Литература

1. Беркович, И.И. Трибология. Физические основы, механика и технические приложения: учеб. для вузов / И.И. Беркович, Д.Г. Громаковский; под ред. Д.Г. Громаковского. – Самара: Самарский ГТУ, 2000. – 268 с.
2. Гордин, П.В. Детали машин и основы конструирования: учеб. пособие / П.В. Гордин, Е.М. Росляков, В.И. Эвелеков. – СПб.: СЗТУ, 2006.
3. http://www.gaps.tstu.ru – Сайт кафедры «Автоматизированное проектирование технологического оборудования» Тамбовского государственного технического университета.

УДК 622.23.054.53

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛОВ В УСЛОВИЯХ ДИНАМИЧЕСКОГО НАГРУЖЕНИЯ

А.В. Коноплянник, Л.В. Ахмадиева, В.М. Герасимович
ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством»

Введение. При выполнении теоретических исследований функционирования транспортирующих шнековых модулей важным этапом является идентификация среды и в зависимости от этого выбор расчетной схемы и математической модели напряженно-деформированного состояния подаваемого материала.

Всякое вещество можно рассматривать находящимся в напряженно-деформированном состоянии, причем зависимость между напряжениями и деформациями непосредственно связана с природой вещества. Эта взаимосвязь обычно идеализируется простыми математическими формулами, связывающими напряжение и деформацию [1 – 3], пользуясь которыми, можно в отдельных случаях предугадать поведение материала в более сложных условиях нагружения.

Моделирование динамических нагружений материалов. Для идентификации материалов с различными свойствами исследуем их поведение при одинаковом способе нагружения (растяжении), наглядно изображая явления, происходящие при этом в материалах, с помощью простейших механических моделей и анализируя соответствующие математические зависимости.

Идеально упругая среда или среда Гука – деформация ε достигается мгновенно, может быть представлена как пружина (рис. 1, *а*) и связана с напряжением зависимостью

$$\sigma = k\varepsilon, \tag{1}$$

где k – константа материала.

Идеально вязкая среда или среда Ньютона – **скорость** деформации **связана с напряжением σ зависимостью**

$$\sigma = \mu\dot{\varepsilon} \qquad (2)$$

где μ – коэффициент динамической **вязкости материала. Если** ε = 0 при $t = 0$, то

$$\varepsilon = \frac{\sigma t}{\mu} \qquad (3)$$

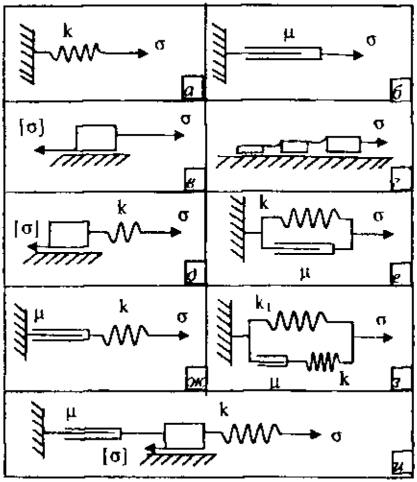

Рис. 1. Механические модели системы

Эта среда может быть представлена демпфером (рис. 1, *б*).

Напряжение текучести [σ] может быть представлено элементом трения (рис. 1, *в*), который оказывает сопротивление [σ], соответствующее трению покоя. Если приложенное напряжение σ < [σ], деформация отсутствует. Если σ > [σ], элемент начинает перемещаться. Явление упрочнения от деформации, т.е. возрастание предела текучести, может быть представлено некоторым числом таких элементов, последовательно связанных между собой свободными от натяжения нитями (рис. 1, *г*).

Идеально упругопластичная среда или среда Сен-Венана – деформация имеет упругий характер и определяется выражением (1), пока не будет достигнуто напряжение текучести [σ]. Соответствующая модель показана на рис. 1, *д*.

