

Краевой конкурс творческих работ учащихся
«Прикладные и фундаментальные вопросы математики»

Математическое моделирование

Математическая модель адаптивной подвески автомобиля

Высоков Максим, Мурсалимов Борис
11 кл., МБОУ «Лицей №1» г. Перми,

Волегов Павел Сергеевич,
доцент ПНИПУ, к.ф.-м. н.

Пермь. 2012.

Содержание

Введение.....	3
Глава 1. Содержательная постановка задачи.....	6
Глава 2. Концептуальная постановка задачи.....	10
Глава 3. Математическая постановка задачи.....	12
Список литературы.....	26

Введение

На сегодняшний день автомобильная промышленность развивается немыслимо быстро. Инновации необходимы из-за высоких требований к комфорту и безопасности автомобиля. Нельзя также забывать о конкуренции на рынке потребления: товар будет успешен, если он устраивает большинство потребителей по своим характеристикам. Поэтому комфорт потребителя также нужно учитывать при проектировании новых автомобилей. Комфортной делает поездку на автомобиле хорошее кресло, удобное положение элементов управления автомобилем, и еще многое другое. Настоящий комфорт и безопасность обеспечивает хорошая подвеска автомобиля.

Подвеска – это совокупность элементов, соединяющих трансмиссию и кузов/раму. Трансмиссия, в свою очередь, это совокупность сборочных единиц и механизмов, соединяющих двигатель с ведущими колёсами транспортного средства. В общем случае трансмиссия предназначена для передачи крутящего момента от двигателя к колесам, изменения тяговых усилий, скоростей и направления движения.

В настоящее время ведутся разработки подвески, которая может уменьшать амплитуду колебаний корпуса автомобиля, возникающие из-за неровного рельефа дорожного покрытия, в процессе движения в соответствии с параметрами рельефа. Подвеска, способная регулировать параметры своих составляющих, «подстраиваться» под любой рельеф дорожного покрытия, называется *адаптивной*.

По типу упругого элемента подвески делят на 4 вида:

- 1) пневматическая подвеска (рис.1). В качестве упругого элемента в пневмоподвеске выступают пневмобаллоны, в которых роль упругого тела выполняет сжатый воздух, нагнетаемый пневмосистемой.



Рис.1. Внешний вид пневматической подвески [1]

2) пружинная (рис. 2). В качестве упругого элемента используются винтовые пружины.

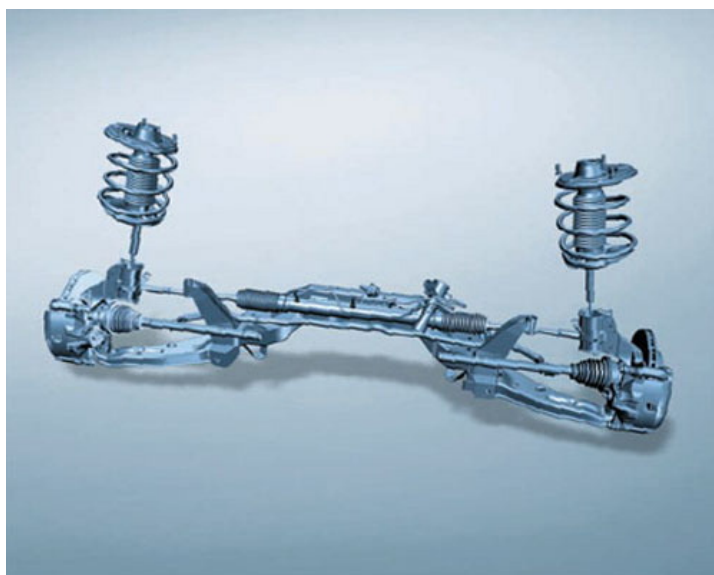


Рис. 2. Внешний вид пружинной подвески [2]

3) рессорная (рис. 3). В качестве упругого элемента используется один или несколько листов рессор.



Рис. 3. Внешний вид рессорной подвески [3]

- 4) торсионная (рис. 4). В качестве упругого элемента используются торсионы (упругие стержни, работающие на кручение).



Рис. 4. Внешний вид торсионной подвески [4]

Пневмоподвеска имеет множество достоинств:

- возможность регулировки клиренса (дорожного просвета);
- высокую плавность хода;
- хорошую управляемость.

Однако, такая подвеска имеет и недостатки: кроме того, что она дорога в обслуживании и часто выходит из строя, на дорожном полотне плохого качества такая подвеска не обеспечит достаточный уровень комфорта.

Рессорная подвеска имеет ряд достоинств. Вот некоторые из них:

- простота конструкции;
- возможно использование такой подвески без амортизатора;
- реже возникает нужда в обслуживании и ремонте.

К недостаткам можно отнести громоздкость и отсутствие возможности сделать рессорную подвеску независимой.

Главным достоинством торсионной подвески является хорошая управляемость.

Недостатки торсионной подвески заключаются в следующем:

- хрупкость;
- отсутствие прогрессивного увеличения упругости;
- применение дорогих технологий.

Известно, что чем проще конструкция какого-либо механизма, тем меньше вероятность его поломки и ниже стоимость ремонта. Подвеска автомобиля в этом случае не является исключением, ведь при активной эксплуатации автомобиля элементы подвески подвергаются большим динамическим нагрузкам.

Глава 1. Содержательная постановка задачи

Сегодня наибольшей популярностью пользуется пружинная подвеска, так как пружина – это легкий, дешевый и компактный упругий элемент.

Исходя из приведенных выше причин, далее в работе будем рассматривать подвеску, в которой упругим элементом является пружина. Конфигурация такой подвески приведена на рис. 5.

