

# РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ С ПОДВИЖНЫМ ПОДВЕСОМ

Трунов С.А., группа СУА-09мн

Руководитель доц. Суков С.Ф.

Постановка задачи. Целью работы является разработка системы управления движущимся механическим объектом – тележкой – с подвижным подвесом – неустойчивым маятником. Задача управления состоит в стабилизации инвертированного маятника. Система будет оснащена рядом датчиков, которые будут снимать данные и передавать их в центр управления. Управление будет осуществляться с помощью ЭВМ через микроконтроллер, что сделает систему гибкой и позволит легко менять законы регулирования. Практическая ценность данной работы состоит в подготовке основы для получения лабораторного стенда, который может быть использован для подготовки студентов специальности СУА. Он позволит воплощать на практике смоделированные системы управления и проверять их адекватность в реальных условиях. Это позволит сформировать и развить практические умения и навыки студентов на основе полученных теоретических знаний в курсе подготовки по специальности.

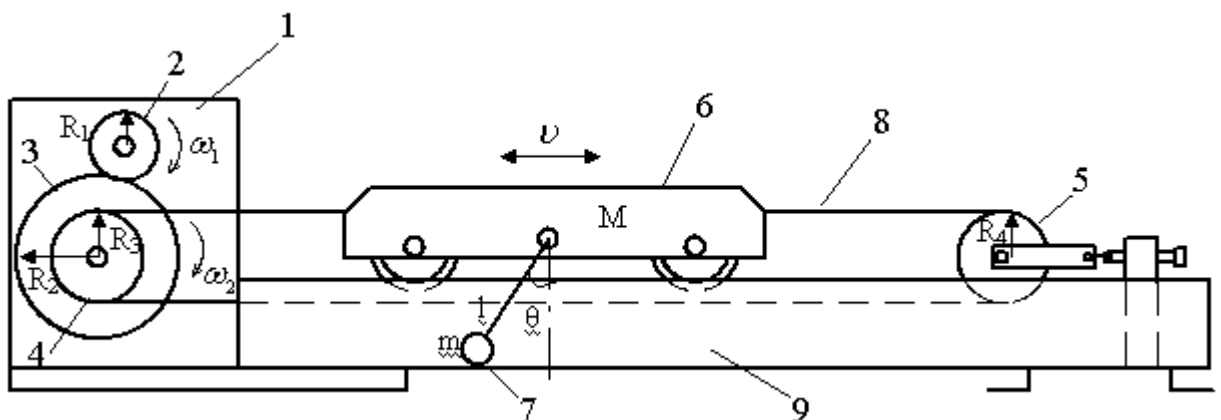


Рисунок 1 – Объект: тележка с маятником и двигатель постоянного тока

Объект управления (рис. 1) - электродвигатель 1 вращательного движения с моментом инерции  $J_d$  через одноступенчатый редуктор с парой шестерен 2 и 3 приводит во вращение с угловой скоростью  $\omega_2$  ролик 4, который с помощью троса 8 через ролик 5 приводит в движение тележку 6 массой  $M$  с маятником 7 массой  $m$  и длиной нити  $l$  с линейной скоростью  $v$ . При движении тележки маятник отклоняется на угол  $\theta$ .

Обзор существующих решений. Задаче о динамическом равновесии перевернутого маятника посвящено много исследований.

Нечеткое управление. Система «тележка - перевернутый маятник» изображена на рис. 2. Состояние системы в каждый момент времени характеризуется значением ее параметров: положение системы –  $x(t)$ ; линейная скорость системы –  $x'(t)$ ; угол отклонения маятника –  $Q(t)$ ; угловая скорость маятника –  $Q'(t)$ .

Система может перемещаться вдоль одной оси в интервале  $[-100;100]$ м. Маятник может совершать колебания в интервале  $[-90;90]$ . Если значения положения системы или угла маятника превышают указанные интервалы, то считается, что система управления потерпела неудачу.

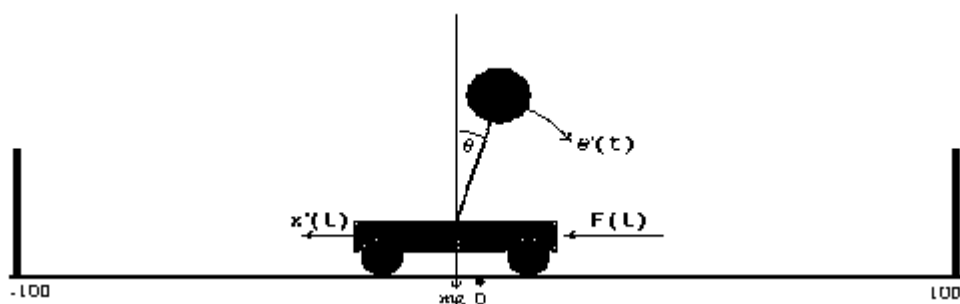


Рисунок 2 – Система «Тележка – Перевернутый маятник»

