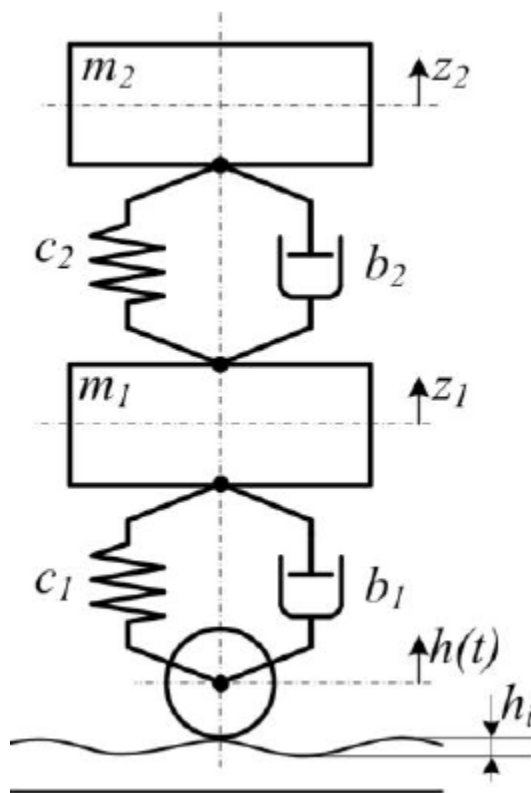


## Лабораторная работа 6.

### Моделирование механических систем

#### Моделирование вынужденных колебаний двухмассовой системы

Произведем моделирование двухмассовой системы путём блочного построения её уравнений в среде Simulink. Исследуемыми значениями являются колебания двух масс. В работе используется упрощенная модель с двумя степенями свободы, в которой две массы связаны упругими и диссипативными связями. Такая модель с принятыми допущениями описывает, например, вертикальные колебания рельсовых экипажей с двухъярусным рессорным подвешиванием. К таким экипажам можно отнести электровазы, тепловозы и пассажирские вагоны.



где  $m_1$  – обрессоренная масса тележки;  $m_2$  – масса кузова, приведённая к одной тележке;  $c_1$ ,  $c_2$  – жесткость соответственно первого и второго яруса подвешивания;  $b_1$ ,  $b_2$  – демпфирование соответственно первого и второго яруса подвешивания;  $h$  – вертикальная неровность пути (возмущение);  $z_1$ ,  $z_2$  – обобщенные координаты, соответственно, тележки и кузова.

В качестве возмущения принимается неровность, предложенная профессором Н. Н. Кудрявцевым,

$$h(t) = |A_1 \cdot \sin(\omega t) + A_2 \sin(3\omega t)| \quad (1)$$

где  $A_1, A_2$  – амплитуды неровностей пути. Выбираются в зависимости от типа и состояния пути;  $\omega$  – частота возмущения;

$$\omega = \frac{\pi V}{L} \quad (2)$$

где  $V$  – скорость движения вдоль пути;  $L$  – длина рельсов.

Такая неровность хорошо описывает вертикальное изменение прогиба пути вдоль рельсового звена.

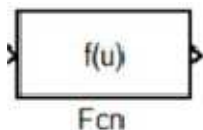
### Блоки, необходимые для создания модели

Для выполнения лабораторной работы, кроме блоков изученных ранее, потребуются следующие блоки:

*Clock* – источник сигнала времени. Создает сигнал, равный текущему времени моделирования.

*Fcn* – функциональный блок. Создает сигнал, равный заданной функции от входного сигнала. Необходимая функция задается в настройках блока в строке Expression на языке Си. В записи функции можно использовать следующие компоненты:

- входной сигнал. Обозначается  $u$ , если он является скалярным. Если входной сигнал – вектор, необходимо указывать номер элемента вектора в круглых скобках. Например,  $u(1)$  и  $u(2)$  – первый и третий элементы входного вектора;
- константы;
- арифметические операторы (+ – \* /);
- операторы отношения (=, !=, >, <, >=, <=);
- логические операторы (&&, ||, !);
- круглые скобки;
- математические функции: abs, acos, asin, atan, atan2, ceil, cos, cosh, exp, fabs, floor, hypot, ln, log, log10, pow, power, rem, sgn, sin, sinh, sqrt, tan, и tanh;
- переменные из рабочей области. Если переменная рабочей области является массивом, то ее элементы должны указываться с помощью индексов в круглых скобках. Например,  $A(1,1)$  – первый элемент матрицы A. Внешний вид блока показан на рисунке.



