

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Юго-Западный государственный университет»
(ЮЗГУ)

Кафедра механики, мехатроники и робототехники



УТВЕРЖДАЮ

проф. _____ по учебной работе

О.Г. Локтионова

_____ 2016 г.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВИБРАЦИОННОГО ИНСТРУМЕНТА С УЧЕТОМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ В СРЕДЕ MATHCAD

Методические указания к выполнению практических и
самостоятельных работ по дисциплине «Проектирование
мехатронных систем» для студентов направления 15.03.06

Курск 2016

УДК 621.864

Составители: С.Ф. Яцун, Л.Ю. Волкова

Рецензент

Кандидат технических наук, доцент *Б.В. Лушников*

Моделирование движения вибрационного инструмента с учетом технологической нагрузки в среде MathCAD: методические указания по выполнению практической и индивидуальной работ по дисциплине «Проектирование мехатронных систем» / Юго-Зап. гос. ун-т; сост. С.Ф. Яцун, Л.Ю. Волкова. Курск, 2016. 14 с.

Методические указания содержат сведения по разработке математической модели вибрационного инструмента с учетом воздействия на него обрабатываемой среды, написания алгоритма численного моделирования его движения, программной реализации математической модели в среде MathCAD. Приведены варианты моделируемой мехатронной системы.

Методические указания соответствуют требованиям программы, утверждённой учебно-методическим объединением (УМО).

Предназначены для студентов специальности 15.03.06-Мехатроника и робототехника.

Текст печатается в авторской редакции

Подписано в печать . Формат 60x84 1/16.
Усл.печ.л. . Уч.-изд.л. . Тираж 20 экз. Заказ. Бесплатно.
Юго-Западный государственный университет.
305040 Курск, ул. 50 лет Октября, 94.

Содержание

Введение	4
Задание	4
1. Описание мехатронной системы	7
2. Алгоритм моделирования	9
3. Написание программы в среде MathCAD	11
4. Результаты моделирования	11

Введение

Одним из наиболее важных этапов в проектировании мехатронной системы является разработка ее математической модели и реализация численного моделирования, позволяющего исследовать основные характеристики устройства и особенности его движения.

В настоящем методическом указании рассмотрена разработка математической модели мехатронной системы вибрационного инструмента с учетом воздействия на него обрабатываемой среды в виде упруго-вязко-пластического элемента, алгоритма моделирования движения объекта и исследование влияния на его динамику технологической нагрузки.

Задание

1 Написать программу моделирования движения мехатронной системы с учетом технологической нагрузки при программно-управляемом пуске двигателя в среде MathCAD.

2 Построить временные зависимости $i(t), \ddot{\varphi}(t), \dot{\varphi}(t), \varphi(t), \ddot{x}(t), \dot{x}(t), x(t)$ для системы без и с учетом технологической нагрузки, а также графики $\Delta(t), F_3(x), F_3(\Delta)$.

3 Сделать выводы о влиянии технологической нагрузки на работу виброинструмента.

Численные данные, используемые при моделировании, указаны в табл. 1. Характеристики двигателей приведены в табл. 2.

$$\begin{aligned}
 m_1 &= 0.02 \text{ кг;} \\
 c_1 &= 250 \text{ Н/м;} \\
 c_2 &= 0 \text{ Н/м;} \\
 c_3 &= 1000 \text{ Н/м;} \\
 \mu_1 &= 2.5 \text{ Н} \cdot \text{с/м;} \\
 \mu_2 &= 0 \text{ Н} \cdot \text{с/м;} \\
 r &= 0.01 \text{ м;} \\
 g &= 10 \text{ м/с}^2.
 \end{aligned}$$

Табл. 1 - Численные данные вибрационной системы

№	m2/ m1	Двигатель
1	1	RE-16 3.2 ВТ
2	5	RE-13 3 ВТ
3	1	RE-13 2.5 ВТ
4	5	RE-25 20 ВТ
5	1	RE-30 60 ВТ
6	5	RE-40 150 ВТ
7	1	RE-75 250 ВТ
8	5	RE-16 4.5 ВТ
9	1	RE-16(2) 3.2 ВТ
10	3	RE-30 60 ВТ
11	5	RE-16 3.2 ВТ
12	1	RE-13 3 ВТ
13	5	RE-13 2.5 ВТ
14	1	RE-25 20 ВТ
15	5	RE-30 60 ВТ
16	1	RE-40 150 ВТ
17	5	RE-75 250 ВТ
18	1	RE-16 4.5 ВТ
19	5	RE-16(2) 3.2 ВТ
20	3	RE-40 150 ВТ