В результате была получена следующая база правил, состоящая из 8 правил:

ELSE IF (позиция отрицательная) AND (угловая скорость отрицательная малая) THEN сила положительная большая;

ELSE IF (позиция неотрицательная) AND (угловая скорость отрицательная)  
 THEN сила отрицательная большая;  
 ELSE IF (угол отрицательный) AND (угловая скорость неотрицательная)  
 THEN сила нулевая;  
 ELSE IF (скорость отрицательная) AND (угол положительный) AND (угловая  
 скорость нулевая) THEN сила нулевая;  
 ELSE IF (скорость отрицательная) AND угол (положительный) AND (угловая  
 скорость положительна) THEN сила положительная большая;  
 ELSE IF (позиция отрицательная) AND (скорость неотрицательная) AND  
 (угол неотрицательный) AND (угловая скорость неотрицательная) THEN  
 сила положительная большая;  
 ELSE IF (позиция положительная) AND (скорость неотрицательная) AND  
 (угол неотрицательный) AND (угловая скорость неотрицательная) THEN  
 сила положительная большая.

Здесь приняты следующие обозначения: позиция – позиция тележки;  
 скорость – скорость тележки; угол – угол отклонения маятника; угловая  
 скорость – угловая скорость маятника. Данная база правил справилась с  
 задачей, имея небольшое количество правил.

### Управление обратным маятником с помощью ПИД - регулятора

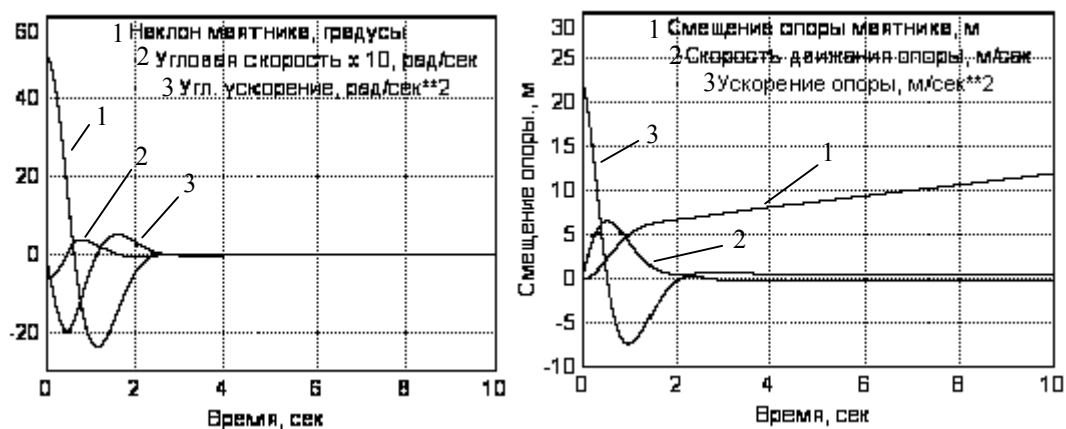


Рисунок 3 – Переходные процессы в системе стабилизации маятника по  
 углу его отклонения от вертикали

В одноканальной схеме, когда в качестве управляемой величины выбран только угол отклонения маятника от вертикали, ПИД – регулятор энергично выводит маятник вверх при начальных углах отклонения, меньших плюс – минус 60 градусов, но не возвращает его основание в начало координат: маятник уезжает с постоянной скоростью все дальше вправо (рис. 3).

Для возвращения маятника в начало координат можно организовать еще одну обратную связь, по отклонению опоры, суммируя его с углом отклонения. Но более эффективным является добавление в эту сумму еще и производных по времени от угла отклонения и смещения опоры. Подобрав оптимальные коэффициенты, были получены следующие результаты (рис. 4).

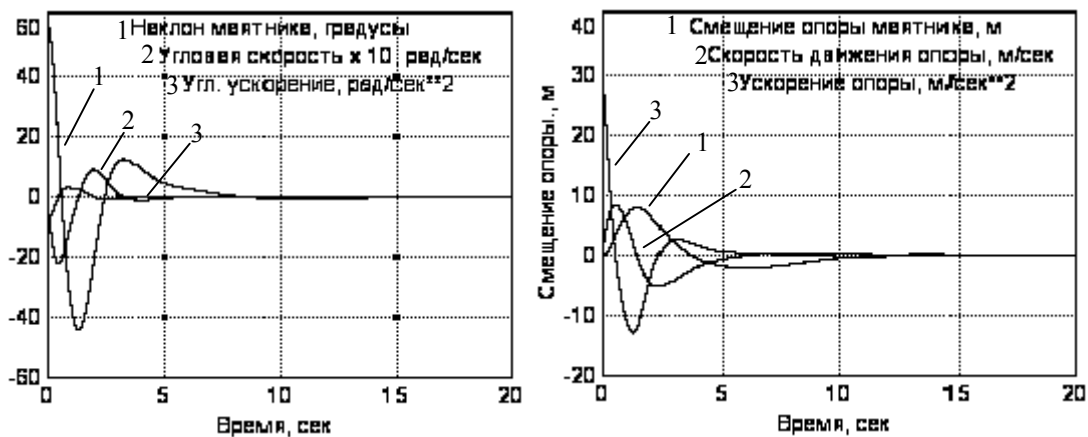


Рисунок 4 – Переходные процессы в системе с управлением по взвешенной сумме отклонений и скоростей

