

Всероссийский конкурс учебно-исследовательских работ старшеклассников
по политехническим, естественным, математическим дисциплинам для учащихся
9-11 классов

Математическое моделирование

Математическая модель адаптивной подвески автомобиля

Федорочев Андрей Алексеевич,

МБОУ "Лицей №1", г. Перми,

Грибов Дмитрий Сергеевич,

Аспирант каф. ММСП ПНИПУ.

Пермь. 2017.

Оглавление

Введение	3
Содержательная постановка задачи	6
Сравнение упругого и вязкого элементов.	9
Концептуальная постановка задачи.	10
Математическая постановка задачи	11
§1. Профиль дороги.	11
§2. Пружинная подвеска при последовательном соединении элементов.	12
§3. Пружинная подвеска при параллельном соединении элементов.	15
1. Статичная жесткость.	15
1.1. Статичный профиль	15
1.2. Изменяющийся профиль дороги.	17
2. Адаптивный вариант подвески.	19
2.1. Статичный профиль	19
2.2. Изменяющийся профиль.	21
Вывод.	23
Список литературы.	24

Введение

На сегодняшний день автомобильная промышленность развивается исключительно быстро. Инновации в этой сфере необходимы из-за высоких требований к безопасности, а конкуренция на рынке потребления заставляет производителей учитывать комфорт потребителя при проектировании автомобиля. Комфортной поездку на автомобиле делает удобное положение элементов управления, удобство кресел, а также многое другое. Настоящий комфорт и безопасность обеспечивает качественная подвеска.

Подвеска автомобиля — это совокупность деталей, узлов и механизмов, играющих роль соединительного звена между кузовом автомобиля и дорогой[1]

В настоящее время разрабатывается подвеска, способная уменьшать амплитуду колебаний корпуса автомобиля, возникающую при движении автомобиля из-за неровностей рельефа дорожного полотна, в соответствии с его характеристиками. Подвеску, способную «подстраиваться» под рельеф дорожного полотна называю *адаптивной*.

По типу упругого элемента подвески делят на 3 типа:

1. Пневматическая подвеска (рис 1), в которой упругим элементом являются пневмобаллоны, в которых упругим телом является сжатый воздух, нагнетаемый пневмосистемой



Рис. 1. Внешний вид пневматической подвески.

2. Пружинная подвеска (рис 2), упругий элемент – винтовые пружины

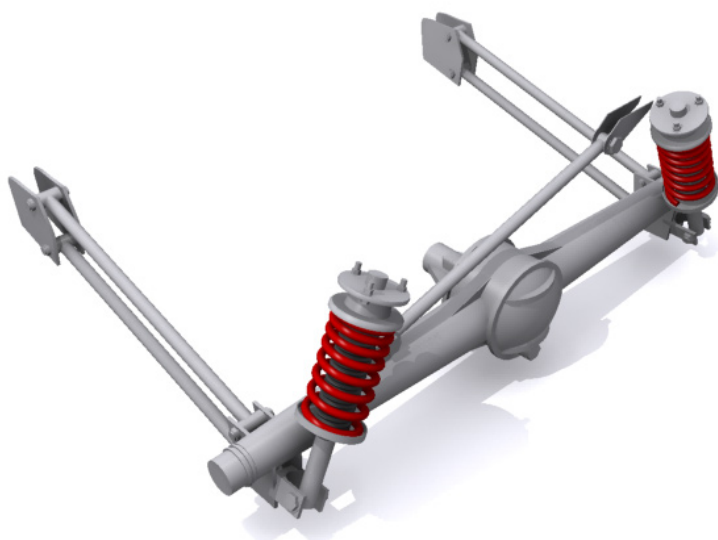


Рис.2. Внешний вид пружинной подвески.

3. Рессорная подвеска (рис. 3). Упругий элемент – один или несколько листов рессор.

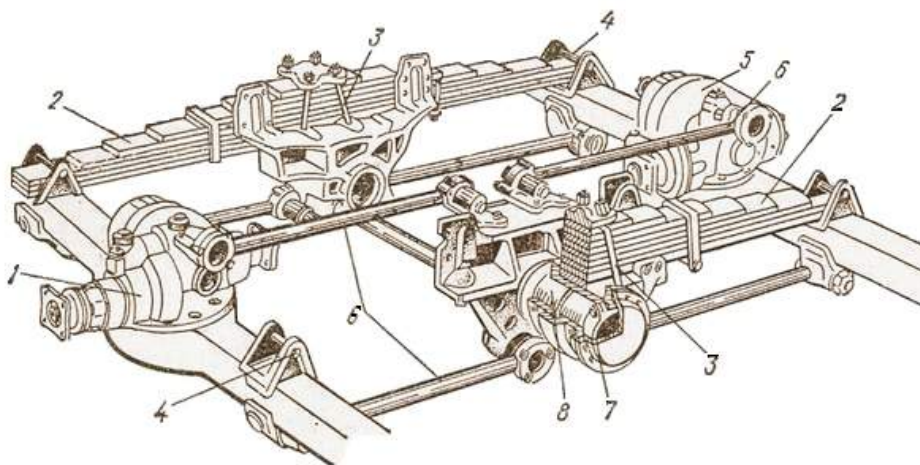


Рис.3. Внешний вид рессорной подвески.

Пневмоподвеска имеет следующие достоинства:

- Возможность регулирования клиренса (дорожного просвета).
- Высокая плавность хода.
- Хорошая управляемость.

