $\omega = 60\text{рад/с}$, $A_1 = 0.06\text{м}$, $A_2 = 0.08\text{м}$

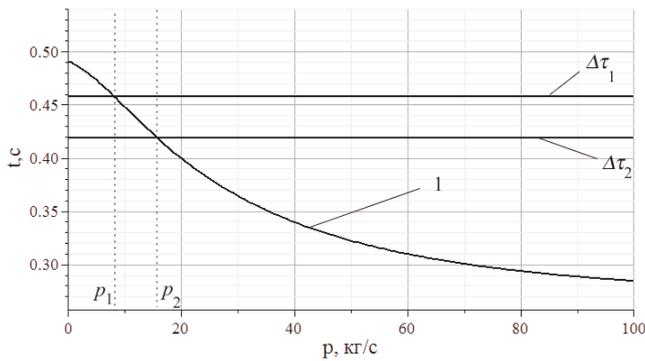


Рис. 5. Функция длительности полета в зависимости от коэффициента вязкости

При фиксированной кратности k параметры p_1 и p_2 могут быть определены вычислительными методами. На рисунке 5 представлена функция длительности полета в зависимости от коэффициента вязкости и указаны границы интервала длительности полета, которые соответствуют системе (6) для фиксированной кратности $k=5, m=1$ кг, $\omega=60$ рад/с.

В результате фиксированной кратности k ставится в соответствие два значения p_1 и p_2 . Можно утверждать, что для всех $p \in (0; p_1)$ режим подбрасывания кратности k реализуется, в промежутке $p > p_2$ режим с подбрасывание не реализуется. Для определения отрыва в промежутке $p \in (p_1; p_2)$ необходимо проводить дополнительные вычисления.

На рисунке 6 представлены области параметров вязкого трения, при которых происходит реализации отрыва (I), область, в которых не возможна реализация

режима кратного подбрасывания. Критическое значение p_k находится в области II.

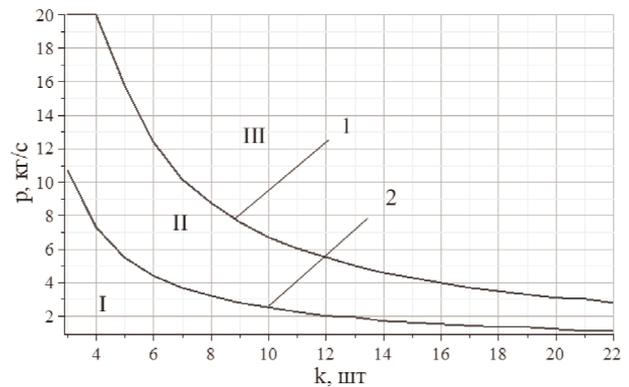


Рис. 6. Области реализации кратного подбрасывания

Из графиков функции в соответствии с рисунком 6 видно, что с увеличением кратности режима подбрасывания критическое значение p_k убывает и приближается к нулю.

Таким образом, для любой кратности можно подобрать диапазон коэффициентов вязкого трения, при котором реализуется режим кратного подбрасывания.

На рисунке 7 представлена траектория подбрасывания кратности $k=6$ для материальной частицы $m=1$ кг. Режим подбрасывания частицы поверхностью колебания с частотой $\omega=60$ рад/с реализуется при $p=4$. При $p > 12$ можно утверждать, что режим кратного подбрасывания не реализуется.

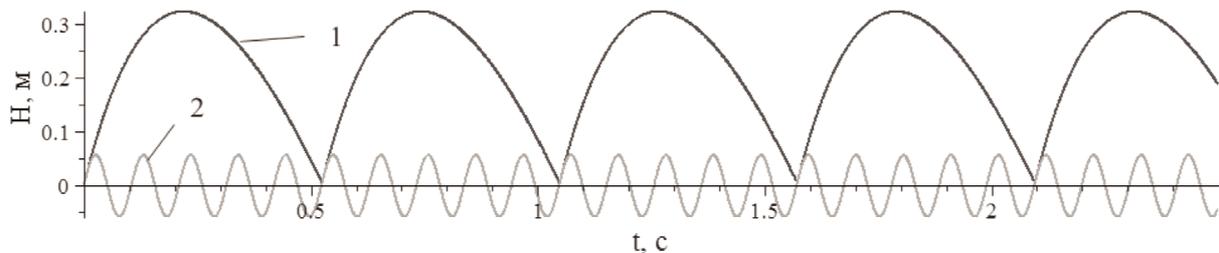


Рис. 7. Траектория подбрасывания частицы при реализации режима с кратным подбрасыванием

