

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
PIHII (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.716
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

SOI: [1.1/TAS](#) DOI: [10.15863/TAS](#)

International Scientific Journal Theoretical & Applied Science

p-ISSN: 2308-4944 (print) e-ISSN: 2409-0085 (online)

Year: 2020 Issue: 01 Volume: 81

Published: 30.01.2020 <http://T-Science.org>

QR – Issue



QR – Article



Shoolim Muzaffarovich Salimov

Military technical institute of the National Guard of the Republic of Uzbekistan

Researcher

salimovshoolim@gmail.com

Tulkin Mavlanovich Mavlanov

Tashkent Institute of Irrigation and Agricultural Mechanization Engineers

Doctor of Technical Sciences, Professor,

Tashkent, Republic of Uzbekistan

MODELING THE PROCESS OF REFORMING A ROD WITH NONLINEAR VISCOELASTIC CHARACTERISTICS

Abstract: In this work, oscillations of a rod with viscoelastic characteristics are considered. Moreover, from the point of view of practice, it is interesting to study the oscillation of the rods at moving ends, when the rod receives excitation, depending on the law of movement of these ends, as well as on the acting dynamic loads in the form of a real waveform.

Key words: mathematical model, process, deformation, rod, nonlinear, viscoelasticity, thread, oscillogram, dynamic load.

Language: Russian

Citation: Salimov, S. M., & Mavlanov, T. M. (2020). Modeling the process of reforming a rod with nonlinear viscoelastic characteristics. *ISJ Theoretical & Applied Science*, 01 (81), 350-353.

Soi: <http://s-o-i.org/1.1/TAS-01-81-62> **Doi:**  <https://dx.doi.org/10.15863/TAS.2020.01.81.62>

Scopus ASCC: 2200.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕФОРМИРОВАНИЯ СТЕРЖНЯ С НЕЛИНЕЙНЫМИ ВЯЗКОУПРУГИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Аннотация: В работе рассматриваются колебания стержня с вязкоупругими характеристиками. При этом, с точки зрения практики интересным является исследование колебания стержня при подвижных концах, когда стержень получает возбуждение, зависящее от закона перемещения этих концов, а также от действующих динамических нагрузок в виде реальной осциллограммы.

Ключевые слова: математическая модель, процесс, деформация, стержень, нелинейный, вязкоупругость, нить, осциллограмма, динамическая нагрузка.

Введение.

Физической моделью объекта называется любой другой объект, отдельные свойства которого полностью или частично совпадают со свойствами исходного. Модель создается ради исследований, которые на реальном объекте проводить либо невозможно, либо дорого, либо неудобно. Основной целью, ради которой создаются модели, заключается в следующем:

- выявить взаимозависимости переменных, характер их изменения во времени и найти

существующие закономерности. При этом находится в исходном объекте определяется те зависимости, которые имеют непосредственное отношение к его функционированию;

- научиться предсказывать поведение объекта и управлять им, испытывая различные варианты управления на модели;

- использовать модели для нахождения оптимальных соотношений параметров, исследования особых режимов работы.

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
 ISI (Dubai, UAE) = 0.829
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 ПИИЦ (Russia) = 0.126
 ESJI (KZ) = 8.716
 SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260
 OAJI (USA) = 0.350

Компьютерная модель – это программная реализация математической модели, дополненная различными служебными программами. Компьютерная модель проявляет свойства физической модели, когда она абстрактные составляющие – программы – интерпретируется компьютером. Кроме того, компьютерная модель как физическое устройство может входить в состав испытательных стендов, виртуальных лабораторий. Компьютерное моделирование позволяет без существенных трудностей модифицировать математических моделей, которые является основой для получения результатов с высокой степенью точности.

Математическое моделирование.

В большинстве практических задач различного назначения возникает изучения колебательных движений гибких стержней с вязкоупругими нелинейными характеристиками. Как известно гибкие стержни при движении совершает продольные, поперечные и крутильные колебаний. Наиболее существенным при этом является поперечные колебания. Во многих технологических процессах машин наблюдается вынужденные колебания стержни, которые происходят под действием внешних сил. В частности, с точки зрения практики интересным является исследование колебания стержни при подвижных концах, когда стержень получает возбуждение, зависящие от закона перемещения этих концов, а также от действующих динамических нагрузок в виде реальной осциллограммы.

