

РАЗНОЕ

621.70

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ ПОВОРОТОМ КОЛЁС ЗАДНЕЙ ОСИ АВТОМОБИЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ НЕЧЁТКОЙ ЛОГИКИ (FUZZY LOGIC) ПРИ ФОРМУЛЕ РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ 1-0-3

Асн. В.А. ГОРЕЛОВ

Обоснована актуальность разработки нового алгоритма управления колёсами задней оси автомобиля при формуле рулевого управления 1-0-3. Рассмотрены известные законы, реализованные на колёсных машинах такого класса, приведено их математическое обоснование и результаты теоретических исследований при выполнении манёвра «Поворот R=25 м». Подробно описан разработанный алгоритм управления поворотом колёс задней оси с применением fuzzy logic.

The urgency of development of new steering algorithm for the automobile's formula of steering 1-0-3 by wheels of a back axis is proved. The known laws which use on the wheel vehicles of such class are considered, their mathematical substantiation and results of theoretical researches at performance of maneuver «Turn R=25 m» are represented. The developed algorithm of steering by wheels of a back axis with using fuzzy logic is in detail described.

В настоящее время в РФ эксплуатируются полноприводные шасси с равномерным распределением осей по базе и поворотными передними и задними колёсами (БАЗ-5922, БАЗ-5937, БАЗ-5939, ЗИЛ-4906, ЗИЛ-497205, ЗИЛ-4975), предназначенные для выполнения различных задач (монтаж вооружения, поисковые операции и др.) [1]. Следует отметить, что интерес к такому классу машин возрастает в силу широких возможностей по манёвренности, обусловленных использованием, наряду с передними, ещё и задних управляемых колёс, а также всеколёсного управления. Актуальна модернизация рулевого управления таких автомобилей, так как устойчивость и управляемость является ограничивающим фактором повышения их быстроходности. В этой связи, разработка алгоритма управления поворотом колёс задней оси, направленного на повышение устойчивости и управляемости, представляется важной исследовательской задачей. Созданная для имитационного моделирования на ЭВМ математическая модель позволяет прогнозировать характеристики криволинейного движения автомобиля с колёсной формулой 6×6 и равномерным распределением осей по базе при различных законах управления поворотом колёс задней оси [2]. В настоящее время для автомобилей с формулой рулевого управления 1-0-3 известны два закона управления поворотом колёс. В первом случае углы поворота колёс передней и задней осей равны друг другу (в дальнейшем такой закон управления будем называть «Без запаздывания»), во втором случае поворот колёс задней оси начинается после превышения задающим колесом передней оси некоторого порогового угла, называемого углом запаздывания, (в дальнейшем этот закон будем именовать «С запаздыванием») [3].

Для всеколёсного управления наиболее обоснованными являются законы с регулированием смещения полюса поворота в зависимости от угла поворота задающего колеса (РСП У) и в зависимости от угла поворота задающего колеса и скорости движения (РСП УС). Рассмотрим математическое описание и реализацию в модели данных законов.

Закон управления поворотом колёс задней оси «Без запаздывания»

Преимущества по манёвренности в данном случае очевидны по сравнению с конструкциями,

где колёса задних осей не поворачиваются, однако, следует отметить и недостатки, связанные с низкой устойчивостью при выполнении манёвров [4].

Рассмотрим кинематику поворота при данном законе управления. В этом случае средняя ось неповоротная. Полнос поворота находится в центре базы. Рулевая трапеция для первой оси задаётся следующим образом. Предполагается, что известен угол поворота правого переднего колеса $\theta_{к2}$ (рис.1). Тогда расстояние до полюса поворота P , являющееся теоретическим радиусом поворота, при равенстве углов поворота колёс передней и задней осей, определяется так:

$$R_m = \frac{L/2}{\operatorname{tg}(\theta_{к2})} + B/2 \quad (1)$$

где L - база автомобиля, B - колея автомобиля. Угол поворота колеса 1 рассчитывается по зависимости:

$$\operatorname{tg}(\theta_{к1}) = \frac{L/2}{R_m + B/2} \quad (2)$$

Углы поворота колёс задней оси принимаются равными по величине и противоположными по направлению углам поворота колёс передней оси.