Твердовязкая среда или среда Кельвина. Такую среду можно представить в виде параллельно включенных среды Гука и среды Ньютона, т.е. в виде пружины и демпфера, работающих параллельно (рис. 1, *е*). Это модель упругого материала, обладающего ячеистой структурой и заполненного вязкой жидкостью. Напряжения, возникающие в пружине и демпфере, из (1) и (2) соответственно равны $k\varepsilon$ и $\mu\dot{\varepsilon}$, а полное напряжение равно сумме указанных величин

$$\sigma = k\varepsilon + \mu\dot{\varepsilon} \qquad (4)$$

Если к такому материалу приложить некоторое постоянное напряжение S в момент $t = 0$, при ε = 0, то решение дифференциального уравнения (4) имеет вид

$$\varepsilon = \frac{S}{k}\left(1 - e^{-\frac{kt}{\mu}}\right). \qquad (5)$$

В этом случае деформация S/k, которая при отсутствии демпфера достигается мгновенно, приближается к окончательному значению по экспоненциальному закону. При снятии нагрузки деформация в момент времени t определяется по формуле

$$\varepsilon = \varepsilon_0 e^{-\frac{kt}{\mu}}, \tag{6}$$

и напряжения экспоненциально стремятся к нулю.

Данное явление называется релаксацией деформации при нулевом напряжении, а время $t = \mu/k$, за которое деформация уменьшается до $1/e$ от своей начальной величины, – временем релаксации.

Эта модель представляет собой затухание колебаний твердого тела от внутреннего трения и хорошо отражает свойства таких материалов, как пробка, резина, каучук.

Упруговязкая среда или среда Максвелла. В этой модели демпфер и пружина включены последовательно (рис. 1, *ж*), поэтому в них возникает одинаковое напряжение σ, и если деформации пружины и демпфера обозначить соответственно ε_1 и ε_2, то

$$\varepsilon_1 = \frac{\sigma}{k}; \quad \dot{\varepsilon}_2 = \frac{\sigma}{\mu}. \tag{7}$$

Полную деформацию $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$ можно определить из условия

$$\dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{k} + \frac{\sigma}{\mu}. \tag{8}$$

Если в момент времени $t = 0$ системе сообщена деформация ε_0, то в некоторый момент времени t напряжение будет

$$\sigma = k\varepsilon_0 e^{-\frac{kt}{\mu}}. \tag{9}$$

В данном случае при постоянной деформации имеет место релаксация напряжения, и напряжение за время μ/k падает до $1/e$ от своей начальной величины. Это время называется временем релаксации Максвелла.

Обобщенная линейная среда может быть представлена состоящей из среды Гука и среды Максвелла, включенных параллельно (рис. 1, *з*). Если σ_1 – напряжение в элементе Максвелла, σ_2 – напряжение в пружине, а деформация системы равна ε, то из (1) и (8)

$$k_1\varepsilon = \sigma_2; \; \varepsilon = \frac{\dot{\sigma}_1}{k} + \frac{\sigma_1}{\mu}. \tag{10}$$

Если учесть, что $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$ – полное напряжение, то, решая систему из трех уравнений, получим

$$\sigma + t_0\dot{\sigma} = k_1(\varepsilon + k_1\dot{\varepsilon}), \text{ где } t_0 = \frac{\mu}{k}; \; t_1 = \mu\frac{k + k_1}{kk_1} \tag{11}$$

Данная модель значительно лучше отражает свойства различных материалов, чем модель Кельвина.

Из уравнения (11) следует, что обобщенная линейная среда имеет два времени релаксации: t_0 – время релаксации напряжения при постоянной деформации и t_1 – время релаксации деформации при постоянном напряжении. Зависимость (11) можно записать в виде

$$c_1\dot{\varepsilon} + c_2\varepsilon = c_3\dot{\sigma} + c_4\sigma\,, \tag{12}$$

где c_1, c_2, c_3, c_4 – постоянные, и поэтому данная модель является наиболее обобщенной формой линейной зависимости, связывающей напряжения, деформации и их производные. Это и определяет ее название.