*Derivative* – дифференциатор. Создает сигнал, равный производной по времени от входного сигнала.

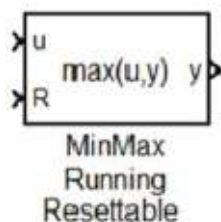
*Mux* – мультиплексор. Объединяет сигналы с нескольких входов в один выход (вектор).

*Integrator* – интегратор. Создает сигнал, равный интегралу от входного сигнала. В настройках блока необходимо задать один из параметров внешнего сброса (External reset):

- none – нет (сброс не выполняется);
- rising – нарастающий сигнал (передний фронт сигнала);
- falling – спадающий сигнал (задний фронт сигнала);
- either – нарастающий либо спадающий сигнал;
- level – ненулевой сигнал (сброс выполняется, если сигнал на управляющем входе становится неравным нулю).

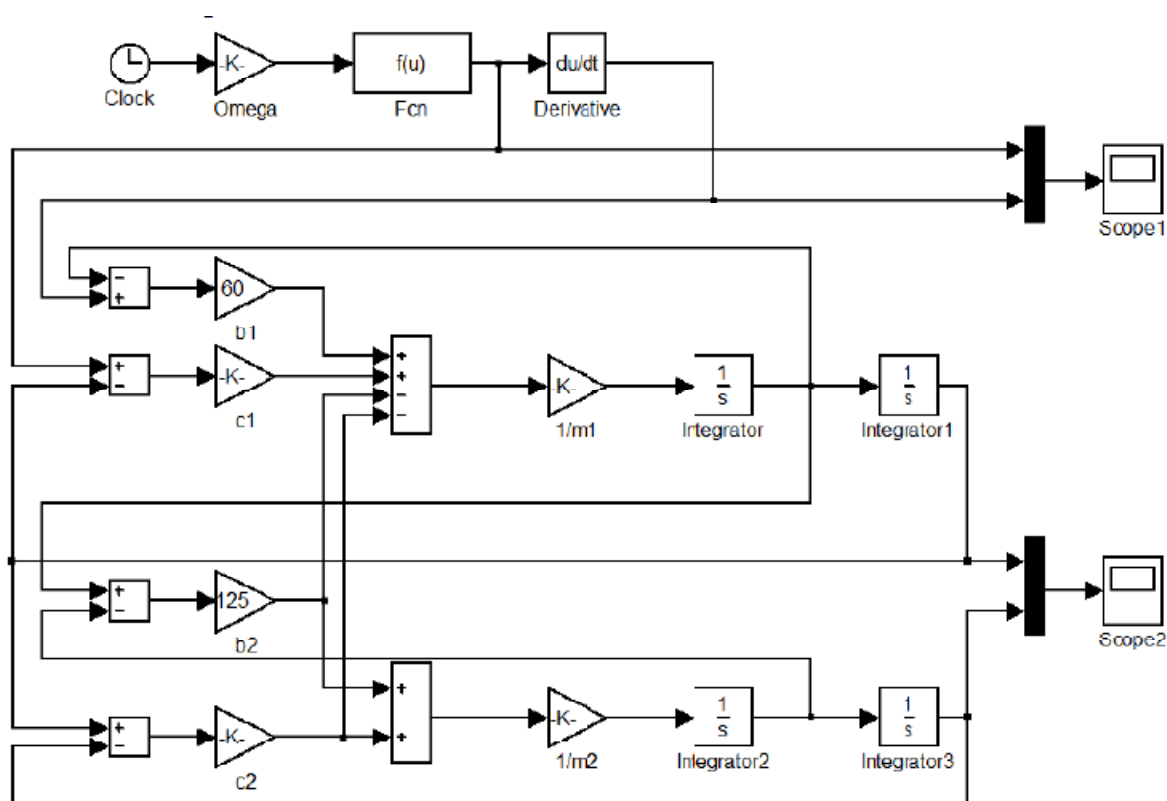
При выборе любого параметра, кроме «none», на изображении блока появляется дополнительный управляющий вход (на левой стороне блока, нижний). Также в настройках блока *Integrator* необходимо задать источник начального значения выходного сигнала (Initial condition source): внешний (external) или внутренний (internal). При выборе внутреннего источника в настройках появится строка (Initial condition), в которой необходимо записать значение начального значения выходного сигнала блока. Если выбран внешний источник, то на изображении блока появляется дополнительный вход, обозначенный  $x_0$ . На этот вход необходимо подать сигнал, задающий начальное значение выходного сигнала блока.