Если известны экспериментальные результаты, то для определения параметров, входящих в кубичную теории вязкоупругости, согласно [1,4,8] поступим следующим образом. Напишем уравнение кубичной теории вязкоупругости

$$E\varepsilon(t) = \sigma(t) + \int_0^t K_1(t-s)\sigma(s)ds + bE \int_0^t K_3(t-s)\sigma^3(s)ds. \quad (1)$$

Примем функции, входящие в (1) $K_1(t)$ и $K_3(t)$ в виде

$$K_i(t) = \frac{e^{-\beta_i t}}{t} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(A_i G(\alpha_i))^n}{G(\alpha_i n)}. \quad (2)$$

Модуль упругости и параметры α_1 , β_1 , A_1 ядра K_1 определим по методу совмещений [2,6,5]. Зная E и K_1 представим уравнение ползучести в нелинейной области

$$E \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_k} - \left(1 + \int_0^t K_1(\tau) d\tau \right) = bE\sigma_k^2 \int_0^t K_3(\tau) d\tau. \quad (3)$$

Величина

$$I(t) \equiv E \frac{\varepsilon(t)}{\sigma_k} - \left(1 + \int_0^t K_1(\tau) d\tau \right). \quad (4)$$

Уравнение (3) представим в виде

$$I(t) = bE\sigma_k^2 \int_0^t K_3(\tau) d\tau. \quad (5)$$

где неизвестными являются величины b и $K_3(\tau)$ в правой части. Построим кривую $I(t) \sim \lg t$. Для определения константы b и параметров ядра α_3 , β_3 , A_3 ядра $K_3(\tau)$ воспользуемся графиками функций

$$\int_0^t K_3(\alpha_3, \beta_3, A_3, t) dt \sim \lg t. \quad (6)$$

Сопоставляя графиков можно найти такие кривые по которой возможно определить параметров α_3 , β_3 , A_3 ядра $K_3(\tau)$. После этого находим b из соотношения

$$b = \frac{I(t)}{E\sigma_k^2 \int_0^t K_3(\tau) d\tau}.$$

Если, например, в качестве гибкого стержня принимать нить, с определенными механическими характеристиками, то в процессе ткачество необходимо знать закон изменения натяжения. Этот закон можно получить теоретически [3], вычисляя деформацию нитей основы, вызываемую воздействием на нити различных механизмов станка. Проще и точнее, однако, воспользоваться экспериментальной записью натяжения основы.

Так, например, в работе [3] приведена осциллограмма записи натяжения основы, полученная на станке СТБ-216.

Реализация математической модели.

При действии на нить с закрепленными концами, динамической нагрузки в виде осциллограммы с учетом некоторых допущений задача сводится к решению интегро-дифференциального уравнения [8]

$$a^2 \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + a^2 \int_0^t \Gamma_1(t-\tau) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} d\tau + e \int_0^t \Gamma_3(t-\tau) \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right)^3 d\tau + f(t) \quad (7)$$

при нулевых граничных и начальных условиях: при

$$t = 0, u = u_0(x), \frac{\partial u}{\partial t} = \dot{u}_0(x),$$

где a - характеризует скорость распространения волн; соответственно ядер релаксации; e - коэффициент нелинейности; внешняя динамическая нагрузка.

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
 ISI (Dubai, UAE) = 0.829
 GIF (Australia) = 0.564
 JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
 ПИИЦ (Russia) = 0.126
 ESJI (KZ) = 8.716
 SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
 PIF (India) = 1.940
 IBI (India) = 4.260
 OAJI (USA) = 0.350

При выводе уравнения (7) учтены нелинейные и вязкоупругие свойства стержня. При этом внешняя динамическая нагрузка определяется на основе обработке экспериментальных данных. Причем характер изменения внешней динамической нагрузки существенно отличается от идеального закона ускорений вследствие сопровождающих колебаний в основном с первой собственной частоты.