Табл. 2 – Характеристики двигателей

Параметры	RE-16	RE-13	RE-13	RE-25	RE-30	RE-40	RE-75	RE-16	RE-16
	3.2 Вт	3 Вт	2.5 Вт	20 Вт	60 Вт	150 Вт	250 Вт	4.5 Вт	3.2 Вт
Ном. напряжение, В	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Скорость холостого хода, об/мин	7130	13100	11000	9770	8170	6920	1820	13900	5990
Ток холостого хода, мА	6.05	44.4	11.0	165	300	241	568	46.0	4.63
Ном. скорость, об/мин	5020	10200	7370	8630	7630	6370	1540	11900	3830
Ном. момент, мНм	5.47	2.45	2.89	23.5	51.7	94.9	551	3.95	5.37
Ном. ток, А	0.347	0.331	0.291	2.25	4.00	6.00	10.0	0.531	0.286
Пусковой момент, мНм	18.6	11.1	8.79	261	844	1680	5960	28.8	14.9
Пусковой ток, А	1.16	1.32	0.856	23.2	60.5	102	103	3.55	0.784
Сопротивление цепи ротора, Ом	10.3	9.07	14.0	0.517	0.198	0.117	0.117	3.38	15.3
Индуктивность цепи ротора, мГн	0.452	0.316	0.485	0.0573	0.0345	0.0245	0.0402	0.113	0.639
Моментная постоянная, мНм/А	16.0	8.42	10.3	11.2	13.9	16.4	58.1	8.11	19.0
Скоростная постоянная, (об/мин)/В	597	1130	930	850	685	581	164	1180	502
Механическая постоянная времени, мс	5.24	6.92	7.15	5.89	3.42	6.03	4.95	6.84	5.26
Момент инерции ротора, гсм ²	1.29	0.541	0.537	14.4	33.5	139	1430	1.33	1.24

1. Описание мехатронной системы

Рассмотрим мехатронную систему, представляющую собой вибрационный инструмент, используемый при операциях обработки различных технологических сред, расчетная схема которой изображена на рис. 1. Инструмент состоит из несущего корпуса 1, упруго-вязким образом связанного с неподвижным основанием 2. В полости корпуса расположен дебалансный вибровозбудитель 3 с приводом от электродвигателя ограниченной мощности. Направление движения инструмента и обработки обеспечивается идеальными направляющими 4. Корпус жестко соединен с рабочим органом, который, в свою очередь, воздействует на обрабатываемую среду 5.