Закон управления поворотом колёс задней оси «С запаздыванием»

Для исключения известного явления смены направления увода на управляемых колёсах задней оси при входе в поворот, что является одной из важнейших причин потери устойчивости [4], предложен специальный привод управления этими колёсами, который должен обеспечивать запаздывание поворота колёс задней оси относительно передних на угол около 0,1 рад ($5^\circ \dots 6^\circ$) и иметь специальное стабилизирующее устройство, автоматически возвращающее задние колеса в нейтральное положение, соответствующее прямолинейному движению [3].

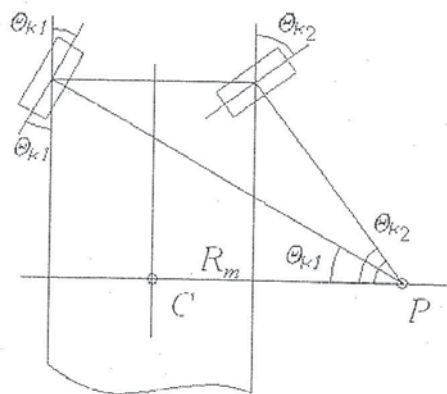


Рис.1. Кинематика поворота колёс передней оси

Изменение углов поворота колёс должно происходить в соответствии с зависимостями, представленными на рис.2. Прямая 1 иллюстрирует изменение углов поворота колёс передней оси. Угол поворота колёс задней оси должен изменяться по прямой 2, исходящей не из начала координат, а из точки $\theta_1 = 0,1 \text{ рад}$, т.е. при $\theta_1 = 0,1 \text{ рад}$, $\theta_2 = 0 \text{ рад}$ [3].

Важно подчеркнуть, что главная идея состоит именно в обеспечении запаздывания, а не простого отставания поворота задних колёс (одновременный поворот с меньшей скоростью). Однако, применение запаздывания ведет к рассогласованию кинематики поворота из-за того, что колеса задних управля-

емых осей практически во всем диапазоне углов поворота образуют свой мгновенный центр поворота O_{II}^T, O_3^T , а единый центр поворота с колесами передних осей O^{II} образуется за счет дополнительного увода шин (рис.3). Отрицательным является и то, что скорость нарастания поворота задних колёс оказывается выше, чем у передних, для совпадения максимальных углов поворота в точке A (рис.2). Это необходимо для обеспечения кинематики поворота без скольжения при маневрировании с минимально возможным радиусом поворота. Для практической реализации данного закона предложена кинематическая схема для формулы рулевого управления 1-00-4, представленная на рис.3. Водитель через рулевое колесо и рулевой механизм $б$ воздействует на гидроклапан 7 , который управляет потоком жидкости гидроцилиндра 1 . При функционировании гидроцилиндра 1 приводятся в движение рулевые тяги, в результате чего поворачиваются колёса передней оси. Поворот задних колёс осуществляется за счёт работы гидроцилиндра 2 , давление жидкости в котором регулируется золотником 3 , связанным с рулевым механизмом через проушину 5 и стабилизатор 4 . В пределах поворота передних колёс на угол $0,1$ рад, проушина 5 обеспечивает свободный ход тяги. Пружина 4 держит задние колёса в нейтральном положении и не позволяет включать золотник 3 . После того, как холостой ход проушины 5 будет ликвидирован, начинается поворот колёс задней оси [5].

