

## 4. Пружинно-амортизирующая система автомобиля

Моделирование динамических систем в *Simulink*. Непрерывные модели. Модель пружинно-амортизирующей системы автомобиля.

### 4.1. Постановка задачи

Проанализировать поведение подвесной системы автомобиля (Рис.4.1) при помощи моделирования упрощенной пружинно-амортизирующей системы. Используя переменные состояния, получить управляющее уравнение системы и ее реакцию на входную функцию, симулирующую различные типы дорожных условий.

#### Допущения:

- Рассматривать только вертикальное перемещение автомобиля.
- Не учитывать массу пружины и амортизатора.
- Не учитывать массу и амортизирующие свойства покрышки колеса.
- Смоделировать входной сигнал перемещения колеса автомобиля как сумму двух ступенчатых сигналов (**Sources\Step**). Первая функция имитирует попадание колеса в выбоину на дороге, вторая функция – выезд из выбоины.

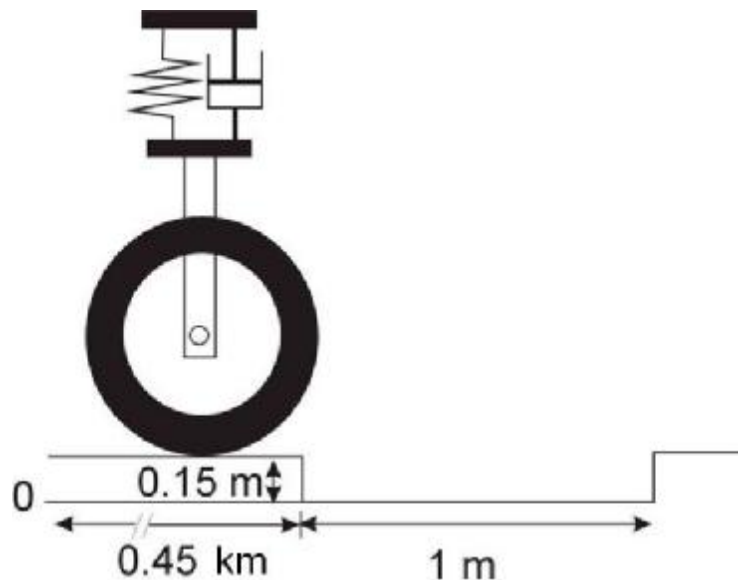


Рис.4.1. Иллюстрация к постановке задачи

### 4.2. Входные параметры

- Глубина выбоины: **hole\_depth=0.15m**.
- Скорость движения автомобиля: **v=20m/s**.
- Входная функция – вертикальное перемещение  $y_2$  колеса автомобиля. Ступенчатый сигнал: сначала вертикальное смещение соответствует уровню **0m** и колесо проезжает **hole\_start=450m** до выбоины; затем колесо попадает в выбоину на уровень **-0.15m**

и проезжает **hole\_width=1m**; колесо выезжает из выбоины на уровень **0m** и продолжает движение до окончания времени моделирования.

- Масса автомобиля:  **$m=1000\text{kg}$** .
- Жесткость рессоры (**Stiffness**):  **$k=1000\text{N/m}$** .
- Амортизирующий коэффициент (**Damping coefficient**):  **$c=100\text{Ns/m}$** .

### 4.3. Уравнение управления

В модели рассматривается только вертикальное перемещение транспортного средства. Гравитационная сила исключается начальным перемещением рессоры.

$$m\ddot{y}_1 + c\dot{y}_1 + k(y_1 - y_2) = 0. \quad (1)$$

Схема моделируемой системы автомобиля изображена на Рис.4.2.

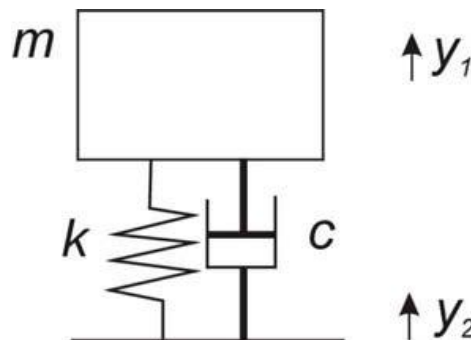


Рис.4.2. Схема подвесной системы автомобиля

### Переменная состояния

$y_1$  – перемещение кузова автомобиля (из уравнения управления (1)):

$$\ddot{y}_1 = -\frac{c\dot{y}_1 + k(y_1 - y_2)}{m}. \quad (2)$$

### Входной сигнал

$y_2$  – перемещение шины колеса автомобиля (из постановки задачи):

$$y_2 = \begin{cases} 0m & t < hstart \\ -0.15m & hstart \leq t < hend, \\ 0m & t \geq hend \end{cases}$$

где **hstart** и **hend** соответствуют моментам времени попадания колеса в выбоину и выезда из нее.