Заключение. Представленное исследование позволяет сделать следующие выводы:

1. Рост коэффициента трения уменьшает длительность полета.
2. При фиксированной частоте и массе частицы обеспечение заданной кратности режима подбрасывания с увеличением коэффициента трения требует увеличения амплитуды колебания поверхности.
3. Рост коэффициента вязкого трения в системе делает невозможным реализацию режимов кратного подбрасывания.

Литература

1. Лойцянский Л.Г., Лурье А.И. Курс теоретической механики: в 2 т. Т. 2. Динамика. М.: Наука. 1983. 640 с.
2. Лурье А.И. Аналитическая механика. М.: Наука. 1986. 516 с.

3. Вибрации в технике: справочник. Т 4. Вибрационные процессы и машины / под ред. Э. Э. Лавендела. М.: Машиностроение, 1981. 509 с.

4. Елисеев С.В., Лоткин О.И. Условия существования и нарушения контакта для систем с неустойчивыми связями // Труды ОМИИТа. 1966. Вып. 69. С. 93-99.

5. Сельвинский В.В. Динамика контактного взаимодействия твердых тел. Благовещенск: Изд-во Амур. гос. ун-та. 2009. 164 с.

6. Шведов И. А. Компактный курс математического анализа. Ч. 1. Функции одной переменной. Новосибирск: Новосиб. ун-т., 2001. 112 с.

7. Дубинов А.Е., Дубинова И.Д., Сайков С.К. W-функция Ламберта и её применение в математических задачах физики. Саратов, 2006. С. 160.

8. Сорокин В.С. Влияние вибрации на движение деформируемых включений в жидкости: автореф. ...дис. канд. физ.-мат. наук. СПб., 2011. 22 с.

9. Елисеев С.В., Ситов И.С., Елисеев А.В. Движение материальной частицы с подбрасыванием на примере модельной задачи с неустойчивыми связями //Машиностроение и безопасность жизнедеятельности. 2012. Вып. № 3. С. 53-59.

10. Елисеев С.В., Елисеев А.В. Режимы подбрасывания материальной частицы на вибрирующей поверхности в модельной задаче с неудерживаемыми связями // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2012. № 3 (35). С. 86 - 96.

11. Елисеев С.В., Ситов И.С., Елисеев А.В. Характеристики взаимодействия материальной частицы и поверхности колебания в зависимости от постоянной силы с учетом неудерживаемой связи // Техника и технологии новые перспективы развития: материалы VII междунар. науч.-практ. конф. (26 нояб. 2012). М., 2012. 248 с.

12. Белокобыльский С.В. Динамические эффекты взаимодействия рабочего органа горной машины с разрушаемой породой // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2004. № 3. С. 27.

13. Белокобыльский С.В., Кашуба В.Б. Особенности контактного взаимодействия вибрирующих рабочих органов с бетонной поверхностью в технологиях заглаживания // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2007. № 13. С. 31-37.

14. Белокобыльский С.В., Мамаев Л.А., Кашуба В.Б., Ситов И.С. Статистическая линеаризация нелинейных свойств контакта вибрационного рабочего органа бетоноотделочных машин с обрабатываемой средой // Труды Братского государственного университета. Сер. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. 2009. Т.2. С. 57-61.

References

1. Loitsyansky L.G. Course of Theoretical Mechanics: 2V. V2 Dynamics. Moscow: Nauka. 1983. 640 p.

2. Lurie A.I. Analytical Mechanics. Moscow: Nauka. 1986. 516 p.

3. Vibration in engineering. Handbook. Т 4. Vibration processes and machines / Ed. E.E. Lavendel. М.: Mechanical Engineering. 1981. 509 p.

4. Eliseev S.V., Lotkin O.I. Conditions of existence and breach of contact for systems with unilateral constraints // Proceedings ОМИТА. Issue. 69. Omsk. ОМИТ. 1966. P. 93-99.