1. шаровая опора
2. ступица
3. тормозной диск
4. защитный кожух
5. поворотный рычаг
6. нижняя опорная чашка
7. пружина подвески
8. защитный чехол телескопической стойки
9. буфер сжатия
10. верхняя опорная чашка
11. подшипник верхней опоры
12. верхняя опора стойки
13. гайка штока
14. шток
15. опора буфера сжатия
16. телескопическая стойка
17. гайка
18. эксцентриковый болт
19. поворотный кулак
20. вал привода переднего колеса
21. защитный чехол шарнира
22. наружный шарнир вала
23. нижний рычаг

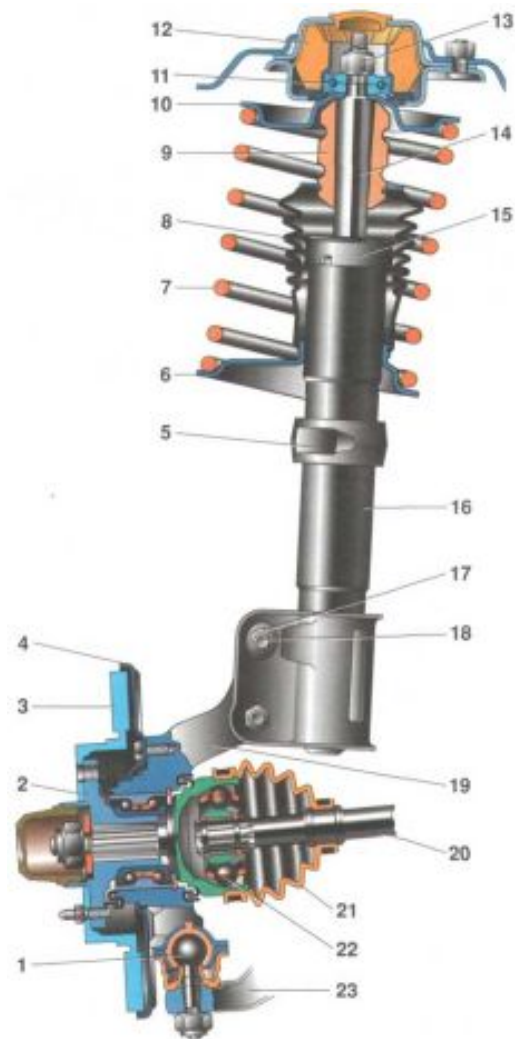


Рис.5. Обобщенная схема пружинной подвески автомобиля

Цель работы:

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

- получать закон движения точки крепления амортизатора к кузову;
- определить параметры системы, обеспечивающие наиболее безопасное движение автомобиля;
- графически показывать зависимость движения точки крепления амортизатора к опоре кузова от времени.

Задачи:

- 1) определить, как будет себя вести подвеска, состоящая из одних только упругих элементов (рис. 6);



Рис. 6. Пружина (упругий элемент)

- 2) определить, как будет себя вести подвеска, состоящая из одних только вязких элементов (рис. 7).

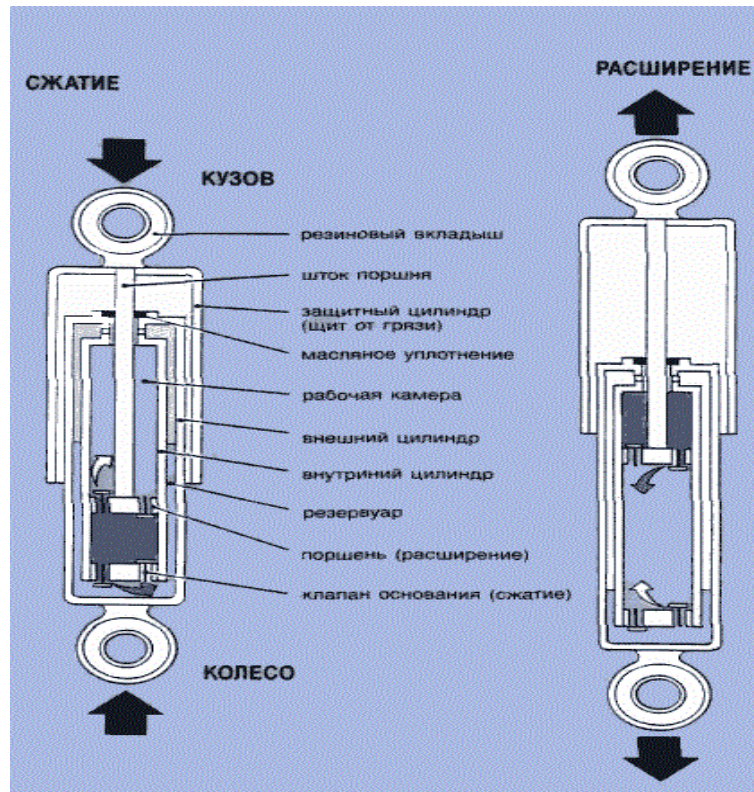


Рис. 7. Амортизатор (вязкий элемент)

- 3) определить, как будет себя вести подвеска при последовательном размещении упругого и вязкого элемента, то есть для *тела Максвелла*, в зависимости от порядка соединения структурных элементов (рис. 8). Данная модель в подвесках автомобилей не используется.

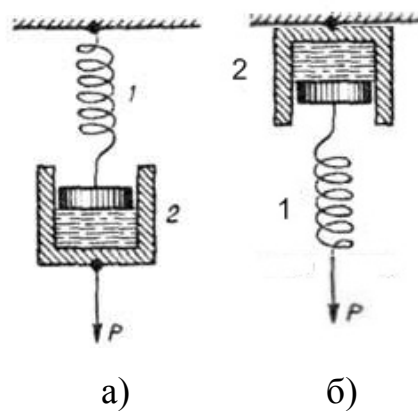


Рис. 8. Последовательное соединение структурных элементов; а) упругий – вязкий, б) вязкий – упругий

- 4) определить, как будет себя вести подвеска при параллельном размещении этих же структурных элементов, такая модель называется *телом Кельвина-Фойгта* (рис.9):

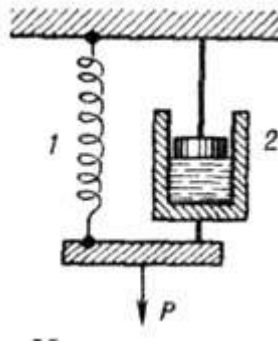


Рис. 9. Параллельное соединение структурных элементов

При построении математических моделей могут использовать различные подходы, например: прямое моделирование, при котором записываются все уравнения описывающие поведение системы; имитационное, при котором поведение системы описывается совокупностью правил; также широко используют различные структурные модели. В контексте поставленной задачи удобнее построить структурную модель деформируемого тела, использующую два типа элементов: упругий и вязкий.