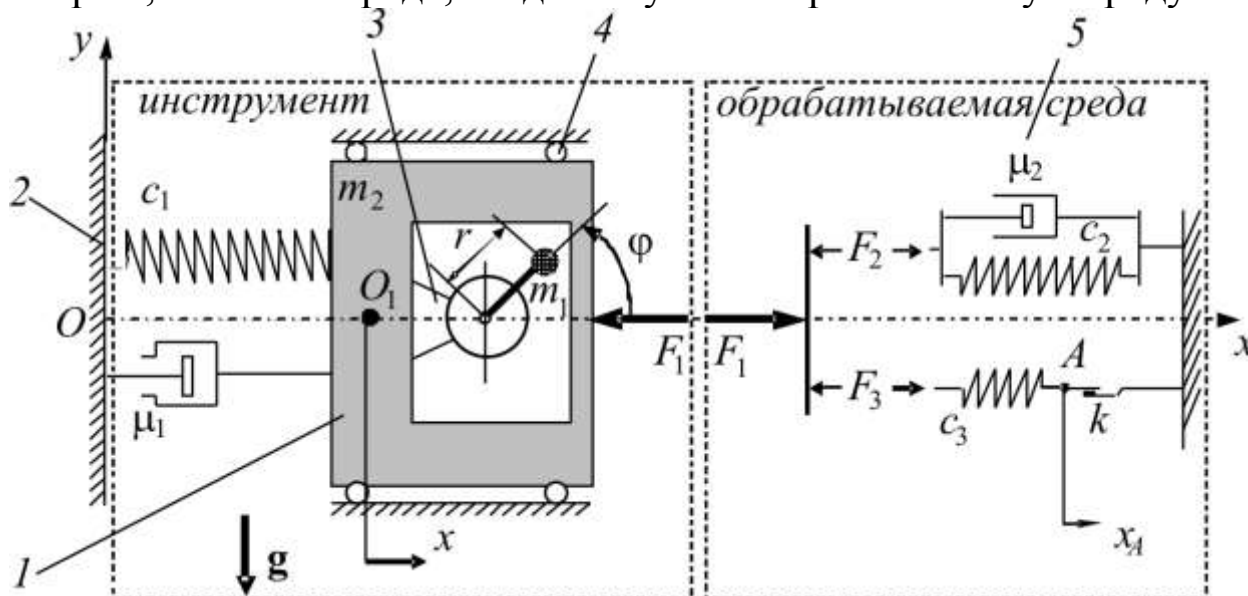


Рис. 1 Схема мехатронной системы (вибрационного инструмента) и обрабатываемой среды

Технологическая ось инструмента и направление обработки совпадают с горизонтальной осью Ox , перпендикулярной направлению действия силы тяжести g . Вращение дебаланса вибровозбудителя происходит относительно горизонтальной оси, перпендикулярной плоскости yOx .

Корпус и рабочий орган инструмента моделируются единым абсолютно твердым телом массой m_2 , поступательное движение которого описывается координатой x центра масс корпуса (точка O_1), отсчитываемой от недеформированного состояния системы в направлении горизонтальной оси Ox .

Масса m_1 дебаланса центробежного вибровозбудителя сконцентрирована в точке, отстоящей от оси электродвигателя на расстоянии r . Положение дебаланса относительно корпуса будем определять углом φ , отсчитываемым от положительного направления оси Ox против хода часовой стрелки.

Крепление корпуса к основанию описывается реологической моделью тела Кельвина–Фойгта с коэффициентом жесткости c_1 и коэффициентом демпфирования μ_1 . Со стороны обрабатываемой среды на рабочий орган инструмента действует сила F_1 .

Полное движение электромеханической системы вибрационного инструмента описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений:

$$\begin{cases} m \frac{d^2 x}{dt^2} + \mu_1 \frac{dx}{dt} + c_1 x = m_1 r \left[\frac{d^2 \varphi}{dt^2} \sin \varphi + \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 \cos \varphi \right] + F_1; \\ J \frac{d^2 \varphi}{dt^2} - m_1 r \left(\frac{d^2 x}{dt^2} \sin \varphi - g \cos \varphi \right) = M(i); \\ L \frac{di}{dt} + Ri + C_w \frac{d\varphi}{dt} = U(t), \end{cases} \quad (1)$$

где $J = J_D + m_1 r^2$ - приведенный к оси вращения момент инерции двигателя и дебаланса (J_D – момент инерции двигателя);

i – ток в цепи электродвигателя;

L, R – индуктивность и сопротивление обмотки электродвигателя;

C_w – электрическая константа угловой скорости;

$U(t)$ – напряжение.

Первое уравнение системы (1) определяет поступательное движение всей модели, второе – вращательное движение ротора двигателя и дебаланса, а третье – закон Кирхгофа в цепи электродвигателя.

2. Алгоритм моделирования

Моделирование динамики мехатронной системы, описываемой системой уравнений (1), будем проводить в соответствии с алгоритмом рис. 2.

