

## СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВЫМ МАЯТНИКОМ С РЕГУЛЯТОРОМ ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРЫ

Качанов Л.А., студент.; Лысова И.В., студент; Хорхордин А.В., доц., к.т.н.  
(ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», г. Донецк)

Современная методика обучения на технических специальностях в высших учебных заведениях ставит все более высокие требования к методам представления информации студентам. Все чаще применяются различные научные разработки с целью упрощения процесса усвоения студентом новой информации, с целью сделать эту информацию более наглядной. Это позволит вывести качество обучения в высших учебных заведениях на новый, более высокий уровень.

Очень сложным для студентов является изучение дисциплин, связанных с автоматическими системами управления. Это также связано с отсутствием или моральным старением материальной базы для проведения лабораторных работ, на которой проходят свое обучение современные студенты.

Все больше внимания в процессе обучения уделяется практическим занятиям, которые позволяют закрепить теоретические знания и получить практические навыки. Широкое распространение находят лабораторные маятниковые учебно-исследовательские установки. В дальнейшем будем рассматривать вопросы исследования и стабилизации структурно-нестабильной системы, в основе которой лежит обратный маятник.

В настоящее время значительно расширился класс реальных объектов управления, имеющих аналогичную математическую модель (например, ракета при взлете, солнечные батареи спутников, управление скоростью реакции в ядерном реакторе). Это делает актуальной задачу стабилизации маятниковых установок.

Вопросам стабилизации перевернутого математического маятника посвящено много исследований. В ряде работ синтез управляющего воздействия, выполненный по линеаризованной модели объекта и полученный линейный по координатам состояния алгоритм управления, позволяет обеспечить устойчивость системы при малых углах отклонения от положения равновесия. Применение кусочно-линейной аппроксимации нелинейного маятника и методов оптимального управления дает решение задачи для больших начальных возмущений. В этом случае требуется большой объем вычислений, кроме того, сложно одновременно обеспечить устойчивость решения и надежность системы. Рассмотрены задачи раскачивания и стабилизации маятника в верхнем положении с одновременной стабилизацией подвижной опоры, на которой закреплена ось маятника. Получены релейные законы управления на основе дифференциальной и конечной форм алгоритма скоростного градиента.

Экспериментальная лабораторная установка позволит студентам на практических занятиях наглядно изучать принципы управления с помощью регуляторов с переменной структурой, синтезировать систему оптимального управления, а также проверять работоспособность различных регуляторов.

### **Модель неустойчивого маятника**

Объектом системы управления является маятник со стержнем, раскачиваемый до заданного (вертикального) диапазона захвата, а затем стабилизация его в неустойчивом состоянии (рис.1). Это достигается за счет изменения положения опоры маятника, которую поворачивает двигатель постоянного тока. Кинематика системы обуславливает высокие скорости обработки информации, поэтому необходима высокая частота дискретизации (частота работы системы 200 Гц, т.е. примерно каждые 5мс контролирующая система принимает решение о дальнейшем управлении).

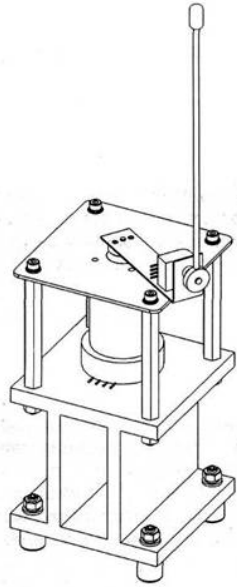


Рисунок 1 – Конструкция обратного маятника

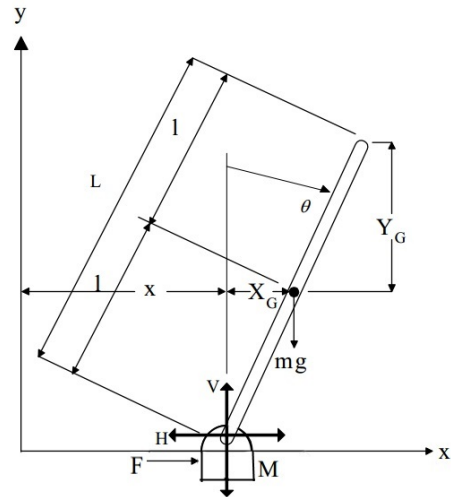


Рисунок 2 – Модель маятника и углы поворота

Определение положения маятника осуществляется энкодерами, один из которых показывает отклонение маятника от вертикальной оси (Y координата), а другой - азимут опоры маятника (X координата) (рис. 2). Информация от энкодеров попадает в виртуальный прибор, в котором реализована логика управления маятником. По получаемым значениям энкодеров определяется скорость и ускорение маятника в двух координатах. С использованием этих значений пропорционально-дифференциальный регулятор подбирает необходимую амплитуду и полярность напряжения, подаваемого на двигатель.

Система управление лабораторной установкой заключается в раскачивании маятника до заданного (вертикального) уровня и стабилизация его в неустойчивом положении. Такая система управления реализуется за счет регулятора с переменной структурой. Раскачивание можно осуществить принудительным периодическим изменением ускорения опоры маятника с частотой, близкой к частоте его резонансных колебаний, зависящей от начального угла отклонения маятника. А стабилизация маятника в неустойчивом вертикальном положении основывается на существующих системах «маятник на тележке».

