

На автопилоте

Условие

Задача 10.3 «На автопилоте»

В данной задаче вам предстоит проанализировать различные аспекты управления автомобилем.

В качестве типичных взяты¹ характеристики автомобиля «ВАЗ-21063» - масса снаряженного автомобиля $m = 1,1$ т;

¹ Эти данные любезно предоставлены Л.Г. Марковичем, за чт



- максимальная мощность двигателя $P_{\max} = 65$ л.с.; - максимальная скорость по горизонтальной асфальтированной дороге $v_{\max} = 100 \frac{\text{км}}{\text{час}}$. Для справки: 1 л.с $\approx 0,74$ кВт; 1 час = 3600 с; 1 км = 1000 м; 1 т = 1000 кг. Будем считать, что во время движения на автомобиль действуют

- сила сопротивления воздуха, которая пропорциональна квадрату скорости автомобиля

$$F_{\text{сопр.}} = \beta v^2; \quad (1)$$

- постоянная сила трения (которая включает в себя не только силу трения качения об асфальт, но силы трения внутренних деталей автомобиля) - F_0 . Водитель по своему усмотрению может регулировать мощность двигателя P в пределах от нуля до максимального значения («полный газ»).

$$F_{\text{сопр.}} = \rho v^2, \quad (1)$$

- постоянная сила трения (которая включает в себя не только силу трения качения об асфальт, но силы трения внутренних деталей автомобиля) - F_0 .

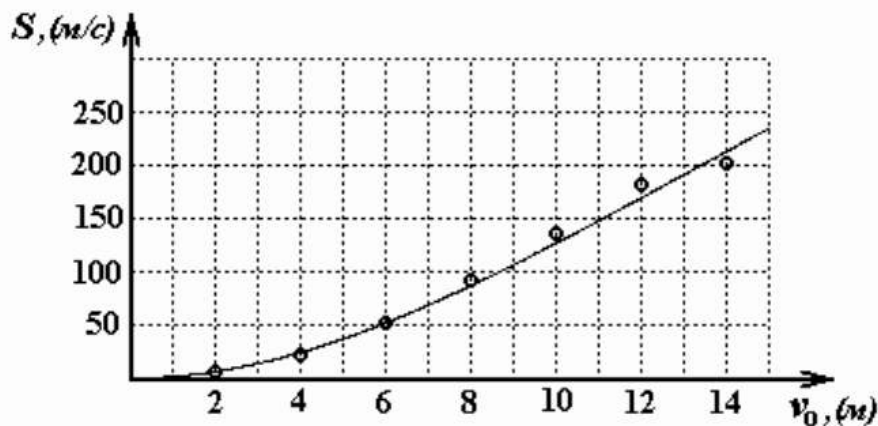
Водитель по своему усмотрению может регулировать мощность двигателя P в пределах от нуля до максимального значения («полный газ»).

Часть I. «Ручное управление»

3.1. Запишите уравнения, описывающие ускорение автомобиля $a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$ и скорость изменения его кинетической энергии $\frac{\Delta E}{\Delta t}$.

3.2. Для изучения характеристик автомобиля был поставлен следующий эксперимент: автомобиль разогнался до скорости v_0 , после чего отключался двигатель и измерялся путь S автомобиля до полной остановки (без включения тормоза за отсутствием такового). Результаты эксперимента представлены в таблице и на графике, где нанесены как экспериментальные точки, так и аппроксимирующая кривая.

$v_0, \frac{\text{м}}{\text{с}}$	$S, \text{м}$
2,0	6,3
4,0	21,8
6,0	52,8
8,0	92,0
10,0	136,7
12,0	182,8
14,0	202,9



Используя приведенные данные, определите характеристики сил сопротивления: постоянную силу F_0 и коэффициент сопротивления β . Рассчитайте отношение силы сопротивления воздуха при максимальной скорости автомобиля к силе постоянного трения $\gamma = \frac{\beta v_{\max}^2}{F_0}$.

Независимо от полученного вами значения в дальнейших расчетах считайте, что $\gamma = 3,5$

3.3. Если двигатель работает с постоянной скоростью, то по прошествии некоторого времени автомобиль движется с постоянной скоростью, которую далее мы будем называть *установившейся* скоростью.

Постройте график зависимости установившейся скорости автомобиля при движении по горизонтальной дороге от мощности двигателя. По осям координат отложите относительные величины: отношение скорости автомобиля к его максимальной скорости $\eta = \frac{v}{v_{\max}}$ и отношение мощности двигателя к его максимальной мощности $\kappa = \frac{P}{P_{\max}}$.

3.4. Используя полученный график, найдите скорость установившегося движения при постоянной мощности $P = 0,75P_{\max}$, когда автомобиль поднимается по склону, образующему угол $\alpha = 5,0^\circ$ с горизонтом.

Определите также скорость установившегося движения автомобиля по горизонтальной дороге, если на его крыше помещен багажник, который увеличивает силу сопротивления воздуха на 20%.

3.5. Рассмотрим старт автомобиля. Пусть водитель, нажимая на педаль газа, равномерно увеличивает мощность автомобиля от нуля до максимального значения за время τ .

С каким ускорением начинает двигаться автомобиль?

****Рассчитайте численные значения этого ускорения для $\tau = 10$ с и $\tau = 1,0$ с.****

3.6. Пусть автомобиль движется по горизонтальной дороге с постоянной скоростью $v = \eta v_{\max}$, затем водитель «дает полный газ».

Оцените характерное время разгона автомобиля до максимальной скорости.

****Рассчитайте численное значение этого времени для $\eta = 0,75$.****

Часть II. «Автоматическое управление»

Для поддержания постоянной скорости автомобиля u (конечно, меньшей максимальной) в автомобиле установлен «автопилот», регулирующий скорость изменения мощности двигателя в зависимости от требуемой скорости u и текущей скорости v . «Закон управления» мощностью предельно прост:

$$\frac{\Delta P}{\Delta t} = C(u - v). \quad (2)$$

3.7. Покажите, что при таком управлении скорость автомобиля будет стремиться к требуемой

скорости u , как при случайном изменении скорости автомобиля, так и при изменении его характеристик – силы постоянного трения, коэффициента сопротивления воздуха, движении по наклонной дороге и т.д. **При каких значениях постоянного параметра управления C такое управление возможно? По каким критериям следует выбирать оптимальное значение этого параметра?*

3.8. Пусть автомобиль движется с постоянной скоростью u , а затем его скорость резко уменьшилась (мощность двигателя за время изменения скорости измениться не успела). **Постройте схематические графики изменения мощности двигателя и скорости автомобиля от времени после скачкообразного изменения скорости.** Рассмотрите несколько различных случаев, отличающихся значением параметра управления C .



***Республиканская физическая олимпиада
2005 год.***

***г. Гродно
Теоретический тур***

11 класс.

¹ Эти данные любезно предоставлены Л.Г. Марковичем, за что выражаем ему искреннюю признательность.