*MinMax Running Resettable* – обнуляемый определитель минимума или максимума. Определяет минимальное или максимальное значение входного сигнала (вход «u»). Вход «R» используется для сброса выходного значения. В настройках блока необходимо задать следующие параметры: функцию (Function) определения максимального (max) или минимального (min) значения входного сигнала; начальное значение (Initial condition). Элемент увеличивает (уменьшает) выходной сигнал от заданного начального значения до максимального (минимального) на входе. Другими словами, если задано найти минимальное значение положительной функции ( $f > 0$ ), а начальное значение равно 0, то сигнал на выходе не будет изменяться и останется равным нулю. Внешний вид блока показан на рисунке.

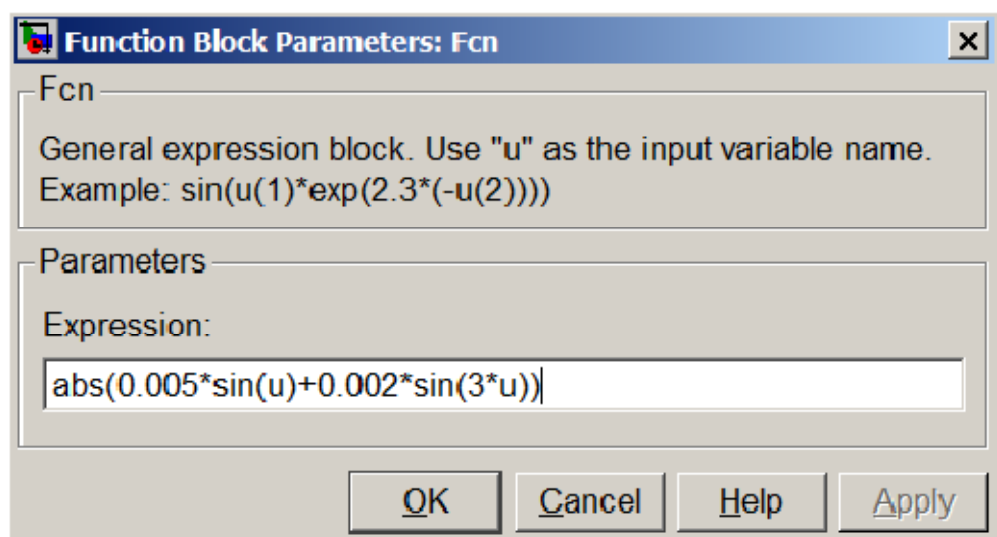


## План работы

1. Создать модель уравнений вынужденных колебаний и задать в неё соответствующие параметры.



В первый элемент Gain с названием «Omega» записывается численное значение частоты возмущения, рассчитанное по формуле (2). В блок Fcn необходимо записать уравнение неравности (1) так, как показано на рисунке.



В элементы Gain с именами «b1», «b2», «c1», «c2», «1/m1», «1/m2» записываются соответствующие значения параметров модели, взятые из таблицы 1 и таблицы 2. При этом в последние два элемента значение записывается с дробью аналогично названию.

