

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОСАМОКАТОМ

Хаджинов М. К., Павлова А. В.

Кафедра систем управления, Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники
Минск, Республика Беларусь
E-mail: kh_m@tut.by

Предлагается разработка системы управления самобалансирующегося самоката на основе датчиков электроприводов. Используется упрощенная линейная модель самоката с модальными регуляторами контуров управления и оценивания.

ВВЕДЕНИЕ

В современных самобалансирующихся электросамокатах (сигвеях) обычно используется система гироскопических и сенсорных датчиков. Сигналы датчиков обрабатываются микропроцессором, вырабатывающим управляющие воздействия электроприводами колёс. В литературе обычно приводятся нелинейные модели электросамокатов. Алгоритмы управления приводятся фрагментарно и их работоспособность часто вызывает сомнение [1].

I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Механика электросамоката представляет собой подобие перевёрнутого маятника, неустойчивого по структуре. Обеспечить устойчивую работу такого объекта с помощью регулятора в прямой цепи одного контура управления не удаётся по ряду причин. Разумным является использование регуляторов в цепи обратной связи (модальных или линейно-квадратичных) на базе наблюдателей. Наблюдатель представляет собой модель объекта с собственным регулятором в цепи обратной связи, образующей контур оценивания. Управление контуром оценивания производится от одного или нескольких датчиков объекта управления. Необходимым условием работы контура оценивания является полная наблюдаемость модели объекта управления по сигналам используемых датчиков. В работе рассматривается подход к проектированию системы управления с двумя модальными регуляторами в контурах управления и оценивания. Существует тенденция к уменьшению габаритов самокатов и аппаратного упрощения системы управления. Для аппаратного упрощения системы управления предлагается ограничиться имеющимися датчиками электроприводов колёс и не использовать гироскопы и акселерометры. Основой для такого решения будет построение математической модели электросамоката, полностью наблюдаемой по сигналам датчиков электроприводов и имеющим достаточный набор переменных для стабилизации объекта контуром управления.

II. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Аппаратное упрощение системы управления самоката возможно при использовании структуры с моделью объекта в контуре управления. Предлагается использовать приближённую двухмассовую математическую модель объекта с горизонтальным движением обеих масс (рис.1). Нижняя масса соответствует самокату, верхняя – пассажиру. Нижняя масса включает в себя суммарную массу колёс и тележки, плюс приведённую массу всех вращающихся частей электроприводов и колёс. Математические модели электроприводов колёс максимально структурно упрощены до интеграторов в контуре с единичной обратной связью, а их динамика задаётся частотой полосы пропускания. Необходимость учёта возможных изменений массы пассажира и его высоты центра тяжести реализована в виде двух дополнительных моделей самоката с заниженными и завышенными характеристиками нагрузки. Структура модели самоката с электроприводом без системы балансирования и управления приведена на рис.1.

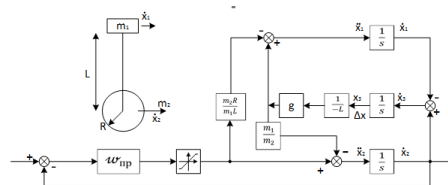


Рис. 1 – Схема механики и структурная схема модели самоката с электроприводом

На рисунке 1 приняты следующие обозначения: X1-скорость центра тяжести пассажира; X2-скорость тележки самоката; X3-отклонение назад центра тяжести пассажира относительно колес; M1-масса пассажира; M2-масса тележки с колёсами и двигателями плюс приведенные моменты инерции вращающихся колес и двигателей; L-высота центра тяжести пассажира; R-радиус колеса; Wпр-полоса пропускания электропривода колеса. Описанная упрощенная двухмассовая линейная модель механики с моделью электропривода первого порядка использовалась для расчётов модальных регуляторов контуров управления и оценивания. Для упрощения модальных регуляторов контуров управления и оценивания в расчёт закладывалась неиз-

менность полюса электропривода в обоих контурах.