Характеристики вибросистемы на каждом шаге определяются следующим образом:

$$\left(\frac{di}{dt}\right)_j = \frac{U}{L} - \frac{R}{L}i_{j-1} - \frac{C_w}{L}\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)_{j-1}$$

$$\left(\frac{d^2\varphi}{dt^2}\right)_j = \frac{C_E}{J}i_j + \frac{m_1r}{J}\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)_{j-1} \sin \varphi_{j-1} - \frac{m_1r}{J}g \cos \varphi_{j-1}$$

$$\left(\frac{d^2x}{dt^2}\right)_j = \frac{m_1r}{m}\left(\frac{d^2\varphi}{dt^2}\right)_j \sin \varphi_j + \frac{m_1r}{m}\left(\frac{d\varphi}{dt}\right)_j^2 \cos \varphi_j - \frac{\mu_1}{m}\left(\frac{dx}{dt}\right)_{j-1} - \frac{c_1}{m}x_{j-1} - F_{1j-1}$$

Будем рассматривать программно-управляемый пуск двигателя.

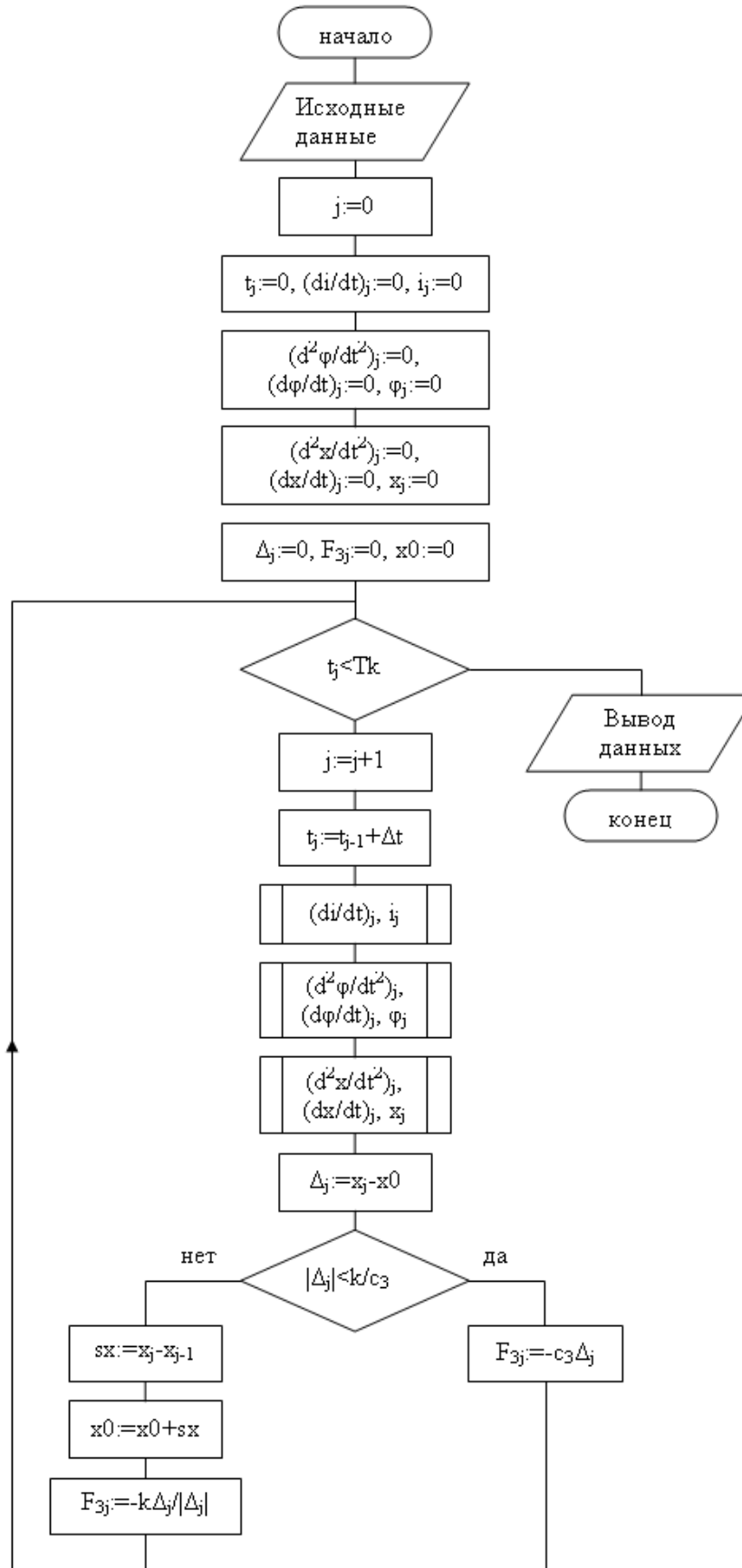


Рис. 2 Алгоритм моделирования динамики вибрационной системы

3. Написание программы в среде MathCAD

Переобозначения, используемые в тексте программы:

$$A^{<0>} - t,$$

$$A^{<1>} - \frac{di}{dt},$$

$$A^{<2>} - i,$$

$$A^{<3>} - \frac{d^2\varphi}{dt^2},$$

$$A^{<4>} - \frac{d\varphi}{dt},$$

$$A^{<5>} - \varphi,$$

$$A^{<6>} - \frac{d^2x}{dt^2},$$

$$A^{<7>} - \frac{dx}{dt},$$

$$A^{<8>} - x,$$

$$A^{<9>} - U,$$

$$A^{<10>} - \Delta,$$

$$A^{<11>} - F_3.$$

4. Результаты моделирования

Графики характеристик вибросистемы приведены на рис. 3-8.

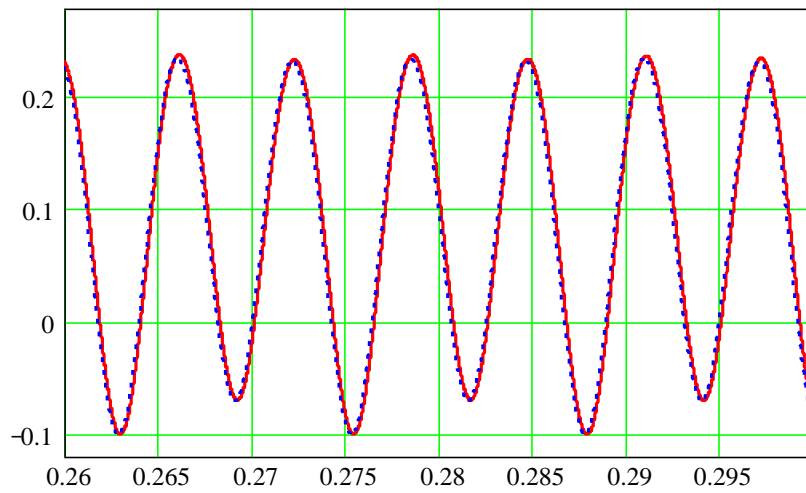
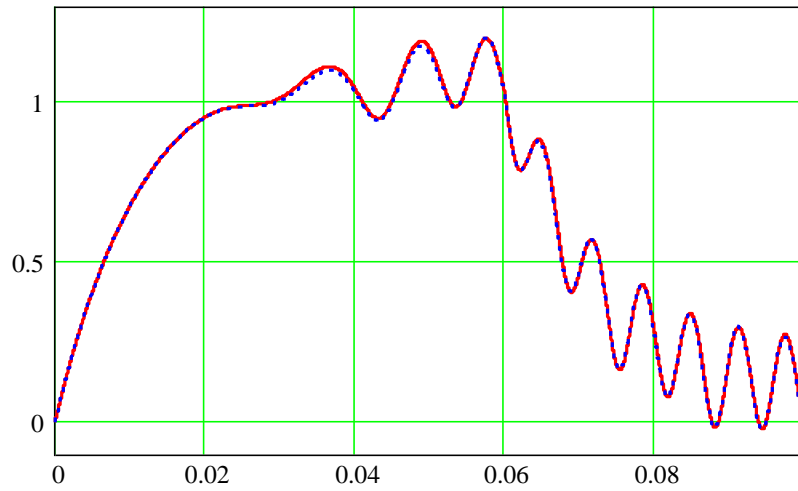


Рис 3 Графики зависимости $i(t)$: — с учетом технологической нагрузки, - - - без учета технологической нагрузки