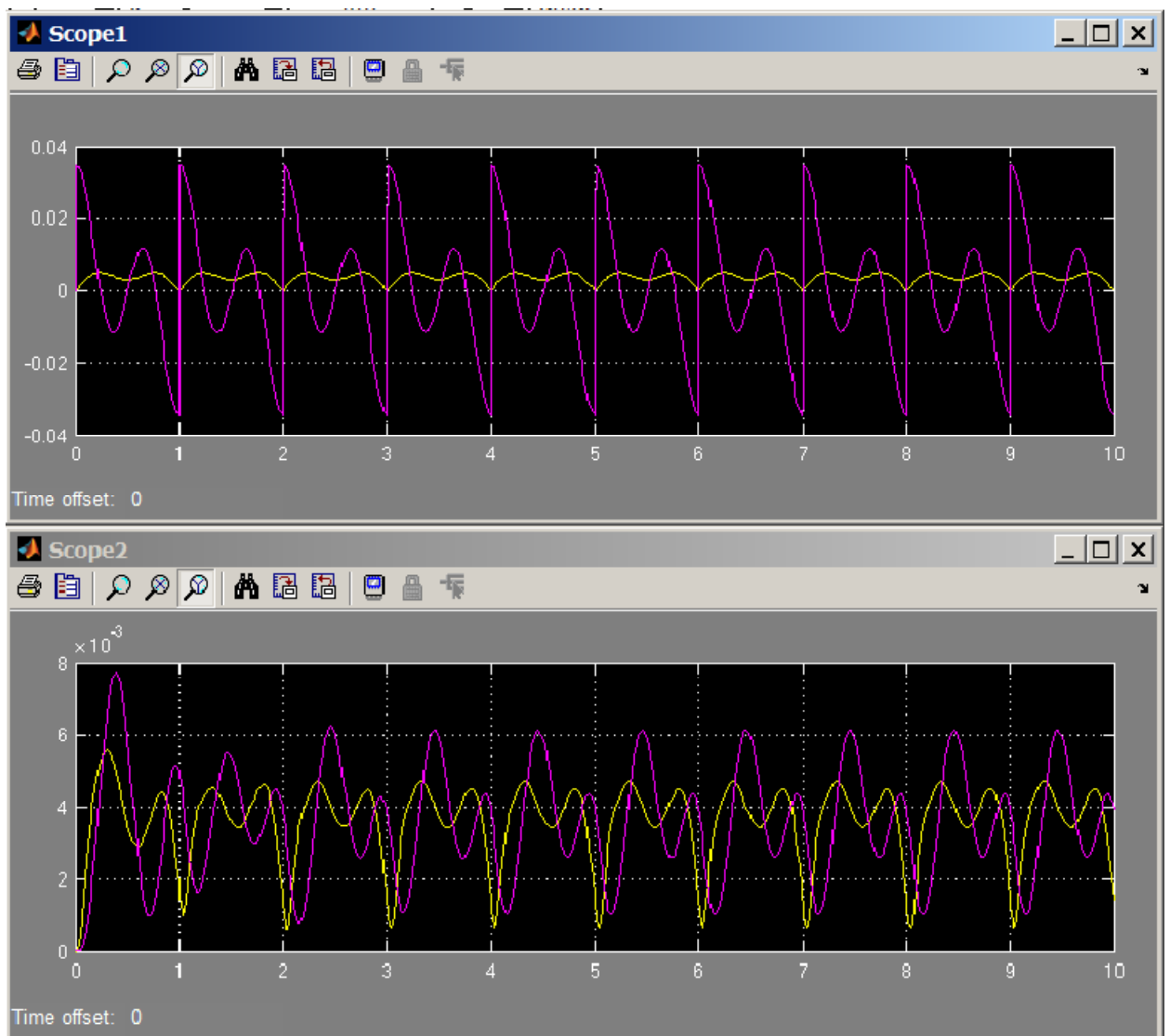
**Таблица 1**

<b>Параметры расчётной модели</b> Параметр	Значение
Длина рельсового звена $L$ , м	25
Масса первого тела $m_1$ , т	8,82
Масса второго тела $m_2$ , т	из таблицы 2
Жёсткость первого яруса $c_1$ , кН/м	7000
Жёсткость второго яруса $c_2$ , кН/м	из таблицы 2
Демпфирование первого яруса $b_1$ , кН·с/м	60
Демпфирование второго яруса $b_2$ , кН·с/м	из таблицы 2
Скорость движения $V$ , м/с	25

**Таблица 2**

<b>Вариант</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>	<b>14</b>	<b>15</b>
$m_2$ , т	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44
$c_2$ , кН/м	3000	2900	2800	2700	2600	2500	2400	2300	2200	2100	2000	1900	1800	1700	1600
$b_2$ , кН·с/ м	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	

После построения модели необходимо задать следующие параметры расчёта: время моделирования 0 – 10 с; метод расчёта ode45. Если модель создана правильно, то в элементах Scope должны построиться осциллограммы, аналогичные представленным:

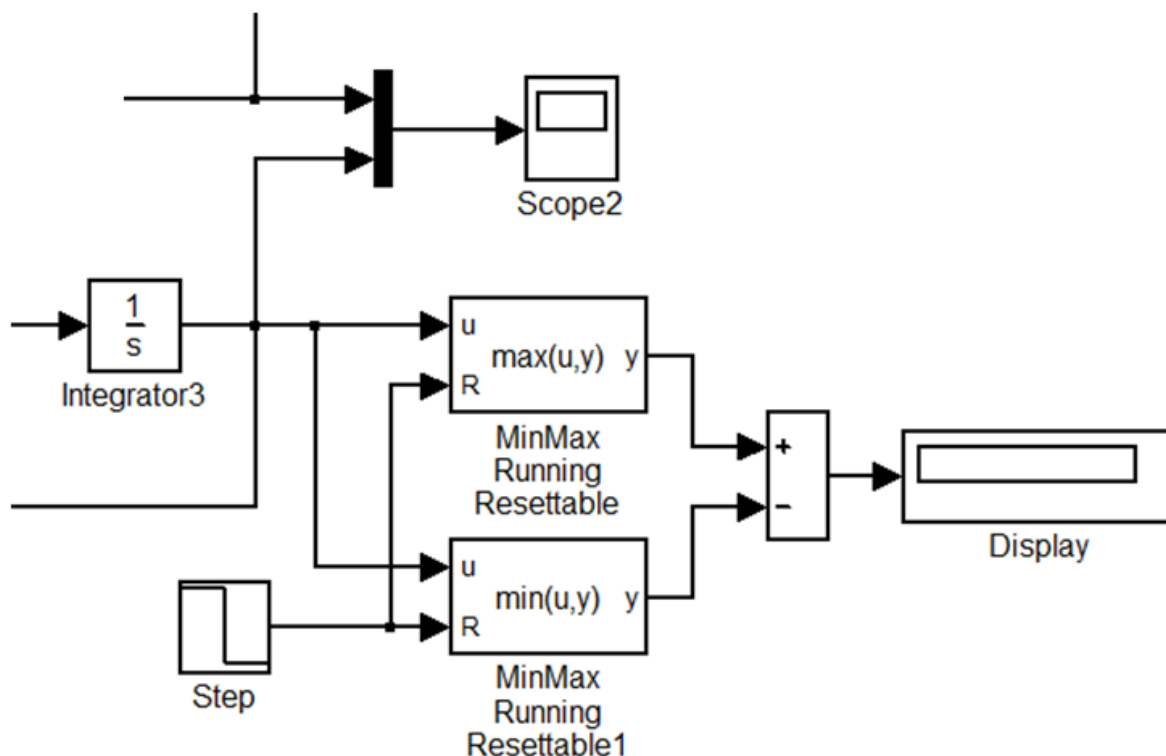


На первом осциллографе (Scope1) показаны две осциллограммы: неровность  $h$  и первая производная от неровности (скорость изменения неровности)  $\frac{dh}{dt}$ . На втором осциллографе (Scope2) также показаны две осциллограммы: перемещение тележки  $z_1$  и перемещение кузова  $z_2$ . Как видно из осциллограмм, перемещение кузова приблизительно колеблется в координатах от 1 до 6 мм. Сохранить рисунок схемы и полученные осциллограммы.

2. Дополнить модель схемой определения амплитуды колебаний кузова и произвести её расчёт.

Для выполнения второго пункта необходимо установить время моделирования 0 - 50 с, а время переключения элемента Step 20 с.

Для более точного определения перемещения кузова необходимо дополнить созданную модель схемой расчёта интервала перемещений (амплитуды колебаний) :



Такая схема определяет разницу между максимальным и минимальным значениями координаты перемещения кузова. Параметры блока Step: значение до переключения 1; значение после переключения 0; время переключения 10 с. Параметры блока MinMax Running Resettable: функция определения максимального значения; начальное значение 0. Параметры блока MinMax Running Resettable1: функция определения минимального значения; начальное значение 10.

Если схема создана правильно, то на дисплее должно появиться число, равное амплитуде колебаний.

Далее, изменяя величину скорости (значение  $\omega$ ), заполнить таблицу 3 и построить по ней график.

V, м/с	4	7	10	12	16	18	20	23	30	40
Амплитуда, мм										

3. Сделать вывод о проделанной работе. Вывод должен отражать зависимость амплитуды колебаний от скорости движения.

### Содержание отчёта

1. цель работы;
2. введение
3. внешний вид модели, созданной в первом пункте ;
4. осциллограммы, полученные при расчёте модели, созданной в первом пункте ;

5. внешний вид модели, созданной во втором пункте;
6. осциллограммы, полученные при расчёте модели, созданной во втором пункте;
7. таблица и график зависимости амплитуды колебаний от скорости движения;
8. вывод.