

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ НЕЧЁТКОГО И СУБОПТИМАЛЬНОГО РЕГУЛЯТОРОВ В ЗАДАЧЕ ОБЕСПЕЧЕНИЯ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЯ

**Волков В.Г.**

*ФГАОУ ВО Казанский (Приволжский) федеральный университет,  
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18*

*e-mail: witchcraft256@mail.ru*

*поступила в редакцию 28 февраля 2015 года*

### Аннотация

Данная работа посвящена анализу эффективности нечётких и классических управляющих устройств при решении задачи обеспечения курсовой устойчивости автомобиля. Производится синтез регуляторов для гашения внешних возмущений, воздействующих на автомобиль при движении. Проводится сравнительный анализ робастной устойчивости регулятора основанного на нечёткой логике и субоптимального управляющего устройства. Все расчёты производятся в системе компьютерной математики MATLAB.

**Ключевые слова:** синтез законов управления, курсовая устойчивость, субоптимальный регулятор, нечёткий регулятор, гашение возмущений, линейные матричные неравенства, робастная устойчивость.

**Введение.** В реальных условиях эксплуатации автомобиль большую часть времени движется по криволинейной траектории. Это объясняется как криволинейностью дороги, так и условиями движения автомобиля: повороты, объезды препятствий, маневры перестроения, обгоны других транспортных средств, а так же внешние боковые воздействия на автомобиль.

В процессе движения водитель вынужден обеспечивать не только стратегическое управление транспортным средством, но и компенсировать влияние внешних сил. Практический интерес представляет автоматизация процесса гашения оказываемых на автомобиль внешних возмущений, позволяющая снизить риск дорожно-транспортных происшествий [1]. Описанную проблему можно сформулировать как задачу обеспечения курсовой устойчивости автомобиля, т.е. сохранения курсового угла  $\gamma$  и минимизации боковых смещений. Как правило, для её решения используют управляющие устройства (УУ) разной степени эффективности, позволяющие посредством изменения угла поворота передних колёс нивелировать влияние возмущающих сигналов.

В теории управления одним из наиболее распространённых типов УУ является так называемый нечёткий регулятор, универсальность которого в сочетании с высокой робастностью теоретически делает его одним из наиболее эффективных типов регуляторов. В то же время широкое распространение получили оптимальный и субоптимальный регуляторы, обеспечивающие соответствие системы заданным критериям качества.

Целью данной работы является проведение сравнительного анализа эффективности работы нечётких и классических УУ, в частности, субоптимальных регуляторов при решении задачи обеспечения курсовой устойчивости автомобиля.

**Описание системы.** Пусть двухосный автомобиль с задними ведущими колёсами движется в горизонтальной плоскости. Полагая продольную скорость постоянной, сформируем модель бокового движения в виде системы линейных дифференциальных уравнений вида [2]:

$$\begin{cases} \dot{X} = AX + B_1\theta + B_2\vartheta; \\ y = CX, \end{cases}$$

где матрицы  $A, B_1, B_2, C$  известны и имеют следующую структуру

$$A = \begin{pmatrix} -\frac{k_{yв.1}+k_{yв.2}}{m_a v_x} - \left(\frac{k_{yв.1}l_1 - k_{yв.2}l_2}{m_a v_x} + v_x\right) & 0 & 0 \\ -\frac{k_{yв.1}l_1 - k_{yв.2}l_2}{J_z v_x} & -\frac{k_{yв.1}l_1^2 + k_{yв.2}l_2^2}{J_z v_x} & 0 \\ 1 & 0 & v_x \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix}, B_1 = \begin{pmatrix} \frac{k_{yв.1}}{m_a} \\ \frac{k_{yв.1}l_1}{J_z} \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, B_2 = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix},$$

$$C = E,$$

где  $X$  – состояние,  $y$  – выход (координата бокового смещения ОУ),  $\theta$  – управление (угол поворота передних колёс),  $\vartheta$  – возмущающий сигнал,  $E$  – единичная матрица.

В таблице 1 представлены параметры автомобиля.

Таблица 1. – Параметры автомобиля.

параметр	значение
масса, кг	1269
колёсная база, м	2,4658
скорость, м/с	15
расстояние от центра масс до переднего моста, м	1,103
расстояние от центра масс до заднего моста, м	1,3628
момент инерции относительно центра масс, кг · м <sup>2</sup>	1200
коэффициент сопротивления уводу переднего моста, Н/рад	177566,4
коэффициент сопротивления уводу заднего моста, Н/рад	170760,6

Пусть в системе действует возмущающий сигнал  $\vartheta(t) = M_n$  – равномерно распределённая на промежутке  $[-1, 1]$  случайная величина. Как видно по результатам численного эксперимента на рисунке 1, объект управления (ОУ) значительно отклонился от первоначальной траектории движения, что является недопустимым. Следовательно, для движения по заданной траектории требуется создание УУ.