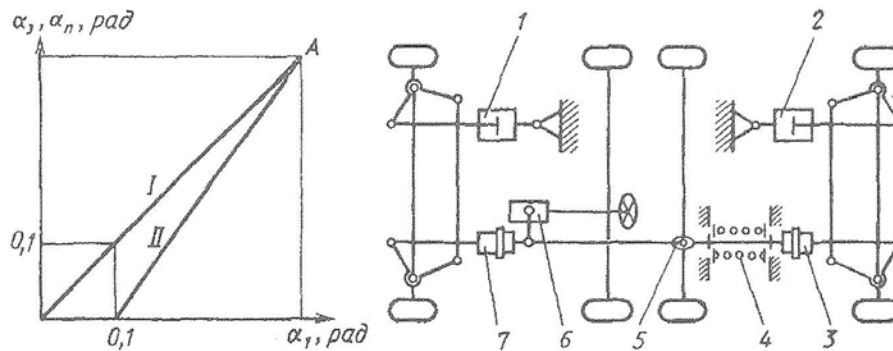


Рис.2. Зависимости изменения углов поворота колёс передней и задней осей и схема привода, реализующего запаздывание.

Угол поворота колёс задней оси определяется по следующей зависимости:

$$\theta_{зад} = \frac{(\theta_{max} - \theta)}{(\theta_{max} - \theta_{зад})} \cdot \theta_{max} \quad (3)$$

Рулевая трапеция для передней и задней оси задаётся из предположения, что полюс поворота находится в центре базы автомобиля (так же, как и в случае с отсутствием запаздывания (см. рис.1)).

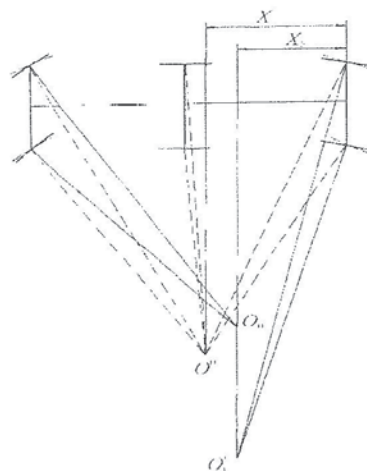


Рис.3. Кинематика поворота

Законы управления поворотом колёс «РСР У» и «РСР УС»

В 1990-е годы в МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с 21-ым НИИИ МО РФ был создан макетный образец шасси МЗКТ 79085 (8×8) со всеми управляемыми колесами, способный реализовывать поворот относительно произвольного полюса. Поворот колес на этом макете осуществляется электрогидравлическим следящим приводом. На этом макете была реализована система рулевого управления с «гибкой» геометрией, разработанная на кафедре «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана. В результате проведенных научных исследований был разработан алгоритм управления поворотными колёсами с заложенными в его основу новейшими достижениями теории движения колесных машин. Выбор такого закона управления основан на анализе результатов обширных теоретических исследований и практике зарубежных и отечественных автомобильных фирм, а также расчетах, проведенных для различных видов этих законов Н.М. Назаровым и В.Г. Корниловым [6]. По результатам предварительных исследований было предложено остановиться на двух вариантах закона управления.

В первом варианте регулирование соотношения углов поворота передних и задних колес осуществляется в зависимости от угла поворота передних колес и скорости движения. На большой скорости при малых углах поворота передних колес, колеса задних осей поворачиваются в ту же сторону, что и передние (синфазно). По мере увеличения кривизны траектории и уменьшения скорости движения колеса задних осей поворачиваются в противоположную сторону относительно передних (в противофазе). Зависимость смещения полюса поворота X_p для данного случая

$$X_p = L \cdot \left[\frac{\theta_p^k \cdot K_{x\max}}{|\theta_{\max}|^k} + \frac{V_x^m \cdot K_{xu}}{V_{x\max}^m} \right] \quad (4)$$

Где $K_{x\max}$ - коэффициент, характеризующий исходное смещение полюса «внутри» базы;

$$K_{xu} = \frac{|\theta_{\min}|^k \cdot K_{x\max}}{|\theta_{\min}|^k - |\theta_{\max}|^k} \quad - \text{коэффициент, характеризующий смещение полюса за пределы базы;}$$

k, m – параметры, введенные для исследовательских целей;

θ_{\max} - максимальный угол поворота задающего колеса, обусловленный конструктивными ограничениями

; θ_p - угол задающего колеса (средний угол на передней оси);

$V_{x\max}$ - максимально возможная скорость движения;