Глава 2. Концептуальная постановка задачи

Объектом исследования является следующая структурная схема, абстрагирующая реальную конструкцию подвески (рис. 10).

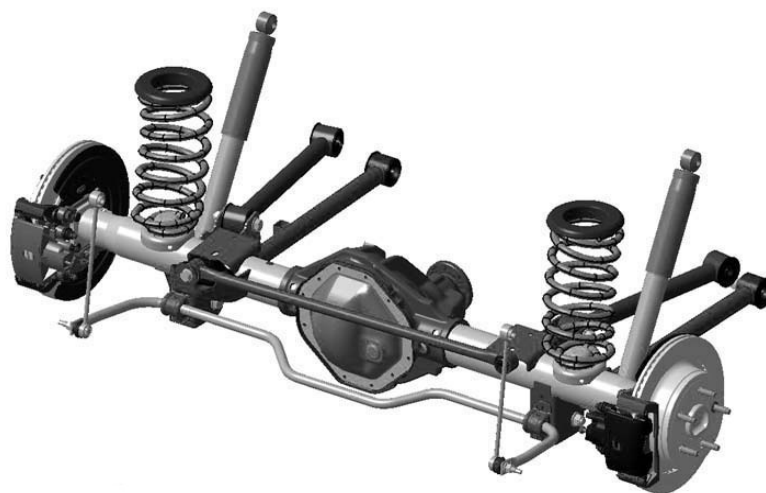


Рис.10. Пружинная подвеска [5]

Исследование модели подвески провести при следующих допущениях:

- подвеска независимая;
- упругим элементом подвески является пружина;
- справедлив 2-й закон Ньютона, т. к. $v_{\text{автомобиля}} \ll c$;
- для пружины справедлив закон Гука $F_{\text{упр}} = k\Delta x$, так как деформация пружины Δx мала. При больших деформациях Δx для пружины может быть применена модификация закона Гука в следующем виде:

$$F_{\text{упр}} = k\Delta x + \frac{k'\Delta x^2}{2};$$

- 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 и упругий элементы невесомы;
- система одномерна;
- центр колеса повторяет профиль дороги.

При рассмотрении подвески, соответствующей рис.11, мы откажемся от гипотезы об одномерности системы. Также при рассмотрении движения всего автомобиля в целом следует рассматривать задачу в двумерной постановке.

Глава 3. Математическая постановка задачи

§1. Пружинная подвеска в отсутствие вязкого элемента

Требуется исследовать поведение подвески, состоящей из одного лишь упругого элемента. Известно, что наиболее сильный разрушающий эффект на подвеску оказывает дорожное полотно, имеющее периодический (в частном случае – гармонический) профиль. Для исследования выберем такой профиль, тогда движение нижней точки пружины будет описываться по гармоническому закону вида (1.1).

$$x(t) = A \cos \omega t. \quad (1.1)$$

Соотношение (1.2) связывает частоту вынужденных колебаний центра колеса ω , скорость автомобиля v и длину волны профиля дороги λ (рис. 11):

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

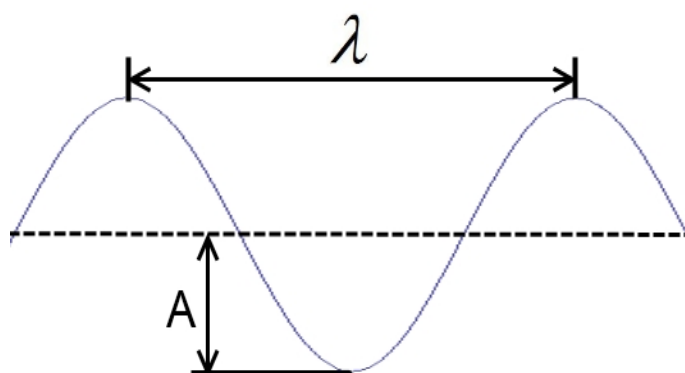


Рис. 11. Схема для соотношения (1.2)

Второй закон Ньютона для системы «колесо-пружина-кузов» (рис. 12) в векторной форме имеет вид (1.3):

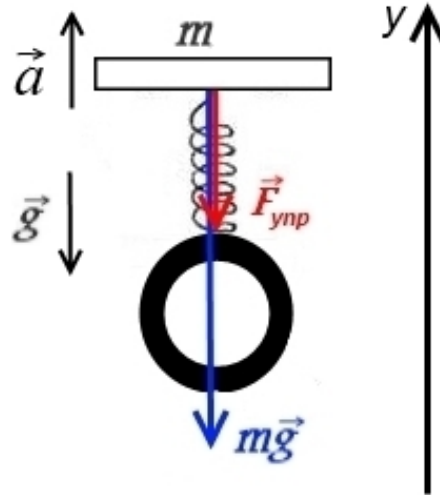


Рис. 12. Система «колесо-пружина-кузов»

$$m\vec{a} = \vec{F}_{ynp} + m\vec{g}, \quad (1.3)$$

где m – масса, приходящаяся на колесо, $\vec{g}$ – вектор ускорения свободного падения, $\vec{a}$ – мгновенное ускорение точки крепления подвески к кузову.

