

## Литература

1. Гончарова, С. В. Механика материалов. Расчет статически неопределимых балок [Электронный ресурс] : учебное пособие / С. В. Гончарова, В. М. Хвасько ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра "Теоретическая механика и механика материалов". – Минск : БНТУ, 2019. Режим доступа: <https://rep.bntu.by/handle/data/62326>.

2. Реут, Л. Е. Статически неопределимые системы при плоском поперечном изгибе [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие для студентов машиностроительных специальностей / Л. Е. Реут ; Белорусский национальный технический университет, Кафедра «Теоретическая механика и механика материалов». – Минск : БНТУ, 2021. Режим доступа: <https://rep.bntu.by/handle/data/104396>.

**Исследование движения машины**

Студент гр.10301321 Осипова Л.А.

Научный руководитель – ст. пр. Кавальчук О.Н.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

**Постановка задачи.** Автомобиль массой  $m$  трогается с места и движется в гору, уклон которой равен  $\alpha$ . Сила тяги автомобиля изменяется по закону  $F(t) = \frac{F_0}{2} (1 + \cos 0,25t)$ , коэффициентом трения равен  $\mu$ .

Исследовать движение машины на интервале времени от  $t_{нач}$  до  $t_{кон}$  для различных углов наклона  $\alpha = 0,02; 0,0233; 0,0266; 0,03$  рад. Построить графики зависимостей  $F(t)$ ,  $x(t)$  и  $v(t)$ .

Исходными данными являются  $m = 2000$  кг,  $F_0 = 2181,8$  Н,  $g = 9,8 \frac{M}{c^2}$ ,  $v_{нач} = 0 \frac{M}{c}$ ,  $\mu = 0,05$ ,  $t_{нач} = 0$  с,  $t_{кон} = 8$  с, количество участков разбиения интервала  $n = 21$ .

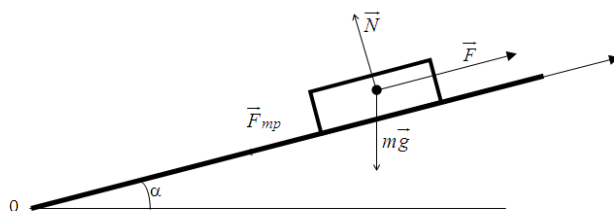


Рисунок 1. Расчетная схема движения машины

**Математическая модель задачи.** В соответствии со вторым законом Ньютона дифференциальное уравнение движения в проекции на ось  $Ox$  запишется в виде:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = F(t) - mg \sin \alpha - \mu mg \cos \alpha .$$

С учетом начальных условий движения получаем задачу Коши:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{F(t)}{m} - g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha \\ \frac{dx}{dt}(0) = v_{нач} \\ x(0) = 0 \end{array} \right. .$$

Для решения системы используем метод Эйлера. Интервал изменения времени  $[t_{нач}; t_{кон}]$  разобьем на  $n$  равных интервалов величиной  $\Delta t = \frac{t_{кон} - t_{нач}}{n}$ . Используем переменную  $i$  для обозначения номера положения машины. В первом положении:

$$t_1 = t_{нач}, x_1 = 0, F_1 = F(t_1), v_1 = v_{нач}.$$

В остальных положениях ( $i = 2, 3, \dots, n + 1$ ):

$$t_i = t_{i-1} + \Delta t, F_i = F(t_i), v_i = v_{i-1} + \Delta t \cdot \left( \frac{F_i}{m} - g \sin \alpha - \mu g \cos \alpha \right), x_i = x_{i-1} + \Delta t \cdot v_{i-1}.$$

В результате получим табличные зависимости  $F(t)$ ,  $v(t)$ ,  $x(t)$  для различных углов наклона  $\alpha = 0,02; 0,0233; 0,0266; 0,03$  рад.

**Расчеты в Excel.** В табличном процессоре Excel на одном листе выполняем расчеты для  $\alpha = 0,02$  рад (рисунок 2). Затем, скопировав необходимое количество раз исходный лист и изменив в исходных данных значение  $\alpha$ , получаем зависимости  $F(t)$ ,  $v(t)$ ,  $x(t)$  при других значениях  $\alpha$ .