Однако также она имеет недостатки:

- Дороговизна обслуживания.
- Частый выход из строя.
- На полотне плохого качества не обеспечивает необходимый уровень комфорта.

Рессорная подвеска имеет следующие достоинства:

- Простота.
- Возможность использования без амортизатора.
- Низкая потребность в ремонте.

К недостаткам относится её громоздкость и невозможность сделать такую подвеску независимой

Достоинствами пружинной подвески являются

- Простота
- Дешевизна
- Низкая потребность в ремонте

Её Недостатками являются невысокий клиренс и более сложна управляемость по сравнению с подвесками других типов.

Также известно, что чем проще конструкция, тем реже она будет ломаться, это же относится и подвескам. Ведь при их эксплуатации они испытывают большие динамические нагрузки. Поэтому необходимы максимально простые подвески с низкой потребностью в ремонте.

Содержательная постановка задачи

На сегодняшний день самой популярной подвеской является пружинная, из-за её компактности и дешевизны.

Исходя из вышеописанных причин, в работе будем рассматривать подвеску, в которой упругим элементом является пружина. Её конфигурация приведена на рис.5.



Рис.5. Обобщенная схема пружинной подвески

Цель работы:

Разработать и исследовать математическую модель подвески автомобиля, позволяющую в зависимости от различных конфигураций различных элементов:

- Получать закон движения точки крепления амортизатора к кузову.
- Определить параметры системы, обеспечивающие наиболее безопасное движение автомобиля.
- Графически показать зависимость движения точки крепления амортизатора к кузову от времени.

Задачи:

1. Определить, как будет вести себя подвеска при параллельном размещении упругого и вязкого элементов, то есть для *тела Кельвина – Фойгта* при статичном дорожном профиле (рис.6).

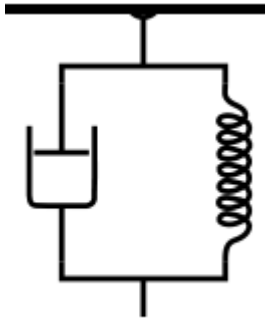


Рис. 6. Параллельное соединение структурных элементов.

2. Определить, как будет вести себя подвеска при параллельном размещении упругого и вязкого элементов при изменяющемся профиле дороги.

3. Определить, как будет вести себя подвеска при последовательном размещении упругого и вязкого элементов, то есть для *тела Максвелла* при статичном дорожном профиле (рис.7).

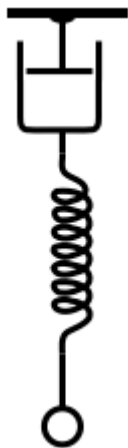


Рис. 7. Последовательное соединение структурных элементов.

4. Определить, как будет вести себя адаптивная подвеска при параллельном размещении упругого и вязкого элементов при статичном профиле дороги

5. Определить, как будет вести себя адаптивная подвеска при параллельном размещении упругого и вязкого элементов при изменяющемся профиле дороги.

Сравнение упругого и вязкого элементов.

Стоит сказать, что работа пружины без амортизатора невозможна, равно как и работа амортизатора без пружины. Эти два элемента, совокупно выполняющие задачу обеспечения плавного движения и сохранения должного уровня управляемости.

Пружина (рис.8) – это деталь, работа которой – смягчать любые толчки кузова автомобиля при движении. Во время проезда по ямам или возвышенностям (относительно профиля дороги) колесо краткосрочно теряет контакт с дорогой, а пружина, сжимаясь, возвращает его в работу. Во время соударения колеса и поверхности проезжей части вся масса кузова идет вниз, и именно пружина должна смягчить последствия этого контакта.

А задача амортизатора (рис.9) состоит в том, чтобы максимально быстро погасить колебания пружин при амплитудном раскачивании кузова. Описывая его простым языком, это цилиндр, заполненный маслом, внутри которого ходит поршень. Погашение кинетической энергии машины при её движении происходит за счет преобразования его в тепло и нагрева жидкости внутри амортизатора. Качественный амортизатор способен поглотить до 80% ударной энергии.



Рис.8. Пружина.

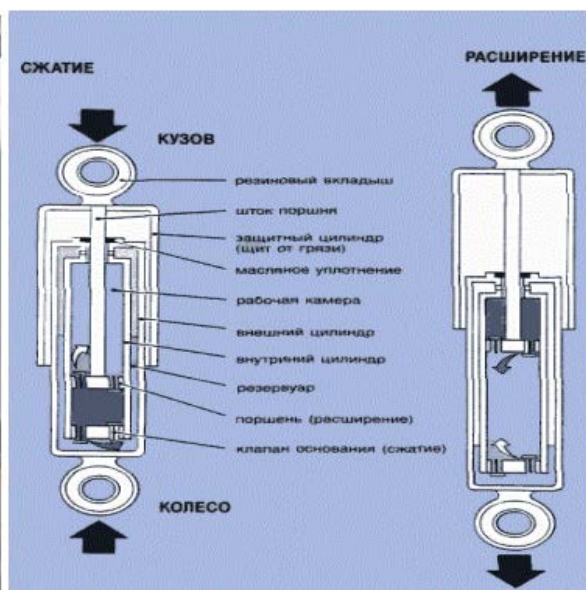


Рис.9. Амортизатор

Концептуальная постановка задачи.