В проекции на вертикальную ось и с использованием закона Гука $F_{ynp_y} = -k\Delta y$ закон (1.3) примет вид (1.4), где $Y(t)$ – вертикальная координата точки крепления пружины к кузову/раме, $y(t)$ – координата по вертикали точки центра колеса:

$$mY''(t) = -k[Y(t) - y(t)] - mg. \quad (1.4)$$

С использованием закона (1.1) уравнение (1.4) примет вид (1.5). Из соотношения (1.2) выражаем частоту вынужденных колебаний центра колеса, подставляем во второй закон Ньютона, получаем закон вида (1.6).

$$mY''(t) = -k[Y(t) - A \cos \omega t] - mg, \quad (1.5)$$

$$mY''(t) = -k[Y(t) - A \cos\left(\frac{2\pi vt}{\lambda}\right)] - mg. \quad (1.6)$$

Окончательно, закон движения примет вид дифференциального уравнения второго порядка (1.7):

$$mY''(t) = -kY(t) + Ak \cos\left(\frac{2\pi vt}{\lambda}\right) - mg. \quad (1.7)$$

Для того чтобы однозначно решить уравнение (1.7), необходимо дополнить его совокупностью начальных условий: $Y'(0) = u_0$, $Y(0) = Y_0$.

На рис. 13 представлена зависимость координаты точки крепления пружины к кузову от времени.

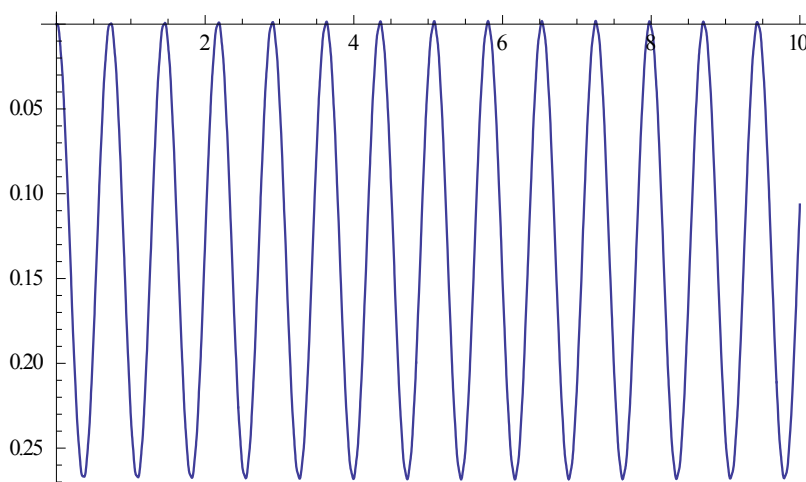


Рис. 13. $A = 0,15\text{м}$, $k = 30000\frac{\text{Н}}{\text{м}}$, $m = 400\text{кг}$, $\lambda = 1\text{м}$, $\nu = 18\frac{\text{М}}{\text{с}}$, $u_0 = 0\frac{\text{М}}{\text{с}}$, $Y_0 = 0\text{м}$

Анализируя рис. 7, можно отметить, что в рассмотренном случае подвеска и корпус автомобиля совершают гармонические колебания с амплитудой равной $\sim 13\text{ см}$ и периодом равным $\sim 0.7\text{ с}$.

При рассмотрении случая совпадения частоты собственных колебаний системы с частотой вынужденных колебаний получен следующий график зависимости координаты по вертикали точки крепления пружины к кузову от времени (рис. 14).

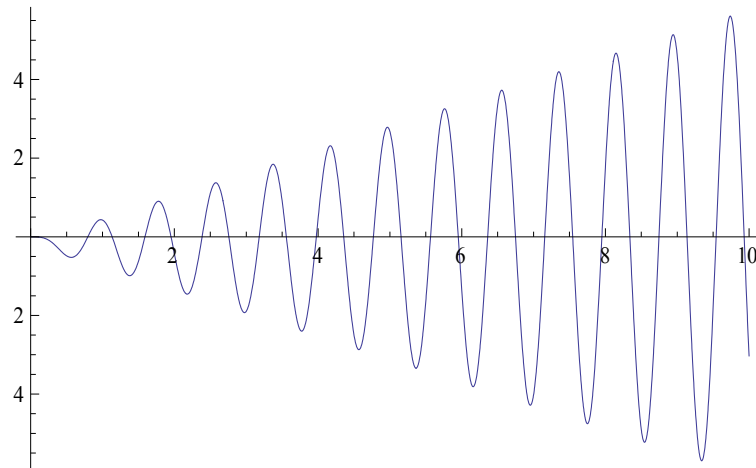


Рис. 14. $A = 0,15\text{ м}$, $k = 30000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$, $m = 400\text{ кг}$, $\lambda = 1\text{ м}$, $v = 1,379\text{ м/с}$

На рис. 14 видно, как с течением времени происходит резкое увеличение амплитуды, что свидетельствует нам о наличии резонанса – это опасная для подвески ситуация.

§2. Пружинная подвеска с последовательным соединением вязкого и упругого элементов (упругий (низ), вязкий (верх))

Требуется исследовать поведение подвески, состоящей из упругого и вязкого элементов, соединенных последовательно (рис. 8, б). Движение нижней точки амортизатора (рис. 15) будет описываться по гармоническому закону вида (1.1).

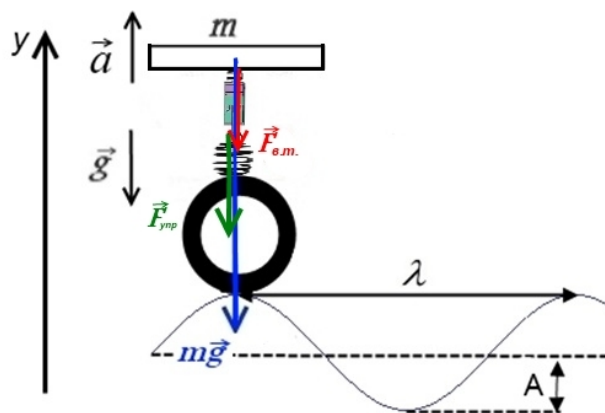


Рис. 15. Схема к задаче

Второй закон Ньютона для точки крепления конструкции к кузову имеет вид (2.1):

$$m\vec{a} = \vec{F}_{\text{в.м.}} + m\vec{g}. \quad (2.1)$$

Также нам известно, что при таком расположении элементов выполняется равенство (2.2):

$$F_{\text{в.м.}} = F_{\text{упр}}. \quad (2.2)$$

Требуется решить систему (2.3), состоящую из уравнений (2.1) и (2.2):

$$\begin{cases} F_{\text{упр}} = F_{\text{в.м.}}, \\ m\vec{a} = F_{\text{в.м.}} + m\vec{g}. \end{cases} \quad (2.3)$$