V_x - линейная скорость автомобиля

Другой вариант отличается тем, что регулирование соотношения углов поворота передних и задних колес по скорости отсутствует. При таком законе смещение полюса поворота автомобиля X_p вдоль его базы L осуществляется в зависимости от задающего угла θ_p по следующей зависимости:

$$X_p = L \cdot \left[\frac{\theta_p^k \cdot K_{x\max}}{|\theta_{\max}|^k \cdot \left(1 - \frac{K_{xu}}{K_{xu} - K_{x\max}}\right)} + K_{xu} \right] \quad (5)$$

Понятно, что на малых скоростях движения синфазный поворот колёс не требуется, так как на первый план выходят требования по поворотливости и поворачиваемости. При таком режиме движения желательно, чтобы полюс поворота смещался в центр базы автомобиля. Точка A на рис.4 характеризует исходное положение полюса ($X_p = 0$) при бесконечно малой скорости движения. По мере увеличения задающего угла θ от начального значения до θ_{\max} , полюс рулевого управления перемещается в середину базы (точка B).

Для исследовательских целей предусмотрено перемещение полюса по различным видам траектории (кривые 1,2,3).

С увеличением скорости движения на первый план выходят требования по устойчивости. В таких условиях необходим синфазный поворот колёс передней и задней оси в начале выполнения манёвра, плавно перетекающий в противофазный. Подобного эффекта можно достичь, переместив семейство кривых AB в положение $A'B'$ [7].

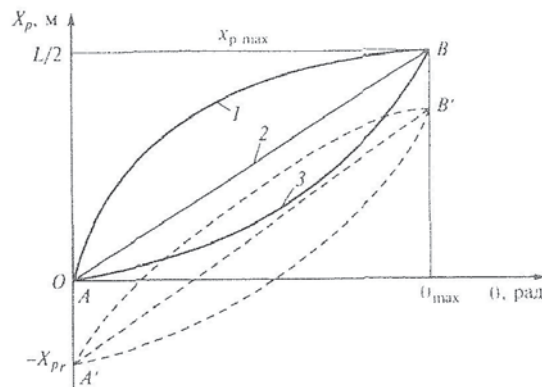


Рис.4. Варианты управления смещением полюса РУ

В математической модели при реализации этих законов угол поворота каждого из колёс формируется следующим образом. В качестве задающего угла θ_p , который является входным параметром при расчёте величины смещения полюса поворота X_p , принимается угол поворота условного колеса, находящегося в центре передней оси. Далее, после определения X_p , исходя из требуемой кинематики, рассчитываются необходимые углы поворота условных центральных колёс средней и задней оси. На заключительном этапе рассчитывают углы поворота для внутренних и наружных колёс каждой оси. Необходимо отметить, что теоретические и экспериментальные исследования законов управления «РСР У» и «РСР УС», были проведены только для многоосных специальных колёсных шасси. Данные для выбора рациональных величин различных параметров, например k и $\theta_{\text{зад}}$, в зависимости от длины базы автомобиля в разных источниках приводятся только для величины, превышающей семь метров. В связи с этим, отработка приведённых алгоритмов на автомобилях с другими колёсными и рулевыми формулами представляется интересной исследовательской задачей. На практике же применение рассмотренных законов для формулы рулевого управления 1-0-3 связано с рядом сложностей, обусловленных необходимостью отказа от центральной неповоротной оси и созданием для каждого колеса в отдельности автономного привода управления. Ещё одним существенным недостатком применения данных законов является повышение требований к квалификации водителя, так как управлять транспортными средствами с подобными схемами рулевого управления практически невозможно без специальной подготовки.

Проведённые теоретические исследования с использованием математического моделирования криволинейного движения колёсной машины для четырёх представленных законов подтвердили их положительные и отрицательные свойства, выявленные ранее теоретически и подтверждённые экспериментально.

