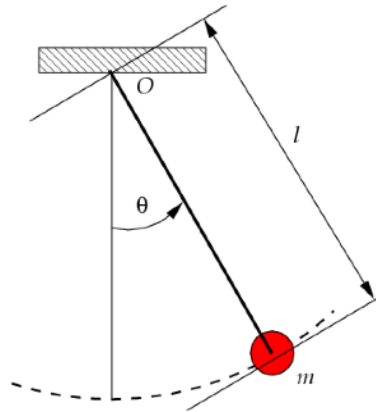


Гибридные системы — это подход для совокупного описания непрерывных и дискретных процессов в сложных системах. Моделирование гибридных систем производится с помощью поиска решений уравнений, описывающих систему, итерационными численными методами.

### Описание модели:

Данный стенд представляет собой модель математического маятника, который при достижении определённого угла переходит в состояние свободного падения.

До перехода система находится в состоянии незатухающей осцилляции в гравитационном поле с ускорением свободного падения  $g$ , груз находится на конце невесомого нерастяжимого стержня длины  $l$  и начинает движение с отклонением  $\theta$  градусов от положения равновесия.



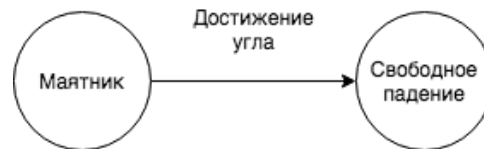
Поведение такой системы описывается дифференциальным уравнением в полярных координатах:

$$\frac{d^2 \theta}{dt^2} + \frac{g}{l} \sin \theta = 0$$

Во втором состоянии подвешенный груз переходит в состояние свободного падения, при этом тело продолжает движение по инерции, сохраняя скорость до перехода.

$$\begin{cases} x(t) = x_0 + v_{0x}t \\ y(t) = v_{0y}t + y_0 - \frac{1}{2}gt^2 \\ v_y(t) = v_{0y} - gt \end{cases}$$

Начальный угол отклонения задаётся пользователем. Переход между двумя состояниями происходит при достижении системой угла отрыва, равного  $30^\circ$ . Для обнаружения события на каждом шаге итерации проверяется попадание текущего угла в диапазон допустимых значений  $30^\circ \pm \Delta$ .



### **Описание стенда:**

На странице стенда есть описание модели [1], поля ввода параметров стенда [2], кнопка начала и остановки процесса моделирования [3] текстовый блок с выводом лога эксперимента [4] и блок с графическим выводом состояния системы [5]. Параметрами стенда являются величина шага итерации, начальный угол отклонения и величину допустимого диапазона  $\Delta$ . Для запуска стенда с введёнными параметрами нажмите кнопку «Начать моделирование». Остановить эксперимент можно нажатием на кнопку «Остановить моделирование». Эксперимент продолжается до пересечения падающим телом значения 0 по вертикали.

# Обнаружение событий - Обрывающийся маятник

Моделирование системы из математического маятника и блоков, при столкновении с которыми, подвешенный на маятнике груз переходит в состояние свободного падения. В этом эксперименте система может находиться в двух различных состояниях, описываемых разным набором уравнений — уравнением осцилляции математического маятника и уравнением свободного падения тела с начальной скоростью. Переход между состояниями система совершает при обнаружении дискретного события: столкновения подвеса с блоком.

1

Шаг итерации (в мс)

90

Начальный угол (в градусах)

-80

$\Delta$  (в градусах)

2

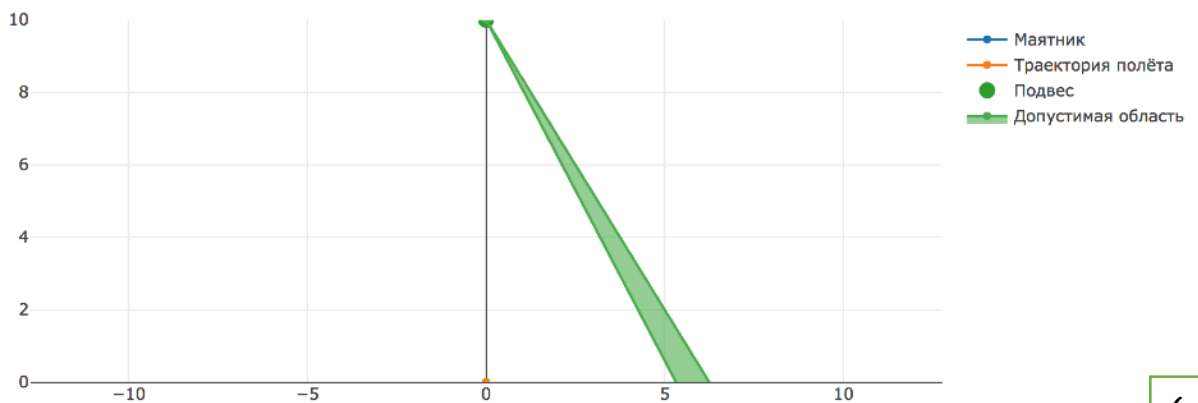
2

Начать Моделирование

3

-- Лог эксперимента --

5



6

## Пример эксперимента:

1. Запустите стенд с настройками по умолчанию: с шагом итерации 90мс, начальным углом отклонения  $80^\circ$  и  $\Delta = 2^\circ$
2. Увеличьте угол отклонения до  $90^\circ$  и запустите моделирование. Опишите полученный результат
3. Подберите  $\Delta$ , при котором стенд будет корректно обнаруживать событие при отклонении  $90^\circ$  и шаге итерации 90мс. Опишите недостаток такого подхода.
4. Подберите шаг итерации, при котором стенд будет корректно обнаруживать событие при отклонении  $45^\circ$  и  $\Delta = 0.1^\circ$ . Опишите недостаток такого подхода.