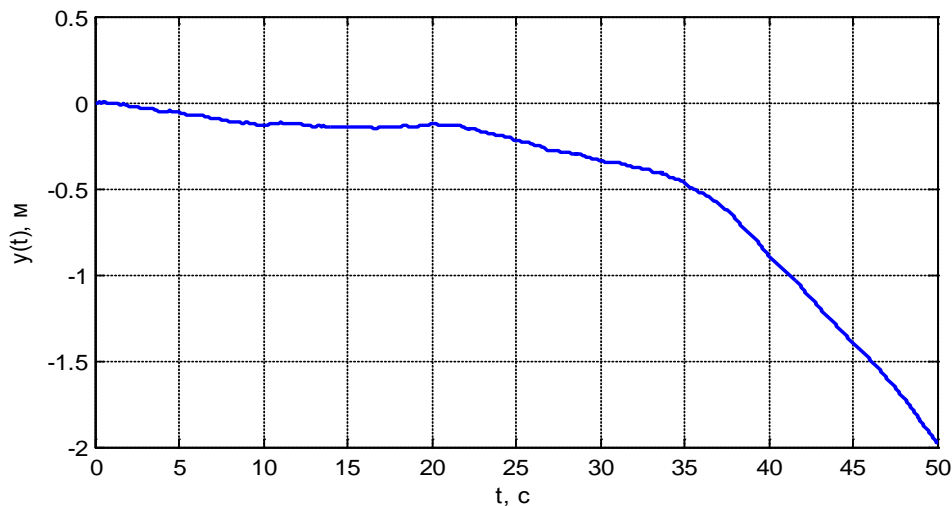


Рисунок 1. – Смещение центра масс автомобиля по оси Оу.

**Синтез нечёткого и субоптимального регуляторов.** Популярна точка зрения, что алгоритмы, базирующиеся на нечёткой логике, обеспечивают более эффективное регулирование по сравнению с алгоритмическими решениями классической теории регулирования [3].

В качестве входных лингвистических переменных берутся величина смещения центра масс автомобиля и курсовой угол, а в качестве выходной – угол поворота передних колёс  $\theta$ .

Проведя расчёты с использованием пакета LMI ControlToolbox [4], получим следующие параметры субоптимального регулятора при заданном значении  $\gamma = 0.1$

$$\Theta = 10^3 \cdot (-0.1636 \quad 0.0312 \quad -1.0733 \quad -2.6708).$$

Графики смещения центра масс автомобиля при нечётком и субоптимальном регулировании показаны на рисунке 2.

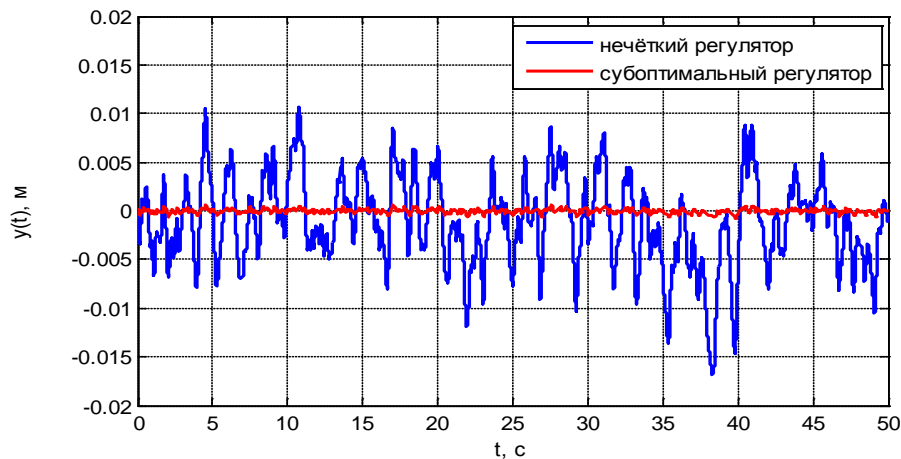


Рисунок 2. – Смещение центра масс автомобиля по оси Oy при включенных в систему УУ.

Как видно, уровень гашения возмущений, обеспечиваемый субоптимальным регулятором, оказывается значительно выше уровня, полученного при нечётком регулировании.

**Сравнительный анализ робастной устойчивости.** При практическом использовании автомобиля со временем все его узлы испытывают на себе износ, что в математической модели отражается некоторым изменением исходных параметров системы. Для систем автоматического управления наличие неопределённости в параметрах ОУ может явиться причиной возникновения нежелательных колебаний в системе и даже полной потери устойчивости, поэтому робастная устойчивость является одной из важнейших характеристик УУ [5]. Так, например, от характеристик шин зависят реакция автомобиля на резкий поворот управляемых колёс, курсовая устойчивость, избыточная или недостаточная поворачиваемость при высоких боковых ускорениях [6]. Главной задачей робастного управления является синтез такого УУ, которое бы обеспечивало сохранение выходного сигнала в заданных допустимых пределах, несмотря на некоторую неопределённость в исходных параметрах системы.