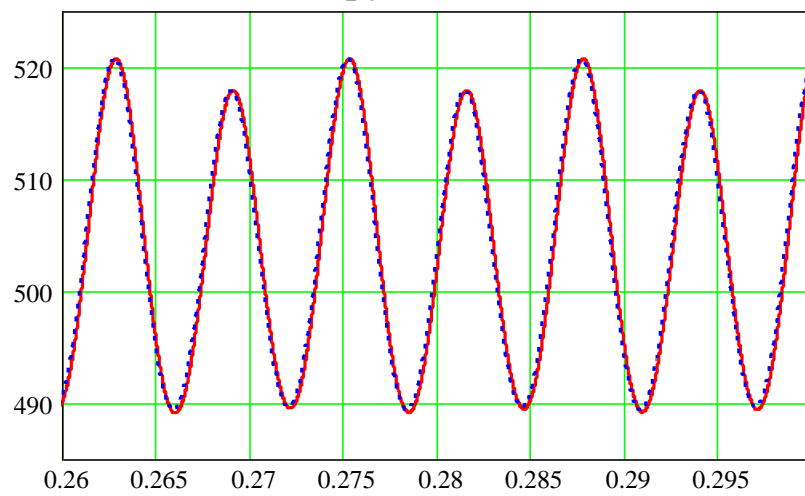


Рис. 4 Графики зависимости $\dot{\varphi}(t)$: — с учетом технологической нагрузки, - - - без учета технологической нагрузки

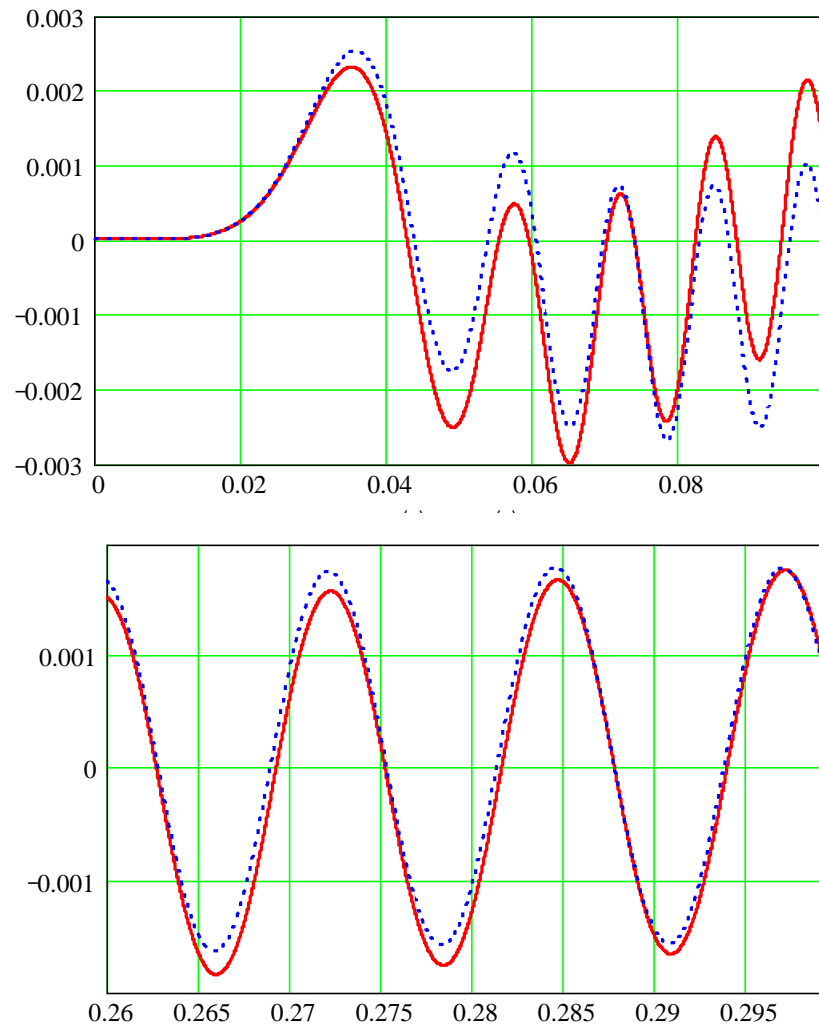


Рис. 5 Графики зависимости $x(t)$: — с учетом технологической нагрузки, - - - без учета технологической нагрузки