Далее задача овынужденных колебаний с помощью известных методов Бубнова-Галёркина в сочетании с методом усреднения, сводится к системе обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений с комплексными коэффициентами [7,9,10].

$$\begin{aligned} \dot{T}(t) + 2b\dot{T}(t) + \lambda^2 T(t) + \gamma T^3(t) = \\ = \lambda^2 \int_0^t \Gamma(t-s)T(s)ds + \gamma \int_0^t \Gamma_1(t-s)T^3(s)ds + f(t); \\ T(t=0) = T_0; \dot{T}(t=0) = \dot{T}_0. \end{aligned} \quad (8)$$

Система уравнений (8) заменяется близкими уравнениями [3,10]

$$\begin{aligned} \ddot{\bar{T}}(t) + a_1 \dot{\bar{T}}(t) + a_2 \bar{T}(t) + a_3 \bar{T}^3(t) = \bar{f}(t) \\ \bar{T}(t=0) = \bar{T}_0; \dot{\bar{T}}(t=0) = \dot{\bar{T}}_0. \end{aligned} \quad (9)$$

Здесь

$$\begin{aligned} a_1 = 2b + \lambda\omega_s + \gamma\omega_{s1}, \quad a_2 = \lambda^2(1 - \omega_c), \\ a_3 = \gamma(1 - \omega_{c1}), \end{aligned} \quad (10)$$

$$\begin{aligned} \omega_c &= \int_0^t \Gamma(s) \cos(\lambda s) ds; \\ \omega_{c1} &= \int_0^t \Gamma_1(s) \cos(\lambda s) ds; \\ \omega_s &= \int_0^t \Gamma(s) \sin(\lambda s) ds; \\ \omega_{s1} &= \int_0^t \Gamma_1(s) \sin(\lambda s) ds. \end{aligned} \quad (11)$$

Полученная система уравнений решается численно с применением математического пакета «Mathcad».

Следует отметить, что имеют различные выражения в разных интервалах времени, поэтому их значения можно определять с помощью реальной осциллограммы, по имеющимся формулам для отдельных участков или задавать в виде таблицы.

В случае гармонической внешней нагрузки получены кривые усилия в стержне, которые представлены в виде графиков на рис.1. Сплошная кривая на рисунке представляет изменения усилия без учета нелинейности, а пунктирная характеризуют закон изменения усилия с учетом нелинейности. При этом в качестве входящих величин в уравнения движения приняты следующие исходные данные:

$$\begin{aligned} a &= 4; \quad A_1 = 0.123; \quad c = 0.08; \\ b1(t) &:= 10 \cdot \sin(25 \cdot t^2) \quad A_2 = 0.0132; \\ \alpha 1 &:= 0 \quad \beta 1 := 0.01 \\ \alpha 2 &:= 0.15 \quad \beta 2 := 0.05 \end{aligned}$$

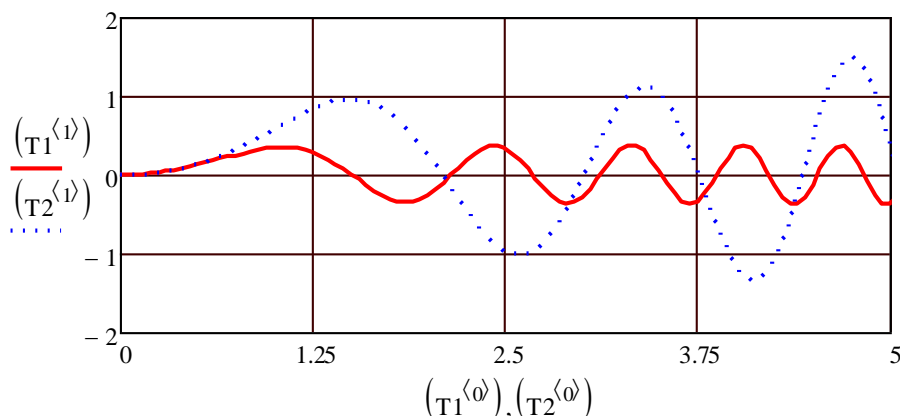


Рис.1. Изменения усилий в зависимости от времени t :
 T_1 - усилия с учетом нелинейности, T_2 - усилия без учета нелинейности.

Из графиков видно, что учет нелинейности существенно влияет на деформированное состояние стержня.