Научно-исследовательская работа							
ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ МАШИНЫ							
Осипова Л.А. гр.10301321							
Исходные данные							
Угол $\alpha = 0,02$	рад					Начальное время $t_{нач} = 0$	с
Начальная скорость $v_{нач} = 0$	м/с					Конечное время $t_{кон} = 8$	с
коэффициент трения $\mu = 0,05$						Ускорение $g = 9,8$	м/с <sup>2</sup>
Количество участков разбиения интервала 21						Сила тяги $F_0 = 2181,8$	Н
Масса $m = 2000$	кг						
Решение задачи							
Время, $\Delta t = (G7-G6)/C9$	м						
	$t, c$	$F, H$	$v, m/c$			$x, m$	
1	0	=G\$9	0	0			0
2	=C14+\$C\$12	=G\$9/2*(1+COS(0,25*\$C\$15))	=E14+\$C\$12*(D15/\$C\$10-G\$8*SIN(\$C\$6)-\$C\$8*\$G\$8*COS(\$C\$6))				=F14+(\$C\$12*E14)
3	=C15+\$C\$12	=G\$9/2*(1+COS(0,25*\$C\$16))	=E15+\$C\$12*(D16/\$C\$10-G\$8*SIN(\$C\$6)-\$C\$8*\$G\$8*COS(\$C\$6))				=F15+(\$C\$12*E15)
4	=C16+\$C\$12	=G\$9/2*(1+COS(0,25*\$C\$17))	=E16+\$C\$12*(D17/\$C\$10-G\$8*SIN(\$C\$6)-\$C\$8*\$G\$8*COS(\$C\$6))				=F16+(\$C\$12*E16)
5	=C17+\$C\$12	=G\$9/2*(1+COS(0,25*\$C\$18))	=E17+\$C\$12*(D18/\$C\$10-G\$8*SIN(\$C\$6)-\$C\$8*\$G\$8*COS(\$C\$6))				=F17+(\$C\$12*E17)
6	=C18+\$C\$12	=G\$9/2*(1+COS(0,25*\$C\$19))	=E18+\$C\$12*(D19/\$C\$10-G\$8*SIN(\$C\$6)-\$C\$8*\$G\$8*COS(\$C\$6))				=F18+(\$C\$12*E18)
7	=C19+\$C\$12	=G\$9/2*(1+COS(0,25*\$C\$20))	=E19+\$C\$12*(D20/\$C\$10-G\$8*SIN(\$C\$6)-\$C\$8*\$G\$8*COS(\$C\$6))				=F19+(\$C\$12*E19)
8	=C20+\$C\$12	=G\$9/2*(1+COS(0,25*\$C\$21))	=E20+\$C\$12*(D21/\$C\$10-G\$8*SIN(\$C\$6)-\$C\$8*\$G\$8*COS(\$C\$6))				=F20+(\$C\$12*E20)

Рисунок 2. Фрагмент Excel-документа с расчетными формулами для  $\alpha = 0,02$  рад

По полученным результатам строим графики  $F(t)$  (рисунок 3),  $v(t)$  (рисунок 4) и  $x(t)$  (рисунок 5), из которых наглядно видно, что:

- 1) сила тяги не зависит от угла наклона горы;
- 2) скорость движения машины нелинейно возрастает до определенного момента времени, а затем начинает снижаться и при  $\alpha = 0,03$  рад к моменту времени  $t_{кон} = 8$  с достигает отрицательного значения, что свидетельствует об остановке автомобиля;
- 3) пройденный машиной путь за промежуток времени от  $t_{нач}$  до  $t_{кон}$  нелинейно возрастает, а с увеличением угла подъема горы автомобиль проходит меньшее расстояние.