III. КОНТУРЫ УПРАВЛЕНИЯ И ОЦЕНИВАНИЯ

Были рассмотрены 2 варианта построения контура управления: одноэтапный и двухэтапный. В одноэтапном варианте рассчитывался интегральный модальный регулятор, обеспечивающий как стабилизацию, так и управление скоростью. Желаемые полюса задавались полиномом 3-го порядка плюс полюс электропривода. При использовании двухэтапного варианта вначале осуществлялось построение контура стабилизации с модальным регулятором, чтобы неустойчивый объект трансформировать в устойчивый маятник такой же длины с приемлемым коэффициентом демпфирования. Результатом явилось появление устойчивости с хорошими переходными характеристиками, но с реверсом управления скоростью самоката. Далее контур стабилизации был дополнен контуром управления скоростью с интегральным или ПИД регуляторами. При этом нули ПИД регулятора настраивались на компенсацию доминирующей пары полюсов контура стабилизации. Предлагается для оценивания вектора состояния самоката использовать датчик скорости электропривода колёс. Принципиально это возможно, так как предлагаемая модель самоката полностью наблюдаема по сигналу датчика скорости. В то же время существует проблема использования датчика косвенных измерений. Так предполагалось, что увеличение жёсткости электропривода может усложнить работу контура оценивания из-за уменьшения чувствительности электропривода к возмущениям, вызванным нарушением положения равновесия верхней массы. В результате этого может проявляться повышенная чувствительность контура оценивания к изменению нагрузки самоката.

IV. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Выполнено моделирование системы управления самоката с электроприводом для значений массы пассажира 30, 60 и 120 кг с изменением высоты центра тяжести 0.5, 0.8 и 0.95 м при радиусе колеса 0.1 м. Результаты моделирования самоката с модальным регулятором в контуре стабилизации и контуром управления скоростью с интегральным и ПИД регуляторами приведены на рис.2. Как видно из рисунка, скорость самоката на начальном этапе разгона принимает отрицательные значения, чтобы качнуть пассажира вперёд, а затем ловить его контуром стабилизации с модальным регулятором. ПИД-регулятор сильно форсирует этот этап, создавая более сильное отклонение пассажира. Интегральный регулятор скорости разгоняет самокат более плавно и почти за такое же время. Интегральный модальный регулятор настраивался на бо-

лее медленный разгон и обеспечивает более комфортные условия для пассажира.

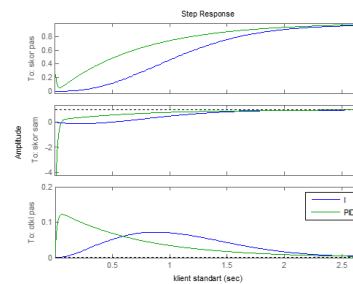


Рис. 2 – Скорость пассажира, скорость самоката и отклонение пассажира самоката в СУ с модальным регулятором в контуре стабилизации

Результаты моделирования самоката с интегральным модальным регулятором приведены на рис.3.

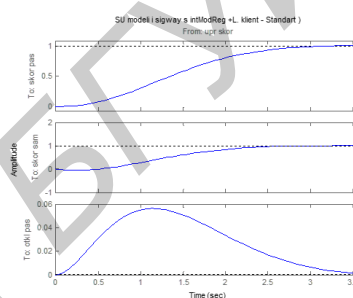


Рис. 3 – Скорость пассажира, скорость самоката и отклонение пассажира самоката в СУ с модальным, интегральным регулятором

Контур оценивания базировался на датчике скорости электропривода колеса. Моделирование показало увеличение запасов устойчивости контура оценивания для не стандартных клиентов при увеличении жёсткости электропривода в пределах реальных настроек.

V. ВЫВОДЫ

Произведено сравнение подходов проектирования контура управления самоката: одноэтапно с помощью интегрального модального регулятора, и как последовательное из двух вложенных контуров, контура стабилизации равновесия и контура управления движением. Контур управления с интегральным модальным регулятором даёт лучшие переходные характеристики и проектируется проще. Для самоката с реальными параметрами механики и электроприводов контур оценивания может базироваться на датчике скорости электропривода колёс и не использовать дополнительные гироскопические датчики положения пассажира.

VI. СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Фёдоров, Д.С. Разработка системы стабилизации угла отклонения балансирующего робота / Д.С.Фёдоров, А.Ю.Ивойлов, В.А.Жмудь, В.Г.Трубин // Автоматика и программная инженерия. – 2015. №2(12).