В проекции на вертикальную ось система (2.3) примет вид (2.4):

$$\begin{cases} F_{\text{упр}} = F_{\text{в.м.}}, \\ ma = -F_{\text{в.м.}} - mg. \end{cases} \quad (2.4)$$

Применяя закон для силы вязкого трения $F_{\text{в.м.}} = -\eta v'$ и закон Гука $F_{\text{упр}} = k\Delta y$ к системе (2.4), получим систему вида (2.5), где $Y(t)$ – координата точки крепления пружины к кузову/раме, $y(t)$ – координата по вертикали точки центра колеса, $Y_C(t)$ – координата точки соединения упругого и вязкого элементов:

$$\begin{cases} mY''(t) = -mg - \eta[Y_C'(t) + y(t)], \\ k[Y(t) - Y_C(t)] = \eta[Y_C'(t) + y(t)]. \end{cases} \quad (2.5)$$

Используя закон (1.1) и соотношения (1.2) в системе (2.5) получим итоговую систему дифференциальных уравнений (2.6):

$$\begin{cases} mY''(t) = -mg - \eta[Y_C'(t) + A\frac{2\pi v}{\lambda}\sin\frac{2\pi vt}{\lambda}], \\ k[Y(t) - Y_C(t)] = \eta[Y_C'(t) + A\frac{2\pi v}{\lambda}\sin\frac{2\pi vt}{\lambda}]. \end{cases} \quad (2.6)$$

Решая систему (2.6) относительно $Y(t)$ и $Y_C(t)$ при следующих начальных условиях и численных значениях:

$$Y'(0) = 0 \frac{\text{м}}{\text{с}}, Y(0) = 0 \text{ м}, Y_C(0) = 0 \text{ м}, A = 0,15 \text{ м}, \eta = 10000 \frac{\text{кг}}{\text{с}}, k = 30000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}, m = 400 \text{ кг},$$

$\lambda = 1 \text{ м}, \nu = 1,379 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, получим результаты, изображенные на рис. 16, 17, 18.

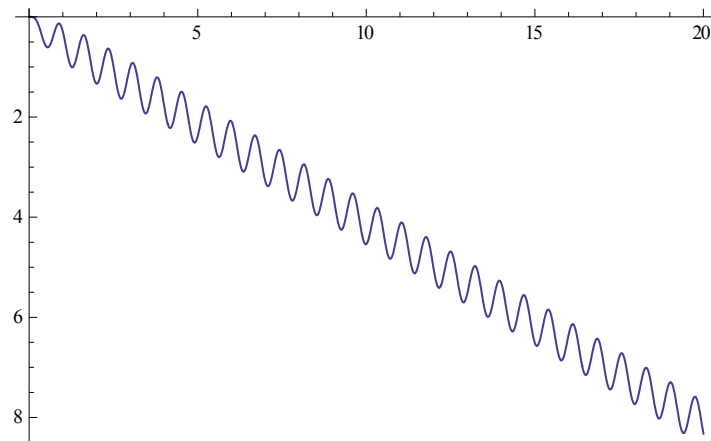


Рис. 16. Зависимость координаты точки крепления конструкции к кузову от времени

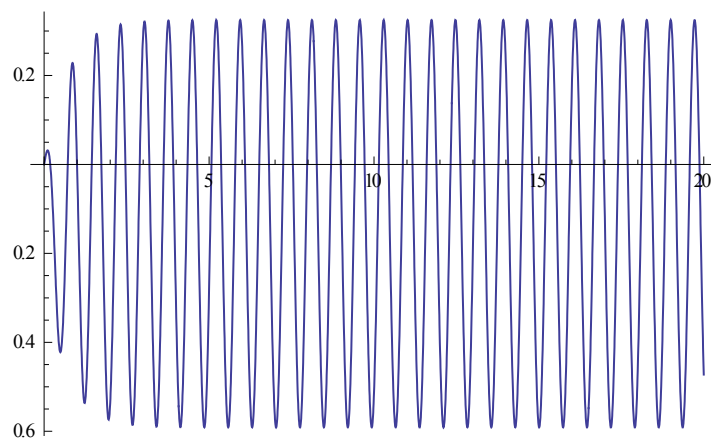


Рис. 17. Зависимость координаты точки соединения элементов от времени

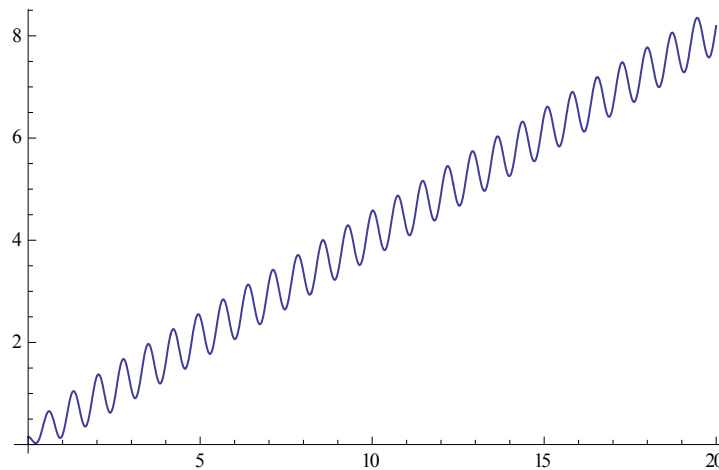


Рис. 18. Зависимость расстояния между центром колеса и точкой крепления конструкции к кузову от времени

Судя по представленным результатам, система демонстрирует неестественное поведение - колебательное движение с уменьшением среднего значения координаты. Это происходит из-за того, что мы в своей работе не учли ограниченность хода пружины и поршня, при которых теряется линейность используемых законов: Гука и силы вязкого трения.