В качестве модели нами использована интегральное соотношения Больцмана-Вольтерра, а в качестве функции релаксации принято

Impact Factor:

ISRA (India) = 4.971
ISI (Dubai, UAE) = 0.829
GIF (Australia) = 0.564
JIF = 1.500

SIS (USA) = 0.912
РИИЦ (Russia) = 0.126
ESJI (KZ) = 8.716
SJIF (Morocco) = 5.667

ICV (Poland) = 6.630
PIF (India) = 1.940
IBI (India) = 4.260
OAJI (USA) = 0.350

трехпараметрическое ядро Колтунова-Ржаницына, при помощи которой достигается наименьшая погрешность при расчетном описании ползучести гибкого стержня в заданной области деформаций.

В большинстве случаев одного опыта или однократного прогона модели окажется недостаточно для достижения искомого результата. Например, для нашей задачи является параметрическая оптимизация исходных данных. При решении этой задачи используется отдельный прогон модели. Алгоритм оптимизации задает некоторые значения, входящих в уравнения движения параметров. Задавая различные значения этих параметров, в результате численных экспериментов, определяют наиболее рациональные значения входящих параметров.

При этом отдельной задачей является нахождение особых значений коэффициентов моделей, качественно меняющих характер ее поведения. Для рассмотренного примера определение рациональных значений характерных величин не представляет трудности. В общем случае применения численных процедур поиска рациональных значений, входящих параметров, качественно меняющих характер поведения рассматриваемой задачи необходимо

знать, что они существуют и уметь оценивать диапазон параметров, где следует их искать.

В нашем случае наиболее рациональными значениями параметров, входящих в разрешающих уравнений является следующими:

$$T_0 = 6; \nu_0 = 1.2; \alpha = 0.2; \beta = 0.4; A = 0.125.$$

Предложена методика технологии компьютерного моделирования динамических процессов, на примере, поперечного колебания нити в процессе ткачества и определены рациональные значения входящих параметров.

Выводы.

Установлено, что применение разработанных методик для прогнозирования «нелинейной вязкоупругости гибких стержней, при различных режимах нагруженности, по кривым ползучести, возможно только при условии конечной деформации. Для применения разработанных методик прогнозирования вязкоупругих свойств гибких стержней является адекватное описание ползучести исследуемого гибкого стержня. Для применения разработанных методик прогнозирования вязкоупругих свойств гибких стержней является адекватное описание ползучести исследуемого гибкого стержня.

References:

1. Alexandrov, A.V., & Potapov, V.D. (2002). *Fundamentals of the theory of elasticity and plasticity*. (p.400). Moscow: Higher school.
2. Belov, N.N., Kopanitsa, D.G., & Yugov, N.T. (2007). *Mathematical modeling of the dynamic strength of structural materials. Volume 1. Elements of tensor calculus*. (p.140). Tomsk: STT.
3. Ilyushin, A.A., & Pobedra, B.E. (1970). *Fundamentals of the mathematical theory of thermoviscoelasticity*. (p.280). Moscow: Nauka.
4. Kachanov, L.M. (1960). *Creep theory*. (p.456). Moscow: Fizmatgiz.
5. Koltunov, M.A., Kravchuk, A.S., & Mayboroda, V.P. (1973). *Applied mechanics of a deformable solid*. (p.399) Moscow: Higher School.
6. Koshelev, A.I., & Narbut, M.A. (2002). *Mechanics of a deformable solid*. Electronic textbook. (p.287). SPb.
7. Maltsev, L.E. (1977). *Replacing the exact equation of the dynamic problem of viscoelasticity with "approximate"*, *Mechanics of Polymers*, 3, pp. 408-416.
8. Mavlanov, T.M., Dremova, N.V., & Abdieva, G.B. (2013). *The dynamic strength of the elements of textile machines on the action of a real oscillogram*, (p.36). Tashkent.
9. Mirsaidov, M.M. (2010). *Theory and methods for calculating soil structures for strength and earthquake resistance*. (p.312). Tashkent, FAN.
10. Rabotnov, Yu.N. (1979) *Mechanics of a deformable solid*. (p.744). Moscow: Nauka.