Исследование модели подвески при следующих условиях:

- Упругим элементом является пружина;
- Подвеска независима
- Справедлив второй закон Ньютона т.к. $v_{\text{деформации}} \ll c$;
- При небольших деформациях пружины $\Delta x \ll l$ для пружины справедлив закон Гука $F_{\text{упр}} = k\Delta x$. При больших справедлива модификация закона Гука $F_{\text{упр}} = k\Delta x + \frac{k'\Delta x^2}{2}$
- Для силы вязкого трения, возникающей внутри вязкого элемента, справедлив закон: $F_{\text{в.т.}} = \eta v'$, где η - коэффициент вязкости, v' - относительная скорость движения верхнего и нижнего концов вязкого элемента
- Вязкий, упругий и сухой элементы невесомы.
- Система одномерна
- Центр колеса повторяет профиль дороги
- Для адаптивной подвески справедлива формула $k(t) = k_{\text{пруж.}}(1 - \Delta x)$

Математическая постановка задачи

§1. Профиль дороги.

Необходимо исследовать поведение подвески, состоящей только из упругих элементов. Известно, что наибольший разрушающий эффект на подвеску оказывает дорожное полотно, имеющее периодический (в частных случаях гармонический) профиль. Для исследования выберем такой профиль, что движение нижней точки пружины будет изменяться по гармоническому закону вида (1.1):

$$y(t) = A \cos \omega t \quad (1.1)$$

Уравнение (1.2) связывает частоту вынужденных колебаний центра колеса ω , скорость автомобиля v , и длину волны профиля дороги (рис.10).

$$\frac{2\pi}{\lambda} = \frac{\omega}{v} \quad (1.2)$$

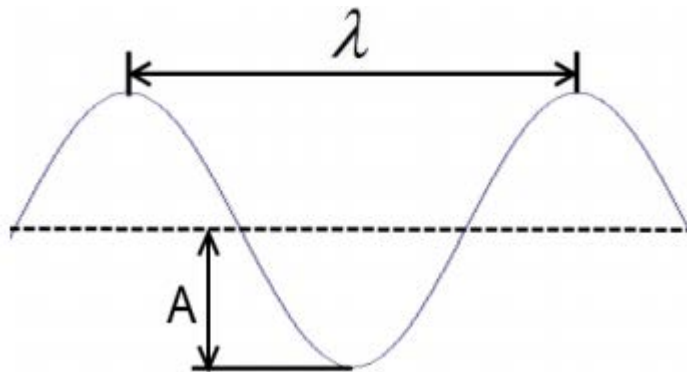


Рис.10. Схема для соотношения 1.2.

§2. Пружинная подвеска при последовательном соединении элементов.

Необходимо исследовать поведение подвески, состоящей из упругого и вязкого элементов, соединенных последовательно. Движение нижней точки (рис.11) будет описываться по закону вида (1.1).

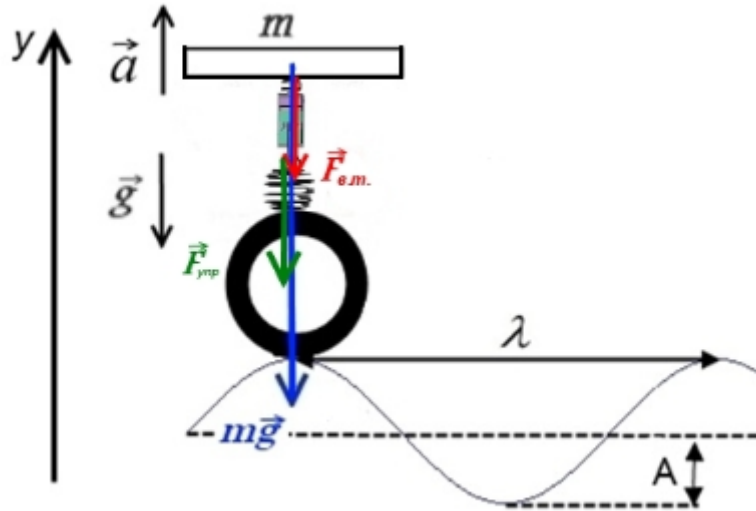


Рис. 11. Схема к задаче.

Второй закон Ньютона для точки крепления конструкции к кузову имеет вид (1.8)

$$m\vec{a} = \vec{F}_{\text{в.т.}} + m\vec{g} \quad (1.8)$$

Также известно, что при таком расположении элементов выполняется равенство (1.9)

$$\vec{F}_{\text{упр}} = \vec{F}_{\text{в.т.}} \quad (1.9)$$

Требуется решить систему (2.0), состоящую из уравнений (1.8) и (1.9)

$$\begin{cases} \vec{F}_{\text{упр}} = \vec{F}_{\text{в.т.}} \\ m\vec{a} = \vec{F}_{\text{в.т.}} + m\vec{g} \end{cases} \quad (2.0)$$

В проекции на вертикальную ось система (2.0) примет вид (2.1).

$$\begin{cases} F_{\text{упр}} = F_{\text{в.т.}} \\ ma = -F_{\text{в.т.}} - mg \end{cases} \quad (2.1)$$

Применяя закон, для силы вязкого трения $F_{\text{в.т.}} = -\eta v'$ и закон Гука $F_{\text{упр.}} = k\Delta y$ в системе (2.5), получим систему уравнений вида (2.2), где $Y(t)$ – вертикальная координата точки крепления вязкого элемента к кузову, $y(t)$ – координата по вертикали центра колеса, $Y_c(t)$ – координата точки соединения элементов.