§3. Пружинная подвеска с последовательным соединением вязкого и упругого элементов (вязкий (низ), упругий (верх))

Требуется исследовать поведение подвески, состоящей из упругого и вязкого элементов, соединенных последовательно (рис. 8, а). Движение нижней точки пружины (рис. 19) будет описываться по гармоническому закону вида (1.1).

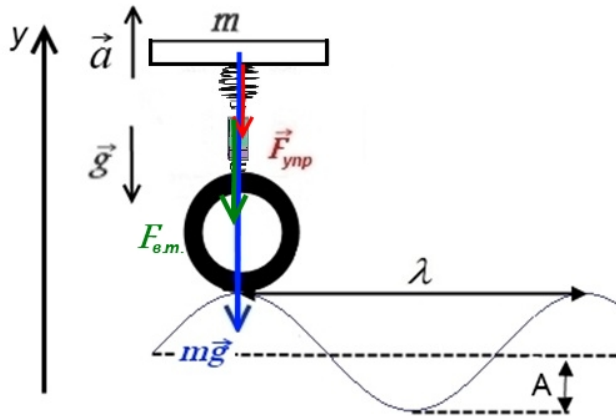


Рис. 19. Схема к задаче

Второй закон Ньютона для точки крепления конструкции к кузову имеет вид (3.1):

$$m\vec{a} = \vec{F}_{упр} + m\vec{g}. \quad (3.1)$$

При рассматриваемом расположении элементов также выполняется равенство (2.2).

Требуется решить систему (3.2), состоящую из уравнений (3.1) и (2.2):

$$\begin{cases} F_{упр} = F_{в.м.}, \\ m\vec{a} = \vec{F}_{упр} + m\vec{g}. \end{cases} \quad (3.2)$$

В проекции на вертикальную ось система (3.2) примет вид (3.3):

$$\begin{cases} F_{упр} = F_{в.м.}, \\ ma = -F_{упр} - mg. \end{cases} \quad (3.3)$$

Применяя закон для силы вязкого трения $F_{в.м.} = -\eta v'$ и закон Гука $F_{упр} = k\Delta y$ к системе (3.3), получим систему вида (3.4), где $Y(t)$ – координата точки крепления пружины к кузову/раме, $y(t)$ – координата по вертикали точки центра колеса, $Y_C(t)$ – координата точки соединения упругого и вязкого элементов:

$$\begin{cases} mY''(t) = -mg - k[Y(t) - Y_C(t)], \\ k[Y(t) - Y_C(t)] = \eta[Y_C'(t) + y(t)]. \end{cases} \quad (3.4)$$

Используя закон (1.1) и соотношения (1.2) в системе (3.4) получим итоговую систему дифференциальных уравнений (3.5):

$$\begin{cases} mY''(t) = -mg - k[Y(t) - Y_C(t)], \\ k[Y(t) - Y_C(t)] = \eta[Y_C'(t) + A \frac{2\pi v}{\lambda} \sin \frac{2\pi vt}{\lambda}]. \end{cases} \quad (3.5)$$

Решая систему (3.5) относительно $Y(t)$ и $Y_C(t)$ при тех же начальных условиях и численных значениях, что использовались в §2, получим результаты, изображенные на рис. 19, 20, 21.

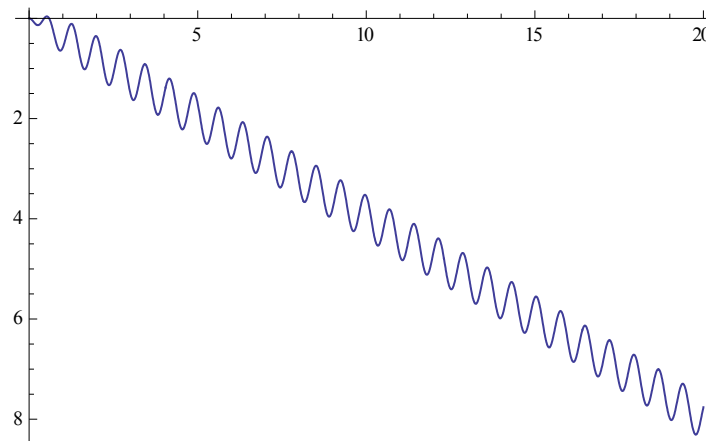


Рис. 20. Зависимость координаты точки крепления конструкции к кузову от времени

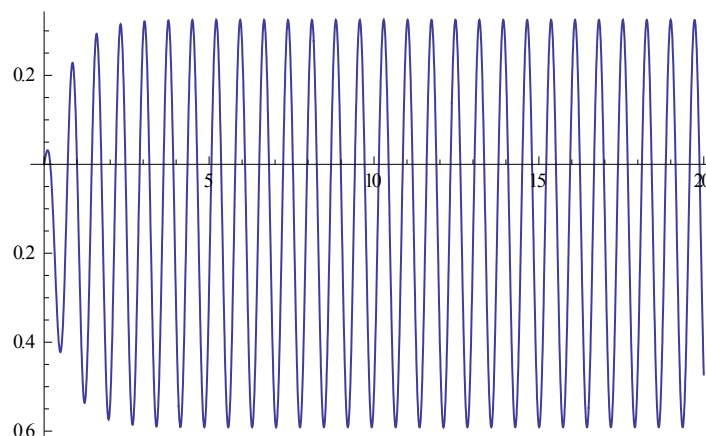


Рис. 21. Зависимость координаты точки соединения элементов от времени

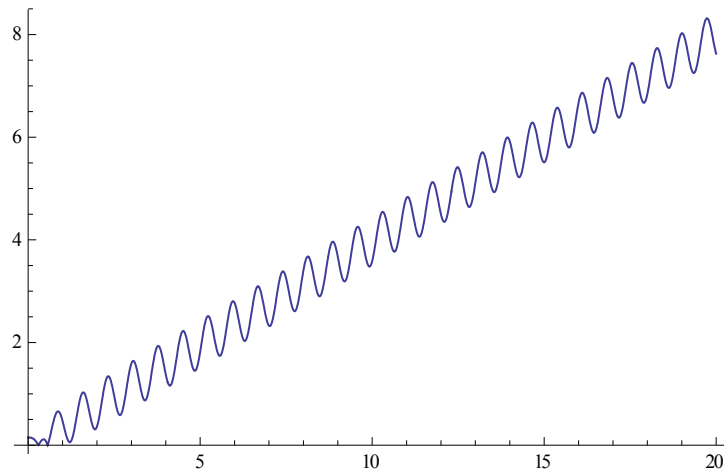


Рис. 22. Зависимость расстояния между центром колеса и точкой крепления конструкции к кузову от времени

Качественно, полученные результаты аналогичны результатам, полученным в §2: такие результаты также являются следствием ошибки, допущенной при выборе системы гипотез.