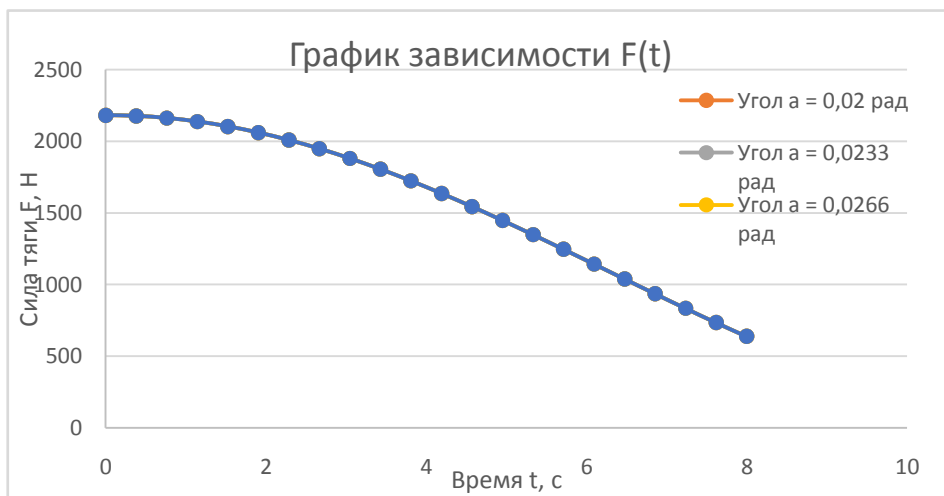
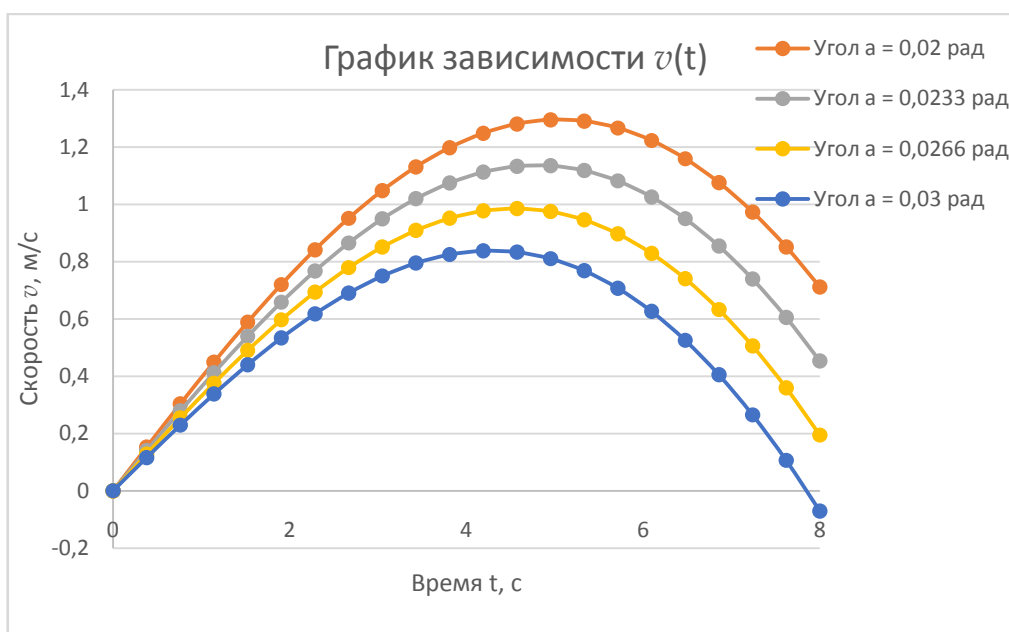
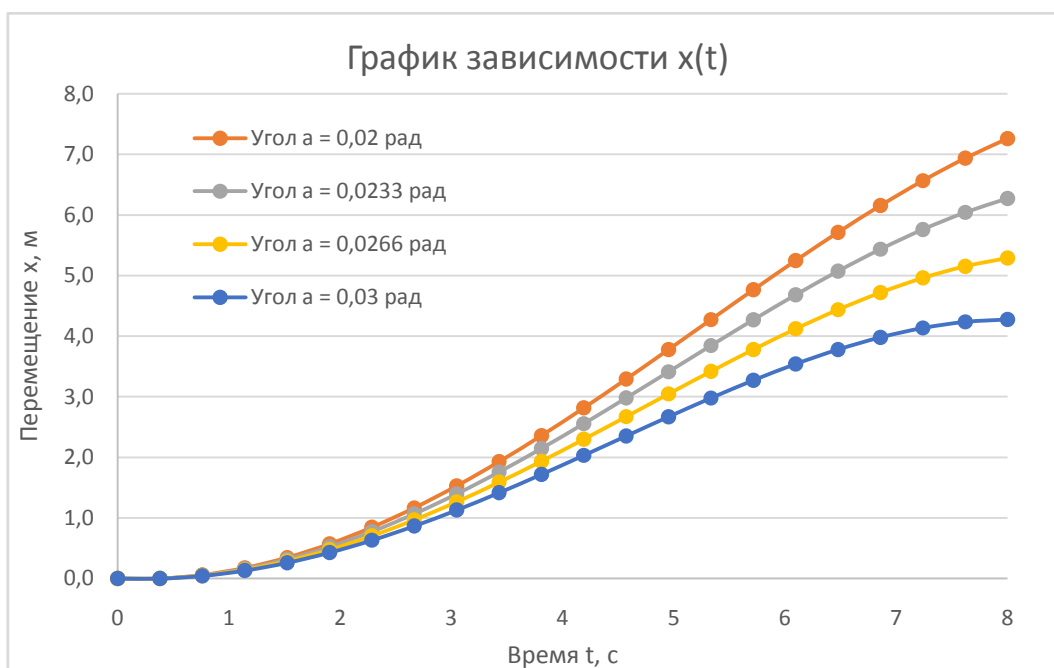