В качестве критерия оценки качества выполнения манёвра «Поворот R=25 м», соответствующего стандартизированным испытаниям на устойчивость и управляемость, на опорном основании

«грунтовое основание», была выбрана предельно возможная скорость его выполнения. В качестве регистрируемых параметров, отличающихся наибольшей информативностью, приняты следующие величины:

V - начальная скорость прямолинейного движения;

$V_{уст}^p$ - установившаяся при выполнении манёвра скорость;

$R_{ф}$ - фактический радиус поворота;

ω - угловая скорость поворота автомобиля;

a_y - поперечное ускорение центра масс автомобиля;

$N_{ав}$ - мощность двигателя, необходимая для выполнения манёвра;

θ_p - угол поворота задающего колеса.

С небольшим заносом манёвр удалось выполнить со скоростями, представленными в табл. 1. При дальнейшем увеличении скорости манёвр оказывается невыполнимым, увеличение поворота управляемых колёс приводит только к заносу автомобиля, в большей или меньшей степени в зависимости от закона. Следует отметить, что боковое ускорение для критических скоростей движения при всех законах очень велико. Порогом неприятных ощущений водителя является ускорение $0,3g$, поэтому в реальных условиях маневрирование с такими скоростями опасно.

Таблица 1

Закон \ Параметр	V_a , км/ч	$V_{уст}$, км/ч	$R_{ф}$, м	ω , рад/с	a_y , м/с ²	$N_{ав}$, кВт	θ_p , град
«Без запаздывания»	46	44,9	24,6	0,5	6,3	29,2	6,7
«С запаздыванием»	45	44,2	25,9	0,47	5,81	26	8,5
«РСР У»	48	46,5	25,7	0,52	6,49	35	12
«РСР УС»	48	46,6	25,9	0,5	6,47	34,3	12,5

По обеспечению устойчивости, особенно при высоких скоростях движения, наиболее благоприятным является закон «РСР УС», в случае, когда на первый план выходят показатели манёвренности, целесообразно стремиться к характеристикам, которые позволяют получить применение закона «Без запаздывания». Анализ доступных источников по данной тематике, а также проведённые теоретические исследования по представленным алгоритмам, подтвердили актуальность выбранного пути исследований, направленного на разработку новых универсальных алгоритмов управления задними колёсами для различных типов автомобилей, в том числе, и при формуле рулевого управления 1-0-3.

Е.А. Чудаков в [8] сформулировал понятие «управляемость» как способность автомобиля точно следовать повороту управляемых колёс. Определение это, как отмечают другие исследователи, обладает некоторыми недостатками, в частности, присутствует неопределённость требования «точно следовать». Неоднозначность между параметрами движения и углами поворота управляемых колёс обусловлена наличием бокового увода, а также различными условиями движения (разная скорость, действие внешних сил и т.д.). К тому же, водитель о повороте колёс может судить только косвенно (по углу поворота рулевого колеса) и ориентируется в своих действиях по управлению не по углу поворота управляемых колёс, а по характеру движения в повороте. Поэтому данную формулировку управляемости нельзя принять в качестве определения, однако основная идея является верной: направление реального движения должно всегда стремиться к совпадению с желаемым, задаваемым водителем путём поворота рулевого колеса.

В этой связи, в качестве двух оценочных параметров качества выполнения манёвра были выбраны теоретический (R_m) и фактический ($R_{ф}$) радиусы поворота. Тогда критерий, к которому должна стремиться работа системы управления, выглядит так: $R_{ф} \rightarrow R_m$, т.е. фактический радиус должен стремиться соответствовать теоретическому (исходя из определения, предложенного Е.А. Чудаковым).

Теоретический радиус поворота при формуле рулевого управления 1-0-3 (рис.1) можно рассчитать по формуле (1).

Фактический радиус определяем по формуле:

$$R_{\phi} = V_c / \omega_z \tag{6}$$

где V_c - линейная скорость автомобиля,
 ω_z - угловая скорость поворота шасси.