§4. Пружинная подвеска с параллельным соединением вязкого и упругого элементов

Требуется исследовать поведение подвески, состоящей из упругого и вязкого элементов, соединенных параллельно (рис. 23). Движение нижней точки пружины будет описываться по гармоническому закону вида (1.1).

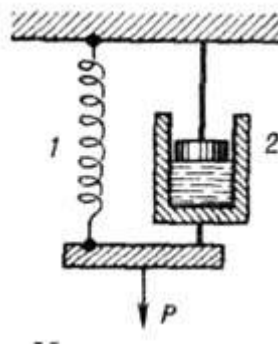


Рис. 23. Схема тела Фойгта

Второй закон Ньютона для точки крепления конструкции к кузову имеет вид (4.3):

$$m\vec{a} = \vec{F}_{yup} + \vec{F}_{e.m.} + m\vec{g}. \quad (4.1)$$

Используя закон для силы вязкого трения $F_{e.m.} = -\eta v'$ и закон Гука $F_{yup} = k\Delta y$ в уравнении (4.1), получим уравнение (4.2):

$$ma_y = -k\Delta y - \eta v - mg. \quad (4.2)$$

В законе для силы вязкого трения $F_{e.m.} = -\eta v'$ используется относительная скорость сближения точки крепления конструкции к кузову и центра колеса. Тогда уравнение (4.2) примет вид (4.3):

$$mY''(t) = -k[Y(t) - y(t)] - \eta[Y'(t) - y'(t)] - mg. \quad (4.3)$$

С использованием закона (1.1) и соотношения (1.2) получаем окончательное уравнение (4.6):

$$mY''(t) = -k[Y(t) - A \cos \omega t] - \eta[Y'(t) + A \frac{2\pi v}{\lambda} \sin \frac{2\pi vt}{\lambda}] - mg. \quad (4.6)$$

Решая дифференциальное уравнение (4.6) относительно $Y(t)$ при следующих начальных условиях: $Y'(0) = u_0$, $Y(0) = Y_0$, получим результаты, изображенные на рис. 24.

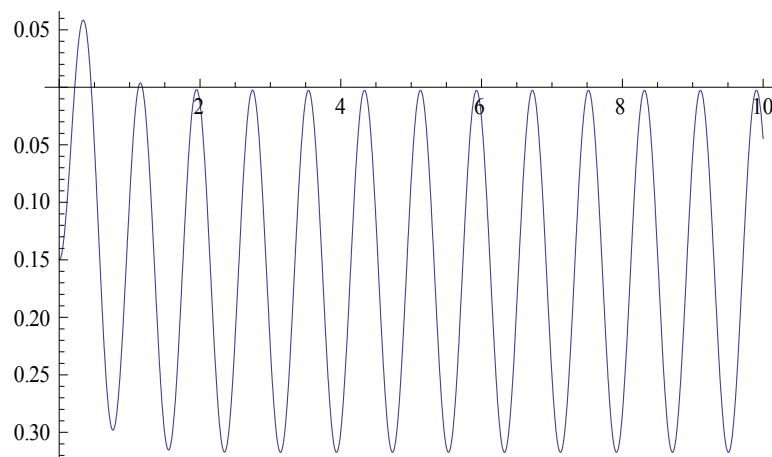


Рис. 24.

$$A = 0,15 \text{ м}, \eta = 10000 \frac{\text{кг}}{\text{с}}, k = 25000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}, m = 400 \text{ кг}, \lambda = 1 \text{ м}, v = 1,257 \frac{\text{м}}{\text{с}}, u_0 = 0 \frac{\text{м}}{\text{с}}, Y_0 = 0 \text{ м}$$

На графике (рис. 24) первые 2 секунды можно наблюдать затухание колебаний. Если ход штока амортизатора ограничен, то первые 2 секунды будут происходить удары об отбойники амортизатора, так как значение амплитуды, судя по графику, выходит за область допустимых значений. Далее амплитуда колебаний становится постоянной.

В случае совпадения частоты собственных колебаний системы с частотой вынужденных колебаний и при вязкости $\eta = 0$, можно наблюдать явление резонанса (рис. 25).

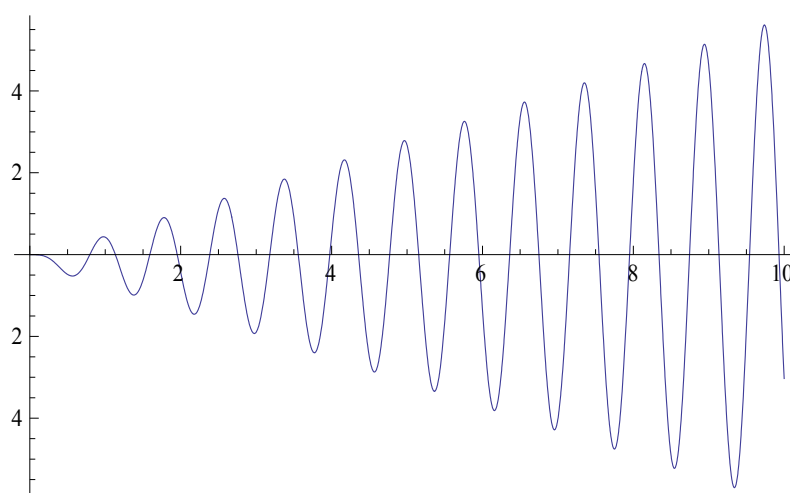


Рис. 25. $A = 0,15\text{ м}$, $\eta = 0 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$, $k = 25000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$, $m = 400\text{ кг}$, $\lambda = 1\text{ м}$, $\nu = 1,257 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $u_0 = 0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, $Y_0 = 0\text{ м}$

В случае если $\eta \neq 0$, резонанс отсутствует. Это говорит о том, что вязкий элемент «гасит» амплитуду колебаний (рис. 24).

