

УДК 677.06.620.17

ЯВЛЕНИЕ "ОДНОНАПРАВЛЕННОЙ" ВЯЗКОСТИ ПРИ СЖАТИИ УПРУГОВЯЗКОГО ТЕЛА

Г.К. КУЗНЕЦОВ, С.Н. ТИТОВ, В.В. ФАРУКШИН, Н.В. СОЧИШИН

(Костромской государственной технологической университет)

Известно понятие об упругом гистерезисе и потерях энергии при деформации твердого тела, что объясняется неидеальными упругими свойствами деформируемого тела [1]. При деформировании тел с резко выраженными вязкими свойствами, к которым относятся волокнистые материалы, различные полимеры и др., данное явление можно описать следующим образом. При сжатии такого тела с определенной скоростью деформирования усилие сопротивления составляется из упругой и вязкой компоненты:

$$F = c x + h \dot{x},$$

где c – коэффициент жесткости (упругости); h – коэффициент вязкого сопротив-

ления; x – величина деформации.

Второе слагаемое правой части, определяющее вязкую компоненту, пропорционально скорости деформации и всегда направлено в сторону, противоположную направлению движения тела в вязкой среде. При восстановлении деформированного тела сопротивление вязкой среды отсутствует, но сила упругости, пропорциональная величине деформации, сохраняется:

$$F = c x .$$

Это явление, которое можно назвать “однонаправленной” вязкостью, упоминается в работах [2], [3]. Возникновение гипотезы об “однонаправленной” вязкости

было побуждено итогами изучения упруго-вязких систем текстильных машин, в частности, механизмов фрикционного наматывания [4] и вытяжных механизмов прядильных машин [5].

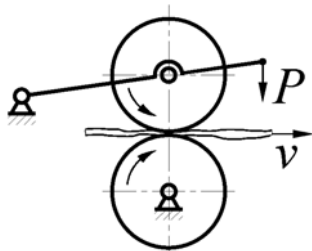


Рис. 1

Работы выполнялись на устройствах, построенных по одной принципиальной схеме, включающей валковый механизм с промежуточным упруговязким элементом (тело намотки, покрытие нажимного валика), изображенной на рис. 1. При проведении экспериментов были замечены отличия от классических закономерностей протекания колебательных процессов.

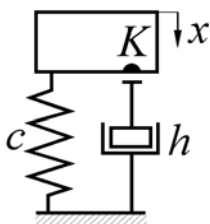


Рис. 2

Динамическая модель деформируемого упруговязкого тела с учетом “однонаправленной” вязкости представлена на рис. 2. Здесь контакт в точке К сохраняется и при сжатии, и при обратном движении, но сила взаимодействия в этой точке при обратном движении характеризуется только жесткостью c . Вязкого сопротивления, определяемого коэффициентом h , при обратном движении не возникает.

Изучение процесса деформирования тела по такой модели проведено при условии, что начальная нагрузка обеспечивает деформацию, превышающую вероятную амплитуду колебаний. Это соответствует условиям работы реальных упруговязких

систем в текстильных машинах. В ходе теоретических исследований получены следующие зависимости [3]:

$$\ddot{x} + \mu(1 + \text{sign } \dot{x})\dot{x} + \omega^2 x = 0$$

(при свободных колебаниях),

$$\ddot{x} + \mu(1 + \text{sign } \dot{x})\dot{x} + \omega^2 x = A \sin pt$$

(при вынужденных колебаниях),

где ω – частота собственных колебаний системы; p – частота возмущающего воздействия; A – амплитуда возмущающего воздействия; t – время; $\mu = h/2m$ – динамическая вязкость системы, имеющей приведенную массу m .