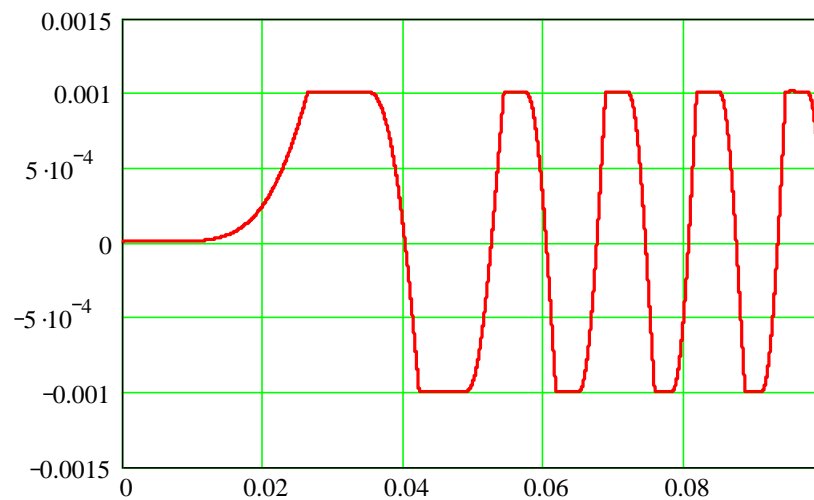
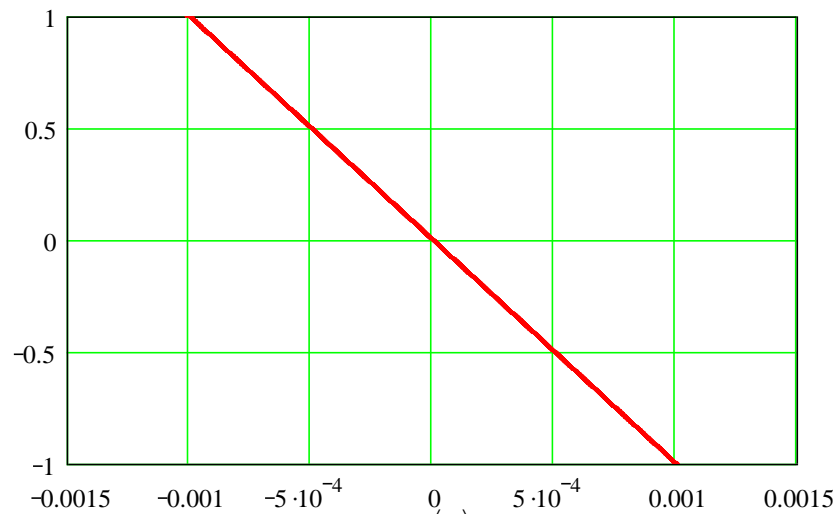
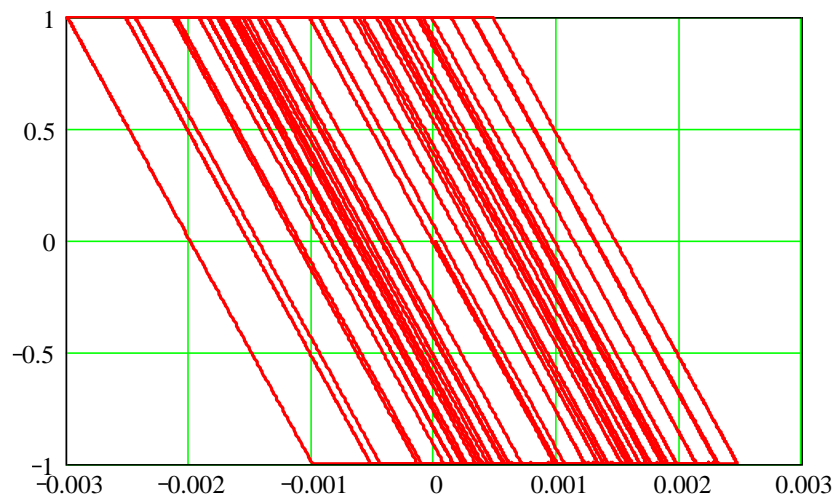


Рис. 6 График зависимости $\Delta(t)$

Рис. 7 График зависимости $F_3(\Delta)$ Рис. 8 График зависимости $F_3(x)$