#### Математическая модель объекта управления

Математическая модель рассматриваемого объекта разрабатывается исходя из следующей информации о параметрах маятника:  $l$  - центр тяжести маятника (половина его длины),  $J$  - его момент инерции,  $m$  - масса маятника,  $\theta$  - угол отклонения маятника от вертикали. На основе уравнения баланса моментов вращения маятника вокруг своего центра тяжести  $I \ddot{\theta} = Vl \sin \theta - Hl \cos \theta$  записываются следующие дифференциальные уравнения:

$$\begin{aligned} (M + m) \ddot{x} + ml \ddot{\theta} \cos \theta - ml \theta^2 \sin \theta &= F \\ (I + ml^2) \ddot{\theta} + ml \ddot{x} \cos \theta - mg l \sin \theta &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

Для малых углов в установившемся режиме и небольших скоростей вращения считают, что  $\sin \theta \approx \theta$  и  $\cos \theta \approx 1$ . Пренебрегая слагаемыми второго и третьего порядка малости в уравнениях (1), получают линеаризованную математическую модель лабораторной установки (без учета динамики приводного двигателя):

$$(M + m)\ddot{x} + ml\ddot{\theta} = F \quad (2)$$

$$(I + ml^2)\ddot{\theta} + ml\ddot{x} = 0$$

Схема нелинейной модели системы (рис. 3) представлена в программе MATLAB/Simulink.

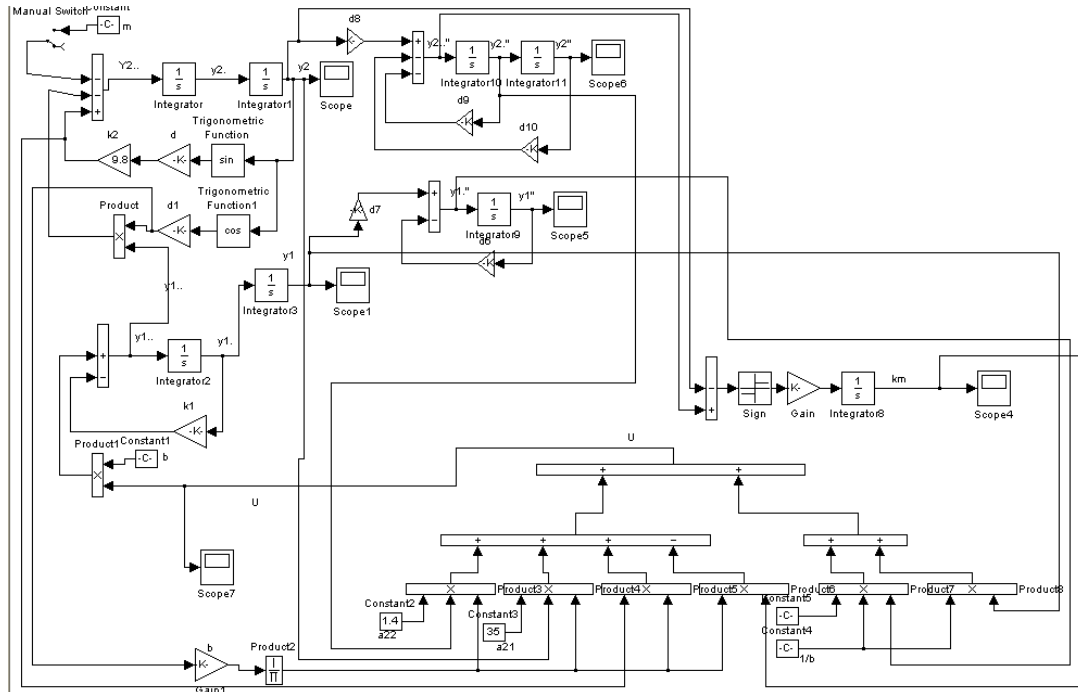


Рисунок 3 – Модель системы

Функциональная схема ОУ (рис.4) показывает, что запрограммированный микроконтроллер передает на ЦАП сигнал работы двигателя, после чего датчики угла поворота (после АЦП) вые передают данные о проделанной работе. В свою очередь микроконтроллер, обработав полученные данные, передает следующее управляющее воздействие. Для реализации данной установки необходимы такие технические средства:

- 1) Двигатель постоянного тока (ДПМ-30N1).
- 2) Датчики угла поворота – СКТ-225 2П.
- 3) АЦП и ЦАП устройства.
- 4) Кабель USB порта и разъем под USB порт.
- 5) Маятник и крепеж для него.
- 6) Микроконтроллер.



Рисунок 4 – Функциональная схема ОУ

#### Перечень ссылок

1. MATLAB User's Guide. The MathWorks, Inc., Natick, MA 1997.
2. Имаев Д.Х. и др. Теория автоматического управления. Москва, Высшая школа 2005.
3. Беленький Д.Н., Власенко С.Ю. Microsoft Word 2007. Санкт-Петербург 2002.