Затруднение состоит в невозможности точно определять линейную скорость, что на данный период является одной из основных проблем при создании систем активной безопасности. В качестве допущения примем, что линейная скорость равна произведению угловой скорости двигателя $\omega_{ов}$ с учётом передаточного отношения трансмиссии на свободный радиус качения колеса $r_{ко}$. Тогда, заменив R_{ϕ} на $k_{\phi} = 1/r_{ко}$, и, принимая, что для малых углов $tg(\theta) = \theta$, запишем выражения для определения угла поворота условного колеса в центре задней оси:

$$\theta_{зад} = k_{\phi} \cdot L/2 \tag{7}$$

Исходя из кинематических соотношений, определяющих рулевую трапецию, можно рассчитать углы поворота колёс задней оси на внутреннем и наружном бортах.

Полученные результаты математического моделирования при реализации предложенного закона в среде MATLAB [2], представлены в табл.2. Рис.5 иллюстрирует характер изменения углов поворота управляемых колёс при начальной скорости движения 47 км/ч.

Таблица 2

V_o , км/ч	$V_{уст}$, км/ч	R , м	ω , рад/с	a_y , м/с ²	$N_{об}$, кВт	θ_p , град
47	45,9	26	0,49	6,25	29,5	7,3

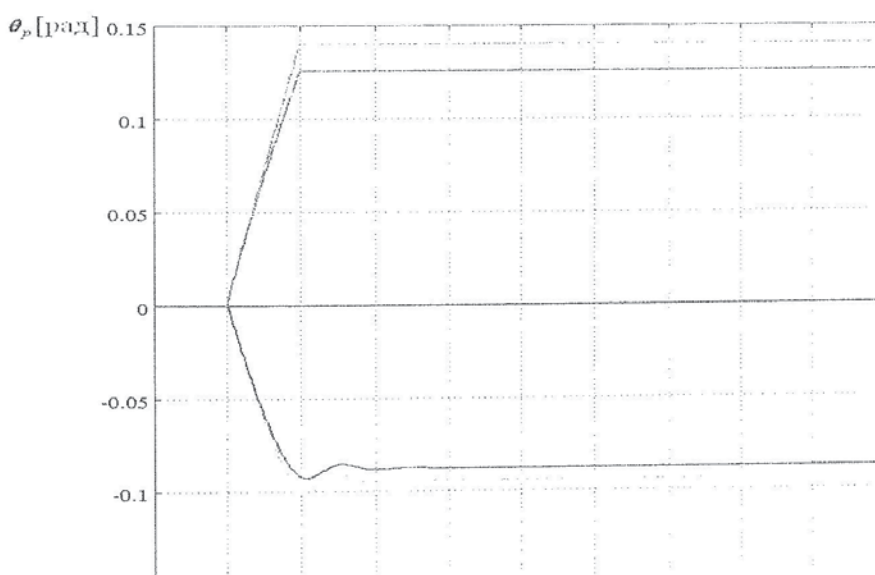


Рис.5. Углы поворота колёс

Анализ результатов позволил сделать следующие выводы: данный закон обеспечивает предельную скорость выполнения манёвра «Поворот R=25» на грунтовом основании практически на таком же уровне, что и при функционировании лучшего по этому критерию из известных и исследованных ранее законов; при использовании данного закона при увеличении скорости движения и довороте

рулевого колеса потеря управляемого движения не наступает, т.е. движения всегда устойчиво. Однако, в таком случае система реагирует на рассогласование между теоретическим и фактическим радиусом только по обеспечению устойчивости, основной же критерий по управляемости ($R_{\phi} \rightarrow R_m$) на высоких скоростях не выполняется. Очевидно, что в системе управления должно быть осуществлено автоматическое управление педалью «Газ», т.е. скоростью движения.

Предложенный алгоритм управления двигателем основан на использовании «Fuzzy Logic» (нечёткой логики). В качестве входных сигналов fuzzy-контроллера выбраны две величины: разница между фактическим и теоретическим радиусами поворота

$$d_R = R_{\phi} - R_m = \frac{V_c}{\omega_z} - \frac{L/2}{\operatorname{tg}(\theta_{k2}) + B/2}$$

и поперечное ускорение a_y (регистрируется его абсолютное значение). Выходным параметром контроллера является d_h - управление изменением скорости движения машины.