$$\begin{cases} k[Y(t) - Y_c(t)] = \eta[y'(t) + Y_c'(t)] \\ mY'' = -\eta[y'(t) + Y_c'(t)] - mg \end{cases} \quad (2.2)$$

Используя закон (1.1) и соотношение (1.2) в системе (2.2) получим систему (2.3)

$$\begin{cases} k[Y(t) - Y_c(t)] = \eta[A \frac{2\pi v}{\lambda} \sin \frac{2\pi vt}{\lambda} + Y_c'(t)] \\ mY'' = -\eta[\frac{2\pi v}{\lambda} \sin \frac{2\pi vt}{\lambda} + Y_c'(t)] - mg \end{cases} \quad (2.3)$$

Решая систему (2.3) относительно $Y(t)$ и $Y_c(t)$ при следующих начальных условиях и численных значениях:

$A = 0.15\text{м}, \eta = 0 \frac{\text{кг}}{\text{с}}, k = 25000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}, m = 400 \text{ кг}, \lambda = 1\text{м}, v = 1,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}, U_0 = 0 \frac{\text{м}}{\text{с}}, Y_0 = 0\text{м}, Y_c = 0\text{м}$, получим следующие результаты, представленные на рис. 12,13,14.

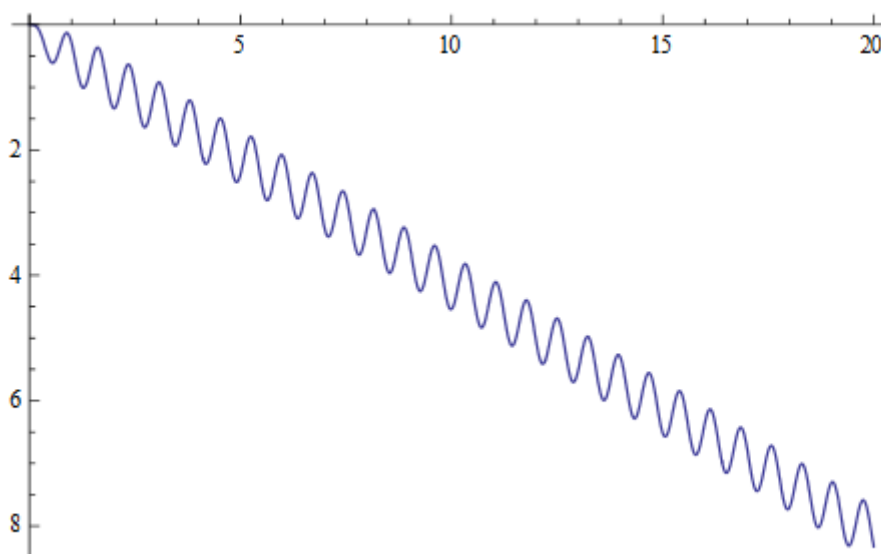


Рис.12. Зависимость координаты точки крепления конструкции к кузову от времени.

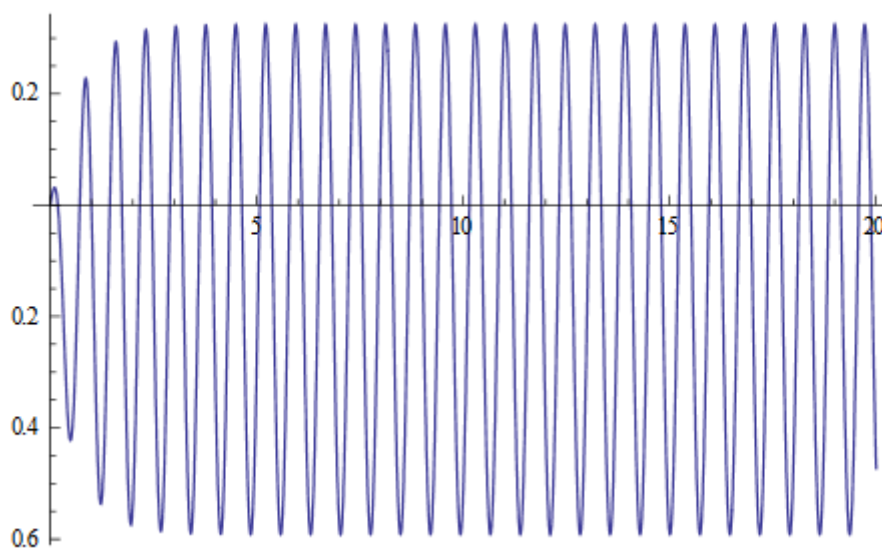


Рис.13. Зависимость координаты точки соединения элементов от времени.