Среда Бингама. Если напряжение в результате деформации совершенно пластичного тела (среда Сен-Венана) превышает некоторый предел, то тело дальше не оказывает сопротивления деформации. Элементарной моделью подобного тела является среда Бингама (рис. 1, *и*), которая дает достаточно полное представление о деформации материала, имеющего предел текучести. В области напряжений до предела текучести она представляет собой упругое тело, причем в зависимости от увеличения напряжения линейно возрастают и деформации. Для постоянного напряжения σ, приложенного в момент времени $t = 0$, деформация системы

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{k},\ \text{если}\ \sigma < [\sigma]\,; \tag{13}$$

$$\varepsilon = \frac{(\sigma - [\sigma])t}{\mu} + \frac{\sigma}{k},\ \text{если}\ \sigma > [\sigma]\,. \tag{14}$$

Из всех рассмотренных данная модель наиболее точно характеризует свойства широкого спектра материалов, занимающих промежуточное положение между вязкими жидкостями и твердыми телами.

Выводы. Приведенный анализ свойств вязко-пластичных материалов, в частности, условие перехода от движения материала по твердой поверхности к относительному движению слоев внутри материала для пары металл – вязко-пластичное тело показывает, что большинство материалов, подаваемых, например, напорными шнековыми модулями, не являются ни ньютоновскими жидкостями, ни абсолютно твердыми телами. Поэтому при установлении закономерностей движения материала в напорном шнеке нельзя ограничиваться рассмотрением процессов, происходящих на поверхностях контактов подаваемого материала с рабочими органами машины. Необходимо учитывать процессы, протекающие внутри массива подаваемого материала, которые во многом определяют качественный и количественный характер его движения.

Литература

1. Машиностроение. Динамика и прочность машин. Теория механизмов и машин: энциклопедия / К.С. Колесников [и др.]; ред.-сост. и отв. ред. акад. РАН К.С. Колесников. – Т. 1 – 3. Кн. 1. – М.: Машиностроение, 1994. - 534 с.
2. Механика машин: учеб. пособие для втузов / И.И. Вульфсон [и др.]; под ред. Г.А. Смирнова. – М.: Высш. шк., 1996. – 511 с.
3. Сопротивление материалов:учеб. / В.Н. Заяц [и др.]; под общ. ред. В.Н. Зайца. – Минск: Выш. шк., 1998. – 367 с.

УДК 622.23.054.53

ВЛИЯНИЕ ЗАПИРАЮЩЕГО ДАВЛЕНИЯ И КОЛИЧЕСТВА ВИТКОВ ШНЕКОВОЙ ЛОПАСТИ НА ФОРМУ ПОВЕРХНОСТИ РАЗРУШЕНИЯ МАТЕРИАЛА

А.В. Конопляник

ЗАО «Солигорский Институт проблем ресурсосбережения с Опытным производством», Солигорск

Введение. Свойства материалов, проявляющиеся на поверхностях их контактов с рабочими органами машин, оказывают существенное влияние на процесс подачи этих материалов напорным шнеком. Закономерности движения материалов в напорном шнеке во многом определяются различием между прочностью структурных связей в объеме материала и прочностью адгезионных связей на поверхности контакта материала с металлическими поверхностями рабочих органов [1 – 3]. Поэтому необходимо учитывать процессы, протекающие внутри массива подаваемого материала, которые во многом определяют качественный и количественный характер его движения.

Методика исследования и их результаты. Рассмотрим равновесие элементарного объема материала, вырезанного из канала, образованного внутренней цилиндрической поверхностью корпуса модуля, валом и лопастью шнека (рис. 1).

На элементарный объем материала действуют следующие силы.

Сила подпора

$$F_4 = PS_K, \tag{1}$$

где P – давление материала в шнековой полости, Па; $S_K = (R - r)t$ – площадь сечения канала, образованного внутренней поверхностью корпуса, валом и лопастью шнека, м^2; t – шаг шнека, $t = 2\pi R tg\alpha$, м; α – угол подъема винтовой линии шнековой лопасти; R - радиус лопасти шнека, м; r - радиус вала шнека, м.