Для входных и выходной величин были составлены функции принадлежности сигналов (см. рис.6 и 7), описывающие следующие лингвистические значения: ΔR - отрицательно велико («--»), отрицательно мало («-»), нуль («0»), положительно мало («+»), положительно велико («++»), a_y - малое («0»), среднее («+»), большое («++»). Δh - уменьшаем быстро («--»), уменьшаем медленно («-»), не изменяем («0»), добавляем медленно («+»), добавляем быстро («++»).

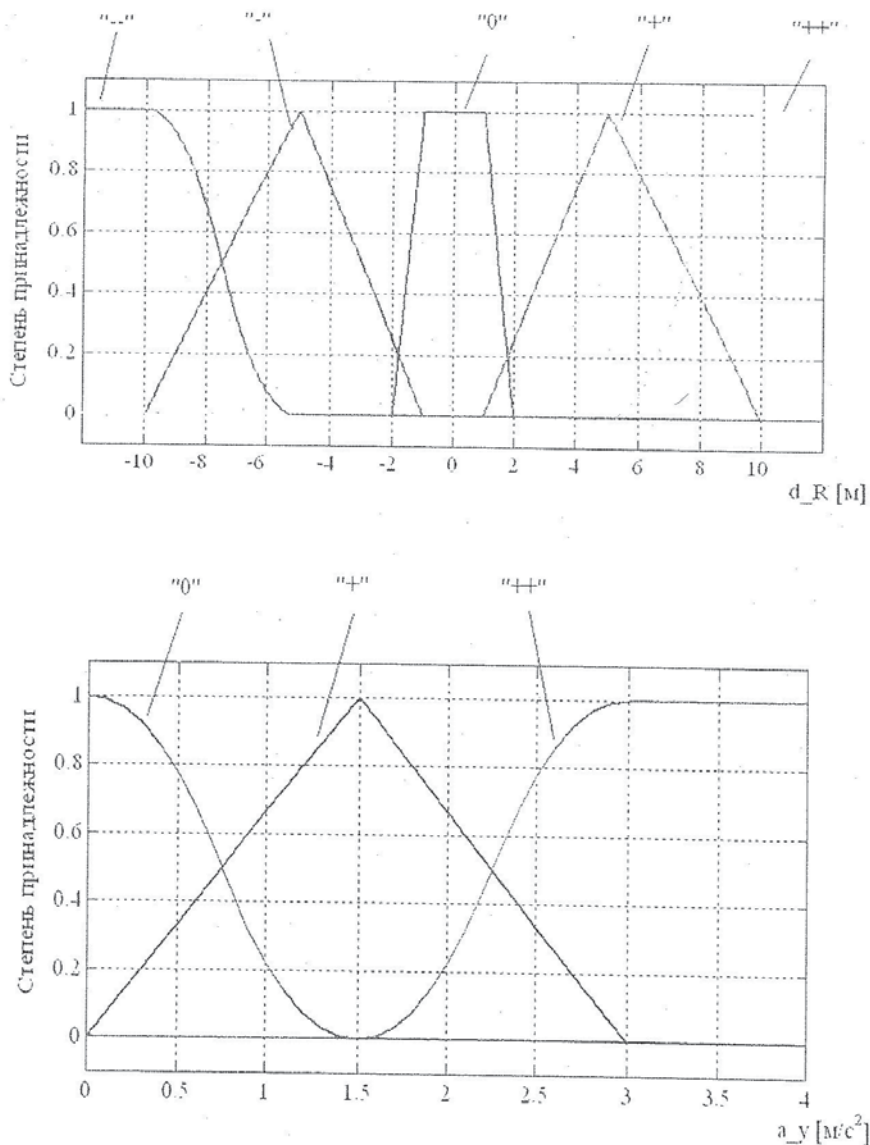


Рис.6. Функции принадлежности входных сигналов

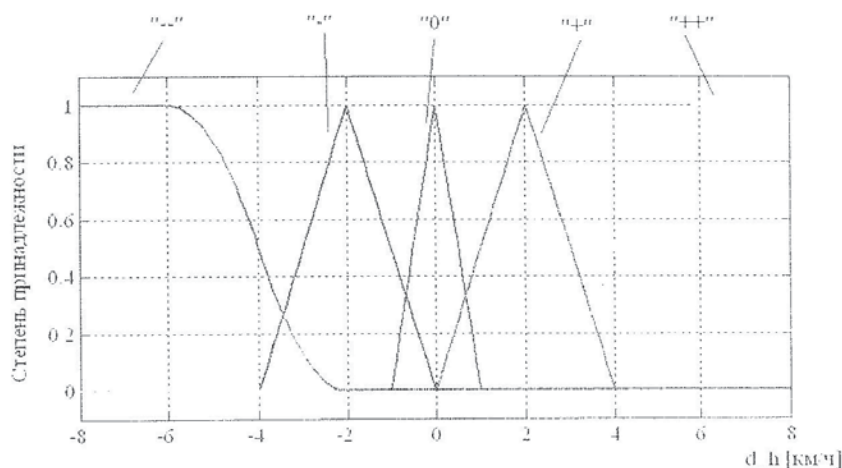


Рис. 7. Функции принадлежности выходного сигнала

На основании выбранных значений были составлены 12 лингвистических правил, которые связывают входные параметры с выходной величиной, с описанием режима движения для каждого случая (табл. 3).

Таблица 3

№	ΔR	a_y	Δh	Описание режима движения
1	++	0	--	Большой занос на высокой скорости. Боковое ускорение очень мало, значит опорное основание с низкими сцепными свойствами. Необходимо резко сбрасывать «газ».
2	++	+	--	Большой занос на высокой скорости. Боковое ускорение имеет среднее значение, значит, опорное основание характеризуется небольшим коэф-ом сцепления. Необходимо резко сбрасывать «газ».
3	++	++	--	Большой занос на высокой скорости. Боковое ускорение имеет большое значение, значит, опорное основание характеризуется высоким коэф-ом сцепления. Опасность опрокидывания. Необходимо резко сбрасывать «газ».
4	+	0	--	Небольшой занос (скорость или высокая, или средняя). Боковое ускорение очень мало, значит опорное основание с низкими сцепными свойствами. Необходимо резко сбрасывать «газ».
5	+	+	-	Небольшой занос (скорость или высокая, или средняя). Боковое ускорение среднее, значит, опорное основание характеризуется небольшим коэф-ом сцепления или скорость невелика. Необходимо плавно сбрасывать «газ».