Рисунок 3. – Смещение центра масс нагруженного и ненагруженного автомобилей при нечётком управлении.

Помимо износа существуют и другие причины изменения исходных параметров системы. Так, например, масса и продольная скорость движения автомобиля постоянно изменяются.

Пусть к номинальной массе автомобиля  $m_a$  будет добавлена масса груза  $m_{гр} = 300$  кг. Графики смещения центра масс автомобиля с полезным грузом и без нагрузки представлены на рисунках 3 и 4.

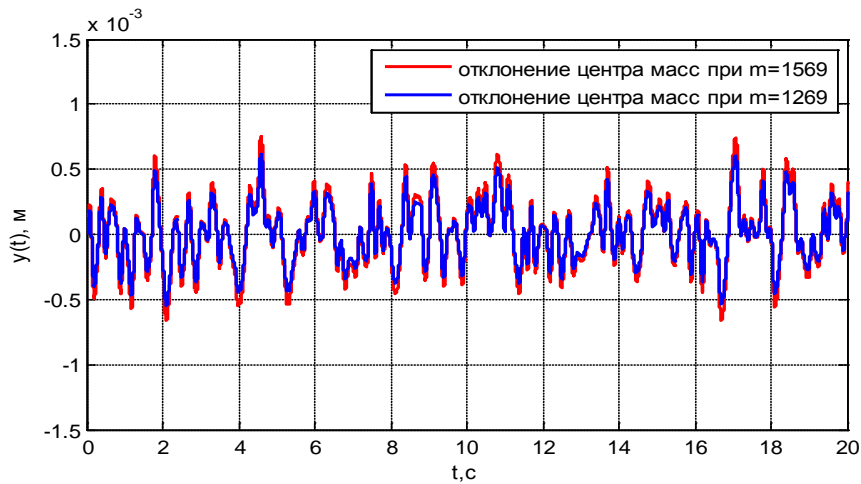


Рисунок 4. – Смещение центра масс нагруженного и ненагруженного автомобилей с субоптимальным УУ.

Графики смещения центра масс автомобиля для различных скоростей представлены на рисунках 5 и 6.



Рисунок 5. – Смещение центра масс автомобиля с нечётким УУ на разных скоростях.



Рисунок 6. – Смещение центра масс автомобиля с субоптимальным УУ при движении с разными продольными скоростями.

Таким образом, как регулятор, основанный на нечёткой логике, так и субоптимальный регулятор имеют достаточно высокий уровень робастной устойчивости. Приведённые выше

графики иллюстрируют, что по данному показателю субоптимальный регулятор не уступает нечёткому УУ.

**Заключение.** В рамках данной работы был проведён сравнительный анализ эффективности и робастной устойчивости нечёткого и субоптимального управляющих устройств для решения задачи обеспечения курсовой устойчивости автомобиля. Исходя из полученных результатов, субоптимальный регулятор обеспечивает значительно большую степень гашения внешних возмущений и обладает не меньшим уровнем робастной устойчивости.

**Благодарность.** Выражаю благодарность за помощь при выполнении работы и подготовке публикации кандидату технических наук, доценту кафедры системного анализа и информатики Демьянову Дмитрию Николаевичу.

#### Список литературы

- 1) Алексеев К.Б. Сравнительный анализ предикторного и нечеткого управления движением автомобиля / К.Б. Алексеев, А.А. Малявин, К.А. Палагута // Мехатроника, автоматизация, управление. М.: Новые технологии. 2009. №5. С.36-45.
- 2) Тарасик В.П. Теория движения автомобиля: учебник для вузов. СПб.: БХВ-Петербург, 2006. 478 с.
- 3) Проблемы управления и моделирования в сложных системах: Труды XIII Международной конференции (15-27 июня 2011 г. Самара, Россия) / Под ред.: акад. Е.А. Федосова, акад. Н.А. Кузнецова, проф. В.А. Виттиха. Самара: Самарский научный центр РАН, 2011. 588 с.
- 4) Баландин Д.В., Коган М.М. Синтез законов управления на основе линейных матричных неравенств. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007. 280 с.
- 5) Методы классической и современной теории автоматического управления: Учебник в 5-и тт.; 2-е изд., перераб. и доп. Т.3.: Синтез регуляторов систем автоматического управления / Под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 616 с.; ил.
- 6) Медведицков С.И. Влияние износа шин легкового автомобиля на его реакцию при выполнении маневра «Рывок руля» / С.И. Медведицков, Р.О. Филиповец // Известия ВолгГТУ. 2014. №3. С.27-30.