§5. Пружинная подвеска (двумерная схема)

Требуется исследовать поведение подвески, состоящей из упругого и вязкого элементов, соединенных параллельно под некоторым углом (рис. 26).

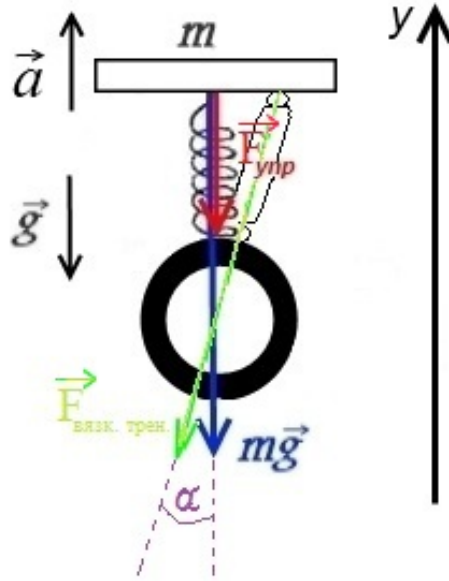


Рис. 26. Схема параллельного соединения элементов с углом взаимного расположения

$$\vec{F}_{в.м.} = -\eta \vec{v}, \quad (5.1)$$

$$F_{упр} = k \Delta y, \quad (5.2)$$

$$\cos \alpha = \frac{Y(t) - A \cos \omega t}{\sqrt{(Y(t) - A \cos \omega t)^2 + b^2}}. \quad (5.3)$$

Второй закон Ньютона для точки крепления конструкции к кузову имеет вид (4.3):

$$m\vec{a} = \vec{F}_{упр} + \vec{F}_{в.м.} + m\vec{g}. \quad (5.4)$$

Подставляя (5.1) и (5.2) в (5.4), получаем уравнение (5.5) в проекции на ОУ:

$$ma_y = -k\Delta y - \eta v \cos \alpha - mg. \quad (5.5)$$

В формуле (5.2) используется относительная скорость сближения точки крепления конструкции к кузову и центра колеса. Тогда уравнение примет вид (5.6):

$$mY''(t) = -k[Y(t) - y(t)] - \eta[Y'(t) - y'(t)] \cos \alpha - mg. \quad (5.6)$$

С использованием закона (1.1) получаем уравнение (5.7):

$$mY''(t) = -k[Y(t) - A \cos \omega t] - \eta[Y'(t) + A\omega \sin \omega t] \cos \alpha - mg. \quad (5.7)$$

Окончательно, используя выражение (5.3) для косинуса угла между элементами получим дифференциальное уравнение второго порядка (5.8) с начальными условиями (5.9):

$$mY''(t) = -\eta[Y'(t) + A\omega \sin \omega t] \frac{Y(t) - A \cos \omega t}{\sqrt{(Y(t) - A \cos \omega t)^2 + b^2}} - mg - k[Y(t) - A \cos \omega t]. \quad (5.8)$$

$$Y'(0) = u_0, Y(0) = Y_0 \quad (5.9)$$

Решая задачу Коши (5.8)-(5.9), получим график зависимости координаты точки крепления конструкции к кузову от времени (рис. 27).

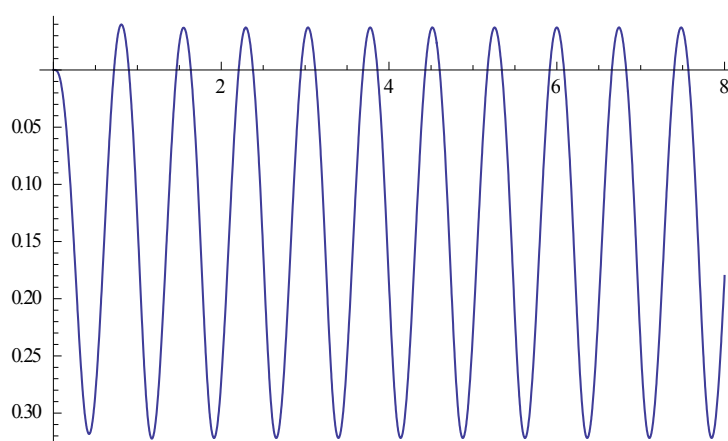


Рис. 27. $b = 0,2 \text{ м}$, $A = 0,15 \text{ м}$, $\eta = 10000 \frac{\text{кг}}{\text{с}}$, $k = 30000 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$, $m = 400 \text{ кг}$,

$$\lambda = 1 \text{ м}, \nu = 1,349 \frac{\text{м}}{\text{с}}, u_0 = 0 \frac{\text{м}}{\text{с}}, Y_0 = 0 \text{ м}$$

Проведя краткий анализ результатов, представленных на рис. 27, можно отметить, что в отличие от результатов, полученных в §4, амплитуда колебаний устанавливается практически сразу и не выходит за область допустимых значений: равна $\sim 0,2 \text{ м}$, что соответствует реальности.

Список литературы

1. http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Suspensi%C3%B3n_de_cami%C3%B3n_02.jpg;
2. <http://forum.novgorod.ru/showthread.php?p=1159415>;
3. <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%A4%D0%B0%D0%B9%D0%BB:Leafs1.jpg>;
4. http://udtuning.ru/masterskaya/pnevmapodveski/vidy_podvesok/;
5. http://pictures.topspeed.com/IMG/crop/200801/2009-dodge-ram-72_1280x0w.jpg.