Управление по взвешенной сумме отклонений и скоростей позволяет приводить маятник в вертикальное положение, грузом вверх, и возвращать маятник в начало координат за 10 секунд. Отклонение опоры маятника не превышает 8 метров при начальных углах отклонения, меньших 60°.

В результате проведенных исследований было установлено, что система управления на основе ПИД-регуляторов способна выводить маятник вверх, по крайней мере, при начальных отклонениях, меньших 60°.

Гибридный метод стабилизации инвертированного маятника. Японскими

учеными были проведены исследования по применению комбинированных методов управления для решения проблемы стабилизации инвертированного маятника. Блок-схема этой системы – рис. 5.

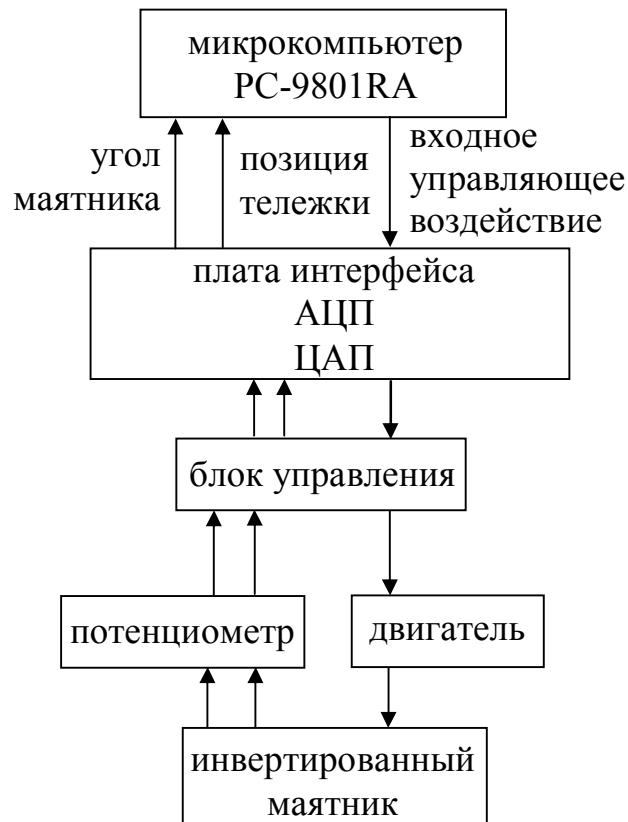


Рисунок 5 – Блок-схема системы стабилизации инвертированного маятника

Сначала для поворота маятника из нижнего положения и его стабилизации в вертикальном положении был разработан нечеткий контроллер. Для поворота и стабилизации маятника использовались два набора нечетких правил. Для поворота маятника использовался первый набор, состоявший из семи правил. Когда характеристики угла маятника (т.е. его угловая скорость и позиция тележки) оказывались в определенных диапазонах, нечеткий контроллер переключался на использование второго набора. Этот набор состоял из 11 нечетких правил, обеспечивающих стабилизацию маятника.

Предлагаемое решение. Существуют различные методы стабилизации системы с инвертированным маятником. Один из самых надежных и обеспечивающих высокие показатели качества управления является гибридный метод. Но его существенным недостатком является высокая стоимость аппаратуры, необходимой для его реализации. Нейронная сеть и метод нечеткой логики требуют мощный контроллер или микрокомпьютер со специальными математическими сопроцессорами. Классический метод синтеза систем управления – пропорционально-интегрально-дифференциальное (ПИД) регулирование является широко распространенным надежным методом. 90% современных систем управления построено именно на этом методе. Его главным преимуществом является сочетание достаточно хороших показателей качества управления с простотой аппаратно-программной реализации.

С учетом всего выше перечисленного за основу построения системы управления возьмем ПИД-регулирование.

Выводы.

1. Осуществлен обзор существующих решений рассматриваемой задачи.
2. Выбрано направление решения поставленной задачи.

#### Перечень ссылок

1. Липинский Л.В. Семенкин Е.С. Автоматизация проектирования интеллектуальных информационных технологий методом генетического программирования / Электронный ресурс. Способ доступа: URL: [http://qai.narod.ru/Workshop/lipinsky\\_cai2006.pdf](http://qai.narod.ru/Workshop/lipinsky_cai2006.pdf)
2. Сигеру Омату. Нейроуправление и его приложения. М.: Радиотехника, 2000. – 275 с.