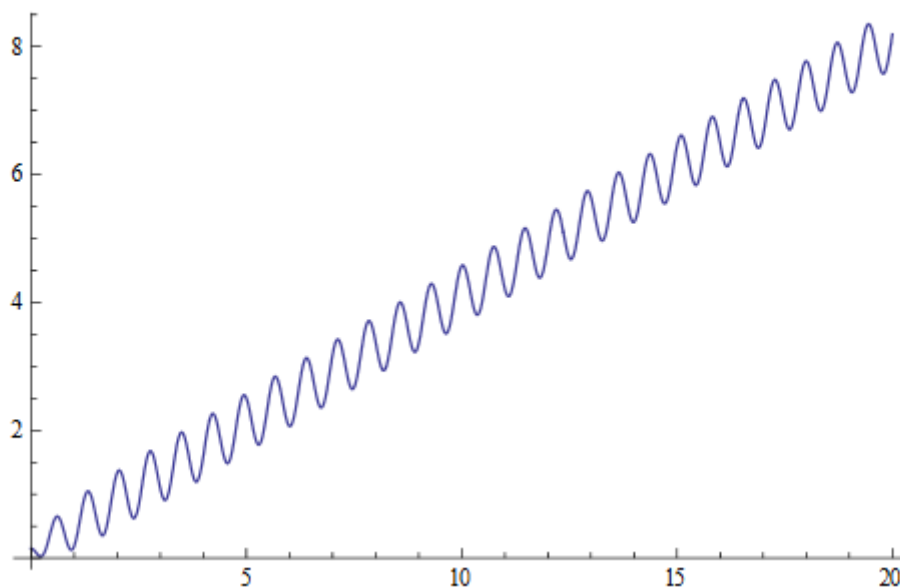


Рис.14. Зависимость расстояния между центром колеса и точкой крепления конструкции к кузову от времени.

Судя по представленным данным, система ведет себя неестественно – колебательное движение с уменьшением среднего значения координаты. Это происходит из-за того, что в работе не учли ограниченность хода пружины и поршня, при которых теряется линейность законов Гука и силы вязкого трения.

§3. Пружинная подвеска при параллельном соединении элементов.

1. Статическая жесткость.

1.1. Статический профиль

Необходимо исследовать поведение подвески, состоящей из упругого и вязкого элементов, соединенных параллельно. Движение нижней точки будет описываться по закону вида (1.1)

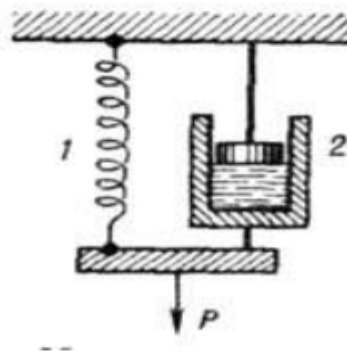


Рис.15. Схема тела Фойгта.

Второй закон Ньютона для точки крепления конструкции к кузову имеет вид (2.4)

$$m\vec{a} = \vec{F}_{\text{упр}} + \vec{F}_{\text{в.т.}} + m\vec{g} \quad (2.4)$$

Используя закон, для силы вязкого трения $F_{\text{в.т.}} = -\eta v'$ и закон Гука $F_{\text{упр.}} = k\Delta y$ в уравнении (2.4), получим уравнение вида (2.5)

$$ma_y = -\eta v' - k\Delta y - mg \quad (2.5)$$

В законе для силы вязкого трения $F_{\text{в.т.}} = -\eta v'$ используется относительная скорость сближения точки крепления к кузову и центра колеса, тогда уравнение

(2.5) примет следующий вид (2.6)

$$mY''(t) = -k[Y(t) - y(t)] - \eta[Y'(t) - y'(t)] - mg \quad (2.6)$$

С использованием закона (1.1) и (1.2) получим окончательное уравнение вида (2.7)

$$mY''(t) = -k\left[Y(t) - A\cos\frac{2\pi vt}{\lambda}\right] - \eta\left[Y'(t) + A\frac{2\pi v}{\lambda}\sin\frac{2\pi vt}{\lambda}\right] - mg \quad (2.7)$$

Решая дифференциальное уравнение (2.7) относительно $Y(t)$ при следующих начальных условиях: $Y(0) = Y_0$, $Y'(0) = U_0$ получим результаты, изображенные на рисунке 16.

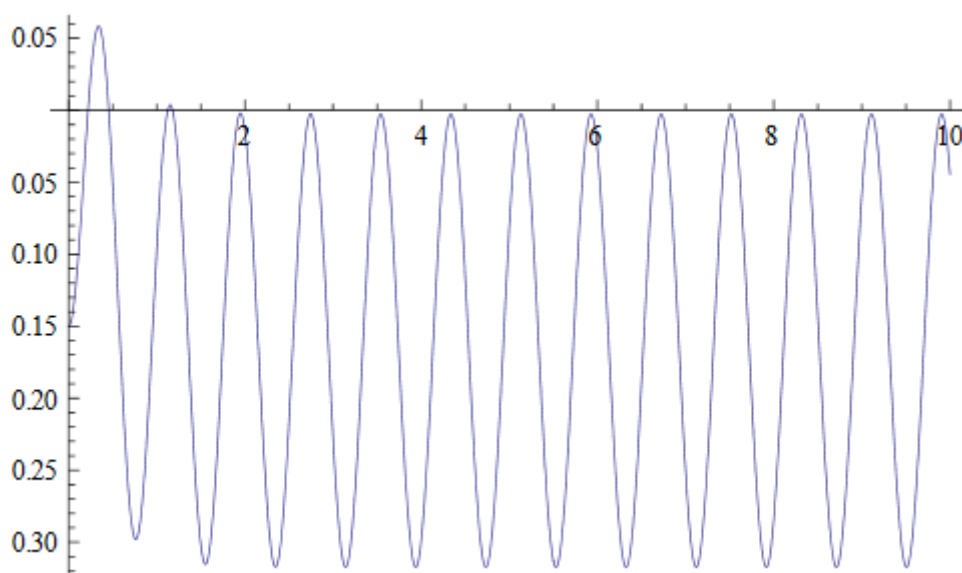


Рис.16.

$$A = 0.15\text{м}, \eta = 10000 \frac{\text{кг}}{\text{с}}, k = 25000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}, m = 400 \text{ кг}, \lambda = 1\text{м}, v = 1,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}, U_0 = 0 \frac{\text{м}}{\text{с}}, Y_0 = 0\text{м}.$$

На графике (рис 18) первые 2 секунды можно наблюдать затухание колебаний. Если ход штока амортизатора ограничен, то в первые две секунды будут происходить удары о кузов, так как значения амплитуды выходят за границы допустимых значений. Далее амплитуда колебаний становится постоянной.