### 4.4. Simulink-модель

Модель **L0401.mdl**.

Построить Simulink-модель подвесной системы автомобиля. Для задания параметров блоков использовать переменные MATLAB. Результаты моделирования выводить в графическое окно **Figure**. Исследовать зависимость вертикального перемещения  $y_1$  и вибрации кузова автомобиля при изменении амортизирующего коэффициента  $c$  и коэффициента жесткости рессоры  $k$ .

Для этого выполнить следующие действия:

- **Шаг 1:** Создать **m**-файл **vehicle.m** и сохранить его в выбранном директории. В **m**-файле **vehicle.m** задать необходимые переменные и рассчитать время попадания колеса в выбоину и выезда из нее с учетом постановки задачи.
- **Шаг 2:** Создать файл **Simulink**-модели **L0401.mdl** и сохранить его в том же директории, что и **m**-файл **vehicle.m**. В параметрах конфигурации модели установить **start time=0, stop time=100s, Solver Options Type=Fifed step, Solver=ODE5 Dormand Prince, Fixed Step Size=0.001s**.
- **Шаг 3:** При помощи двух блоков **Sources\Step** сформировать перемещение колеса  $y_2$ .
- **Шаг 4:** Используя блоки **Continuous\Integrator, Math Operations\Gain, Math Operations\Sum**, постройте модель согласно уравнению (2).
- **Шаг 5:** Визуализация результатов. Перенести на модель блок **Sinks\Scope**, установить его свойство **Parameters\Data History\Limit Data Points=100000** (по умолчанию 5000). Вывести в блок **Scope** в разных системах координат график перемещения колеса  $y_2(t)$  и график перемещения кузова автомобиля  $y_1(t)$ .
- **Шаг 6:** Генерация файлов данных. Перенести на модель два блока сохранения данных в файл **Sinks\To File**. В первом блоке **To File1** установить свойство **File-name=input\_disp.mat** и свойство **Variable Name=input\_disp**. Подключить данный блок к выводу сигнала перемещения колеса  $y_2(t)$ . Во втором блоке **To File2** установить свойство **Filename=disp.mat** и свойство **Variable Name=disp**. Подключить данный блок к выводу сигнала перемещения кузова автомобиля  $y_1(t)$ . В результате работы модели в текущий директорий будут записаны **mat**-файлы **input\_disp.mat** и **disp.mat** указанных сигналов.
- **Шаг 7:** В **m**-файл **vehicle.m** добавить команды вызова **Simulink**-модели **L0401.mdl**; загрузки в рабочее пространство **Workspace** двух **mat**-файлов **input\_disp.mat** и **disp.mat** и графического вывода результатов в одно графическое окно **Figure** в разные системы координат.
- **Шаг 8:** Запустить в командном окне **MATLAB** **m**-файл **vehicle.m** и проанализировать работу модели.
- **Шаг 9:** Изменить в **m**-файле **vehicle.m** способ задания параметров жесткости рессоры (**Stiffness**)  $k$  и амортизирующего коэффициент (**Damping coefficient**)  $c$  таким образом, чтобы они задавались с клавиатуры после запуска **m**-файла **vehicle.m**.
- **Шаг 10:** Исследовать поведение системы при изменении амортизирующего коэффициента  $c$  и фиксированном значении коэффициента жесткости рессоры  $k$ :  $k=500$ ,  $c=10$ ;  $c=100$ ;  $c=1000$ . Исследовать поведение системы при изменении коэффициента жесткости рессоры  $k$  и фиксированном значении амортизирующего коэффициента  $c$ :  $c=100$ ,  $k=50$ ;  $k=500$ ;  $k=5000$ . Оптимальное решение, при котором достигается малое перемещение кузова автомобиля и минимальная реверберация:  $k=500$ ,  $c=3000$ .