5. Selvinsky V.V. Dynamics of contact interaction of solids. Blagoveshchensk: Publishing House of Amur State University. 2009. 164 p.

6. Shvedov I.A. Compact course in mathematical analysis, part 1. Function of one variable: the manual // Novosibirsk. State. Univ. Novosibirsk, 2001. 112 p.

7. Dubinov A.E., Dubinova I.D., Saikov S.K. Lambert W-function and its application in mathematical physics problems: a manual for schools. -Saratov: FSUE VNIIEF, 2006. 160 p

8. Sorokin V.S. Effect of vibration on the motion of deformable inclusions in the liquid. Abstract. ... Dis. to the one-Sci. Science. St. Petersburg. 2011. 22 p.

9. Eliseev S.V., Sotov I.S., Eliseev A.V. The motion of a particle with tossing on an example of the problem with unilateral constraints // Scientific journal "Engineering and life safety." Moorum: Issue number 3/2012. S. 53-59.

10. Eliseev S.V., A.V. Eliseev. Modes flip of a particle on a vibrating surface in the model problem with unilateral constraints. // Modern technologies. Systems analysis. Modeling. Irkutsk IrGUPS, 2012. № 3 (35). P. 86-96.

11. Eliseev S.V., Sotov I.S., Eliseev A.V. Characteristics of the interaction of a particle and surface variations depending on a constant force with the unilateral constraints // Technology New Perspectives: Proceedings of the VII International Scientific Conference (26/11/2012). М.: Sputnik. 2012. 248 p.

12. S.V. Belokobilskiy. The dynamic effects of interaction of the working body of the mining machines to break down the breed // Modern technologies. System analysis. The simulation. 2004. № 3.P. 27.

13. S.V. Belokobilskiy, Kashuba V.B. Peculiarities of contact interaction of vibrating working bodies with the concrete surface in mitigation technologies // Modern technologies. System analysis. The simulation. 2007. № 13.P.31-37.

14. S.V. Belokobilskiy, Mamaev L.A., Kashuba V.B., Sotov I.S. Statistical linearization of nonlinear properties of a contact vibration working body of the concrete finishing machines with the environment // Proceedings of the Bratsk state University. Series: Natural Sciences and engineering - development of the regions of Siberia. 2009.Т.2. P. 57-61.

УДК 69.002.51.192:621.225.2

Диагностирование гидроцилиндра по параметрам герметизирующей способности его уплотнительных узлов

Д.Ю. Кобзов^а, И.О. Кобзова^б, А.Ю. Кулаков^в, В.И. Липецкий^д, А.А. Трофимов^е

Братский государственный университет, ул. Макаренко 40, Братск, Россия

^аinterdep@brstu.ru, ^бkobzova.inna@mail.ru, ^вakul333@yandex.ru, ^дLipetskivi@yandex.ru, ^еt42ww@mail.ru

Статья поступила 20.11.2012, принята 16.02.2013

Предложены метод и средство диагностирования гидроцилиндра по параметрам герметизирующей способности его уплотнительных узлов, с использованием разряженного воздуха, в динамическом и статическом режимах. Данный метод, с использованием в качестве контролируемой среды обычного атмосферного воздуха, имеет целый ряд преимуществ по сравнению с диагностированием с применением жидкости: высокую точность, которая обеспечена высокой проницаемостью и незначительной зависимостью вязкости воздуха от температуры; высокую достоверность диагноза в динамическом режиме для цилиндров, работающих циклически, и в статическом режиме – для цилиндров поддержки; возможность локализации повреждений уплотняемых поверхностей; низкую потребляемую мощность (так как перепад давлений создается движением штока и перекрытием полости); безопасность (пожаробезопасность); простоту конструкции и управления диагностическим средством; исключение потерь рабочей жидкости; экологичность и экономичность процесса диагностирования. Кроме этого, диагностирование гидроцилиндров по параметрам герметизирующей и несущей способности в комплексе позволяет распознать и описать их техническое состояние в текущий момент времени по всему спектру накопленных повреждений.

Ключевые слова: герметичность, гидроцилиндр, диагностика, утечки.