1.2. Изменяющийся профиль дороги.

Необходимо исследовать поведение подвески, состоящей из упругого и вязкого элементов, соединенных параллельно. Движение нижней точки будет описываться по системе законов вида (3.2)

$$\begin{cases} x = A\cos\omega t \text{ при } t \in [0; 1] \\ x = A\cos 2\omega t \text{ при } t \in [1; 2] \\ x = A\cos 5\omega t \text{ при } t \in [2; 4] \\ x = Ae^{-B(t-4)}\cos\omega t \text{ при } t > 4 \end{cases} \quad (3.2)$$

Где B – коэффициент затухания

Тогда угловая скорость при данных значениях времени будет изменяться согласно следующей системе (3.3)

$$\begin{cases} \omega = 2v\pi/\lambda \text{ при } t \in [0; 1] \\ \omega = 4v\pi/\lambda \text{ при } t \in [1; 2] \\ \omega = 10v\pi/\lambda \text{ при } t \in [2; 3] \\ \omega = 2v\pi/\lambda \text{ при } t > 4 \end{cases} \quad (3.3)$$

При статичном профиле в уравнение (2.6) были подставлены уравнения (1.1) и (1.2). Подставляя в это же уравнение систему (3.2) и (3.3) получим систему уравнений вида (3.4)

$$mY''(t) = -k[Y(t) - y(t)] - \eta[Y'(t) - y'(t)] - mg \quad (2.6)$$

$$\begin{cases} mY''(t) = -k\left[Y(t) - A\cos\frac{2\pi vt}{\lambda}\right] - \eta\left[Y'(t) + A\frac{2\pi v}{\lambda}\sin\frac{2\pi vt}{\lambda}\right] - mg; \\ mY''(t) = -k\left[Y(t) - A\cos\frac{4\pi vt}{\lambda}\right] - \eta\left[Y'(t) + A\frac{4\pi v}{\lambda}\sin\frac{4\pi vt}{\lambda}\right] - mg; \\ mY''(t) = -k\left[Y(t) - A\cos\frac{10\pi vt}{\lambda}\right] - \eta\left[Y'(t) + A\frac{10\pi v}{\lambda}\sin\frac{10\pi vt}{\lambda}\right] - mg; \\ mY''(t) = -k\left[Y(t) - Ae^{-Bt}\cos\frac{2\pi v(t-4)}{\lambda}\right] - \eta\left[Y'(t) + Ae^{-Bt}\sin\frac{2\pi v(t-4)}{\lambda}\right] \end{cases}$$

$$(3.4)$$

Первые три уравнения в системе представляют собой уравнения гармонических колебаний с постоянной амплитудой, но разной частотой внешней периодической силы. Последнее же уравнение является уравнением затухающих колебаний.

Решая систему дифференциальных уравнений (3.4) относительно $Y(t)$ при начальных условиях из предыдущего пункта получим результаты, изображенные на рис.20.

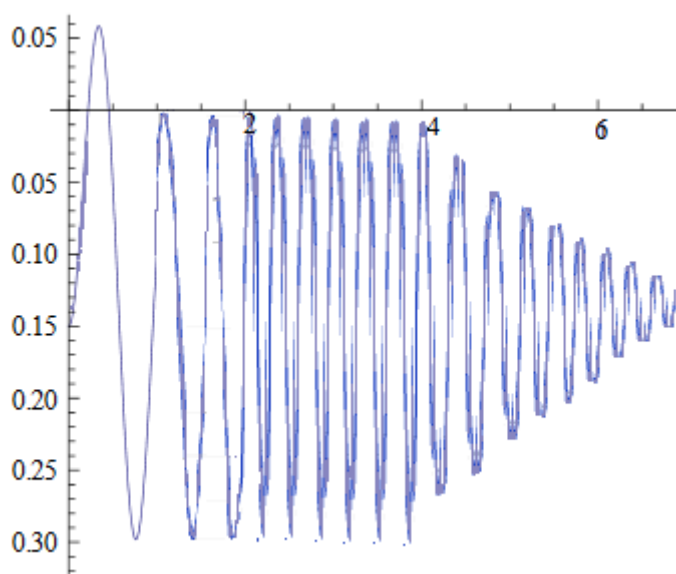


Рис.17. $B = 2$

На рисунке 20 результаты при $t \in [0; 1]$ идентичны результатам, полученным в первом пункте, при $t \in [1; 2]$ наблюдается уменьшение длины волны, что соответствует изменению гладкости дорожного полотна в худшую сторону, соответственно, при $t \in [2; 4]$ гладкость уменьшается ещё сильнее, после чего следует переход на абсолютно ровную поверхность. При $t \in [2; 4]$ наблюдается затухание колебаний.

При увеличении B скорость изменения амплитуды будет выше.

2. Адаптивный вариант подвески.

2.1. Статичный профиль

Необходимо исследовать поведение подвески, состоящей из упругого и вязкого элементов, соединенных параллельно. Движение нижней точки будет описываться по закону вида (1.1).