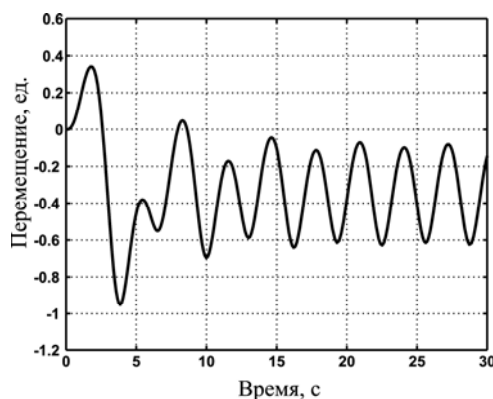


Рис. 3

Численное решение данных уравнений, даже для простейшего случая (m , h и c – постоянные величины), приводит к тому, что, по сравнению с традиционным влиянием вязкого сопротивления, имеет место смещение положения динамического равновесия по отношению к положению статического равновесия. При этом величина смещения увеличивается с возрастанием частоты возмущающего воздействия. На рис. 3 приведен результат решения уравнения вынужденных колебаний “единичной” системы ($\omega = 1 \text{ с}^{-1}$, $\mu = 1 \text{ с}^{-1}$) при частоте возмущающего воздействия $p = 2 \text{ с}^{-1}$ и его амплитуде $A = 1 \text{ ед./с}^2$.

Для проверки данной гипотезы проведен эксперимент на стенде, описанном в [6]. Отличительной особенностью используемой измерительной системы является бесконтактный способ регистрации

колебаний, исключая ее влияние на процесс колебаний. Узел, имитирующий рабочий орган машины, состоит из двух металлических секторов. Верхний сектор обрезают, на нем крепится легкая шторка. Положение ее фиксируется оптическим датчиком, сигнал с которого подается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и обрабатывается вычислительной системой.

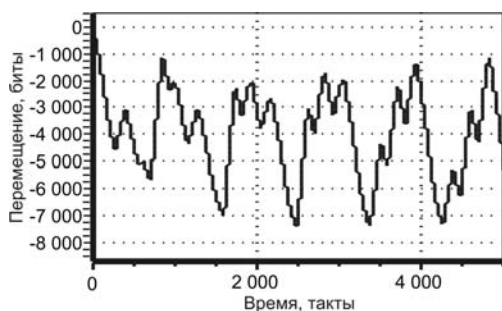


Рис. 4

Полученный при опытах результат подтверждает теоретические выводы. Экспериментальный график колебательного процесса приведен на рис. 4. Здесь перемещение измерено непосредственно в битах вычислительной системы, а время представлено количеством тактов считывания буфера АЦП при частоте дискретизации 22,25 кГц. Эксперимент проводился при частоте вращения электродвигателя с неуравновешенным ротором, обеспечивающим силовое возмущающее воздействие на колебательную систему, 1390 об/мин., что соответствует частоте возмущения $\rho = 145,5 \text{ с}^{-1}$.

Таким образом, явление “однонаправленной” вязкости подтверждается, и его следует учитывать при анализе взаимодействий валка с упруговязким прокатываемым материалом при реализации технологических процессов в валковых механизмах, а также при назначении режимов обработки текстильных материалов.

При этом “однонаправленная” вязкость снижает эффективное усилие в жале валов, порождая эффект “всплытия” обрезаемого вала (или, соответственно, паковки с пряжей).

Действительно, элемент материала на входе в валковую пару испытывает деформацию сжатия с определенной скоростью. При этом сила взаимодействия состоит из упругой и вязкой компонент. На выходе из пары контакт материала с поверхностью валка сохраняется, но вязкая компонента не действует. При учете этих положений увеличивается сдвиг эпюры нормальных напряжений и площадки контакта в сторону, противоположную движению материала [5]. Данная картина была замечена при изучении качения тел по упруговязкому основанию, но без учета описываемого явления [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Хайкин С. Э. Физические основы механики. — М: Физматгиз, 1962.
2. Фарушкин В. В., Титов С. Н., Кузнецов Г. К. Влияние вязких свойств системы на ее упругие колебания // Вестник КГТУ, № 9, 2004.
3. Титов С. Н. Нелинейная механика текстильных процессов. — Кострома: Изд-во КГТУ, 2004.
4. Титов С. Н. Комплексный анализ и усовершенствование мотального механизма ПСК-225-ЛЮ: Дис...канд. техн. наук. — Кострома, КТИ, 1994.
5. Фарушкин В. В. Совершенствование методов расчета вытяжных механизмов для мокрого прядения льна: Дис...канд. техн. наук. — Кострома, КГТУ, 1999.
6. Фарушкин В. В., Титов С. Н., Кузнецов Г. К. Методы экспериментального определения упруговязких характеристик механико-технологических систем текстильных машин // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. — 2003, № 3.
7. Ишлинский А. Ю. Трение качения. Прикладная математика и механика. — 1939. Вып. 2.

Рекомендована кафедрой теории механизмов и машин и проектирования текстильных машин. Поступила 21.06.2006.