Рисунок 3. График зависимости  $F(t)$

Рисунок 4. График зависимости  $v(t)$ Рисунок 5 – График зависимости  $x(t)$ 

## Литература

1. Бояршинова, О. А. Физика : учебно-методическое пособие для студентов специальностей 1-53 01 01 «Автоматизация технологических процессов и производств», 1-53 01 02 «Автоматизированные системы обработки информации» / О. А. Бояршинова. – Минск : БНТУ, 2022. – 113 с.

2. Краков, М. С. Численные методы и обработка данных : пособие / М. С. Краков, С. Г. Погирницкая. – Минск : БНТУ, 2021. – 87 с.

3. Рудикова Л.В. Microsoft Office Excel 2016. – СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 640 с.

## **Современные методы проектирования и расчета зубчатых передач**

Студент гр. 10309120 Бобрик Д.А.

Научный руководитель – к.т.н., доцент Калина А.А.

Белорусский национальный технический университет

Минск, Республика Беларусь

### **Введение**

В связи с нарастающими оборотами технологической гонки, возрастают требования как к точности и качеству разрабатываемого продукта, так и затратам времени на проектирование. Современного специалиста в области проектирования, в частности в машиностроении, невозможно представить без знания САПР.

Под проектированием понимается процесс составления описания, необходимого для построения в заданных условиях еще не существующего объекта на основе первичного описания этого объекта. Если этот процесс осуществляется человеком при взаимодействии с компьютером, то проектирование называется автоматизированным, если нет, то, соответственно, - неавтоматизированным.

Проектирование, при котором все преобразования описания объекта и алгоритма его функционирования осуществляются компьютером без участия человека, называется автоматическим. В данной статье основное внимание уделяется автоматизированному проектированию, которое и является предметом САПР.

САПР (система автоматизированного проектирования) — это комплекс средств автоматизации проектирования, взаимосвязанных с коллективом специалистов (пользователей системы), выполняющих автоматизированное проектирование.

На современном этапе существует ряд программ, обеспечивающих полный комплекс функций CAD-CAE-CAM моделирования: DS Catia, серия программ NX, среда разработки Solidworks, продукты компании Autodesk и другие.