Жесткость упругого элемента будет изменяться по закону вида (2.8)

$$k(t) = k_{\text{пруж.}}(1 - \Delta y) \quad (2.8)$$

Пользуясь уже полученным вторым законом Ньютона в проекции на вертикальную ось (2.5) и, пользуясь законом изменения жесткости пружины, получим уравнение вида (2.9)

$$ma_y = -\eta v' - k\Delta y - mg \quad (2.5)$$

$$ma_y = -\eta v' - k(t)\Delta y - mg \quad (2.9)$$

В законе для силы вязкого трения $F_{\text{в.т.}} = -\eta v'$ используется относительная скорость сближения точки крепления к кузову и центра колеса, тогда уравнение (2.9) примет следующий вид (3.0)

$$mY''(t) = -k(t)[Y(t) - y(t)] - \eta[Y'(t) - y'(t)] - mg \quad (3.0)$$

С использованием законов (1.1), (1.2) и (2.8) получим окончательное уравнение вида (3.1)

$$mY''(t) = k(1 - (Y(t) - A\cos\frac{2\pi vt}{\lambda})) \left[Y(t) - A\cos\frac{2\pi vt}{\lambda} \right] - \eta \left[Y'(t) + A\frac{2\pi v}{\lambda} \sin\frac{2\pi vt}{\lambda} \right] - mg \quad (3.1)$$

Решая дифференциальное уравнение (3.1) относительно $Y(t)$ при следующих начальных условиях: $Y(0) = Y_0$, $Y'(0) = U_0$ получим результаты, изображенные на рисунке 18.

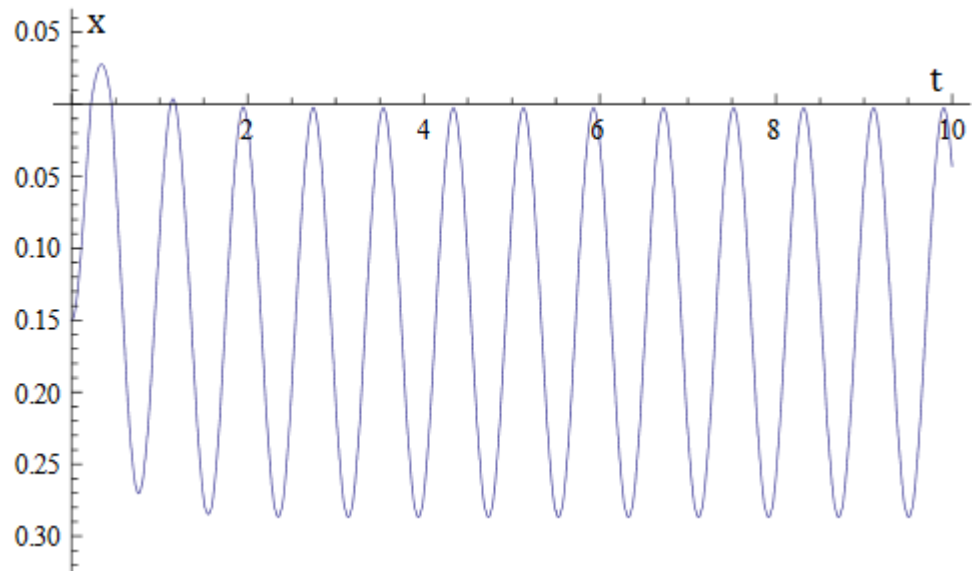


Рис.18

$$A = 0.15\text{м}, \eta = 10000 \frac{\text{кг}}{\text{с}}, k = 25000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}, m = 400 \text{ кг}, \lambda = 1\text{м}, v = 1,3 \frac{\text{м}}{\text{с}},$$

$$U_0 = 0 \frac{\text{м}}{\text{с}}, Y_0 = 0\text{м}.$$

В первые 2 секунды можно наблюдать затухание колебаний. Если ход штока амортизатора ограничен, то в первые две секунды будут происходить удары о кузов, так как значения амплитуды выходят за границы допустимых значений. Далее амплитуда колебаний становится постоянной. Уменьшенная амплитуда колебаний как при затухании ($t < 2$), так и при остальной работе, по сравнению с результатами из предыдущего пункта, соответствует более плавной работе подвески.

2.2. Изменяющийся профиль.

Необходимо исследовать поведение подвески, состоящей из упругого и вязкого элементов, соединенных параллельно. Жесткость упругого элемента будет изменяться по закону вида (2.8). Движение нижней точки будет описываться по системе законов вида (3.5).

$$\begin{cases} x = A\cos\omega t \text{ при } t \in [0; 1] \\ x = A\cos 2\omega t \text{ при } t \in [1; 2] \\ x = A\cos 5\omega t \text{ при } t \in [2; 4] \\ x = Ae^{-B(t-4)}\cos\omega t \text{ при } t > 4 \end{cases} \quad (3.5)$$

Где B – коэффициент затухания

Тогда угловая скорость при данных значениях времени будет изменяться согласно следующей системе (3.6)

$$\begin{cases} \omega = 2v\pi/\lambda \text{ при } t \in [0; 1] \\ \omega = 4v\pi/\lambda \text{ при } t \in [1; 2] \\ \omega = 10v\pi/\lambda \text{ при } t \in [2; 3] \\ \omega = 2v\pi/\lambda \text{ при } t > 4 \end{cases} \quad (3.6)$$

При статичном профиле в уравнение (3.0) были подставлены уравнения (1.1) и (1.2). Подставляя в это же уравнение систему (3.5), (3.6), и зависимость (2.8) получим систему уравнений вида (3.7)

$$mY''(t) = -k(t)[Y(t) - y(t)] - \eta[Y'(t) - y'(t)] - mg \quad (3.0)$$

$$\begin{cases} mY''(t) = -k(1 - (Y(t) - A\cos\frac{2\pi vt}{\lambda})) \left[Y(t) - A\cos\frac{2\pi vt}{\lambda} \right] - \eta \left[Y'(t) + A\frac{2\pi v}{\lambda} \sin\frac{2\pi vt}{\lambda} \right] - mg; \\ mY''(t) = -k(1 - (Y(t) - A\cos\frac{2\pi vt}{\lambda})) \left[Y(t) - A\cos\frac{4\pi vt}{\lambda} \right] - \eta \left[Y'(t) + A\frac{4\pi v}{\lambda} \sin\frac{4\pi vt}{\lambda} \right] - mg; \\ mY''(t) = -k(1 - (Y(t) - A\cos\frac{2\pi vt}{\lambda})) \left[Y(t) - A\cos\frac{10\pi vt}{\lambda} \right] - \eta \left[Y'(t) + A\frac{10\pi v}{\lambda} \sin\frac{10\pi vt}{\lambda} \right] - mg; \\ mY''(t) = -k \left(1 - (Y(t) - Ae^{-B(t-4)}\cos\frac{2\pi vt}{\lambda}) \right) \left[Y(t) - Ae^{-B(t-4)}\cos\frac{2\pi vt}{\lambda} \right] - \\ - \eta \left[Y'(t) + A\frac{2\pi v}{\lambda} e^{-B(t-4)}\sin\frac{2\pi vt}{\lambda} \right] \end{cases} \quad (3.7)$$

Первые три уравнения в системе представляют собой уравнения гармонических колебаний с постоянной амплитудой, но разной частотой внешней периодической силы. Последнее же уравнение является уравнением затухающих колебаний.

Решая систему дифференциальных уравнений (3.7) относительно $Y(t)$ при начальных условиях из предыдущего пункта и получим результаты, изображенные на рис.22.

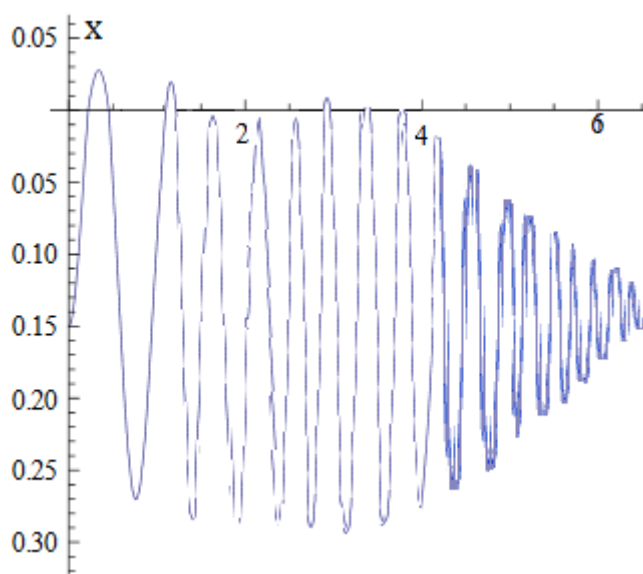


Рис.19. $B = 2$

На обоих рисунке 19. результаты при $t \in [0; 1]$ идентичны результатам, полученным в первом пункте, при $t \in [1; 2]$ наблюдается уменьшение длины волны, что соответствует изменению гладкости дорожного полотна в худшую сторону, соответственно, при $t \in [2; 4]$ гладкость уменьшается ещё сильнее, после чего следует переход на абсолютно ровную поверхность. При увеличении B скорость изменения амплитуды будет выше.

Вывод.

В ходе проведенного исследования было выявлено, что:

- Вязкий элемент, подсоединенный параллельно, блокирует возможность резонанса.
- Адаптивный вариант подвески дает более плавный переход при изменении профиля по сравнению с обычной подвеской
- Последовательным соединением элементов нельзя описывать поведение подвески

Список литературы.

1. Подвеска автомобиля URL:
https://ru.wikipedia.org/wiki/Подвеска_автомобиля (Дата обращения 26.01.2018).
2. Вязкоупругость URL:
<https://ru.wikipedia.org/wiki/Вязкоупругость> (Дата обращения 20.09.2017).
3. Модель Максвелла URL:
https://uk.wikipedia.org/wiki/Модель_Максвелла (Дата обращения 20.09.2017)
4. Пластический амортизатор URL:
<http://www.freepatent.ru/patents/2428601> (Дата обращения 26.01.2018).
5. Адаптивная Подвеска URL:
<http://www.avtomash.ru/guravto/2005/20050636.htm> (Дата обращения 30.10.2017)
6. Торсионная подвеска URL:
https://ru.wikipedia.org/wiki/Торсионная_подвеска (Дата обращения 16.01.2018).
7. Рессорное подвешивание URL:
https://ru.wikipedia.org/wiki/Рессорное_подвешивание(Дата обращения 16.01.2018).
8. Сила вязкого трения URL:
https://ru.wikipedia.org/w/index.php?title=Сила_вязкого_трения (Дата обращения 20.09.2017).
9. Пружины и амортизаторы URL:
<http://servicing-auto.ru/pruzhiny-i-amortizatory-avtomobilya/> (Дата обращения 20.09.2017)