6	+	++	--	Небольшой занос (скорость или высокая, или средняя). Боковое ускорение велико, значит, опорное основание характеризуется большим коэф-ом сцепления. Опасность опрокидывания. Необходимо резко сбрасывать «газ».
7	0	0	+	Автомобиль выполняет заданную траекторию на очень маленькой скорости. Можно плавно добавить «газ».
8	0	+	0	Автомобиль выполняет заданную траекторию при среднем значении бокового ускорения. Не изменяем положение органов управления.
9	0	++	-	Автомобиль выполняет заданную траекторию при большом значении бокового ускорения, значит, опорное основание характеризуется большим коэф-ом сцепления. Плавно сбрасываем «газ».
10	-	0	0	Небольшое верчение на маленькой скорости, так как боковое ускорение близко к нулю. Не изменяем положение органов управления. Верчение обусловлено особенностями конструкции.
11	-	+	-	Небольшое верчение при среднем значении бокового ускорения. Плавно сбрасываем «газ».
12	-	++	--	Небольшое верчение при большом значении бокового ускорения. Резко сбрасываем «газ».

В данном случае применён нечёткий логический вывод типа Мамдани, который основан на базе нечетких правил типа «Если x_1 =низкий и x_2 =средний, то y =высокий». Результирующее нечеткое множество получается в результате объединения (агрегатирования) нечетких множеств - результатов нечетких логических выводов по каждому правилу. Затем результирующее нечеткое множество дефаззифицируется по методу наибольшего значения (MoM) для получения четкого (числового) значения. Ниже представлены результаты численного моделирования движения автомобиля с реализацией предложенного алгоритма управления колёсами задней оси при выполнении манёвра «поворот $R=25$ м».

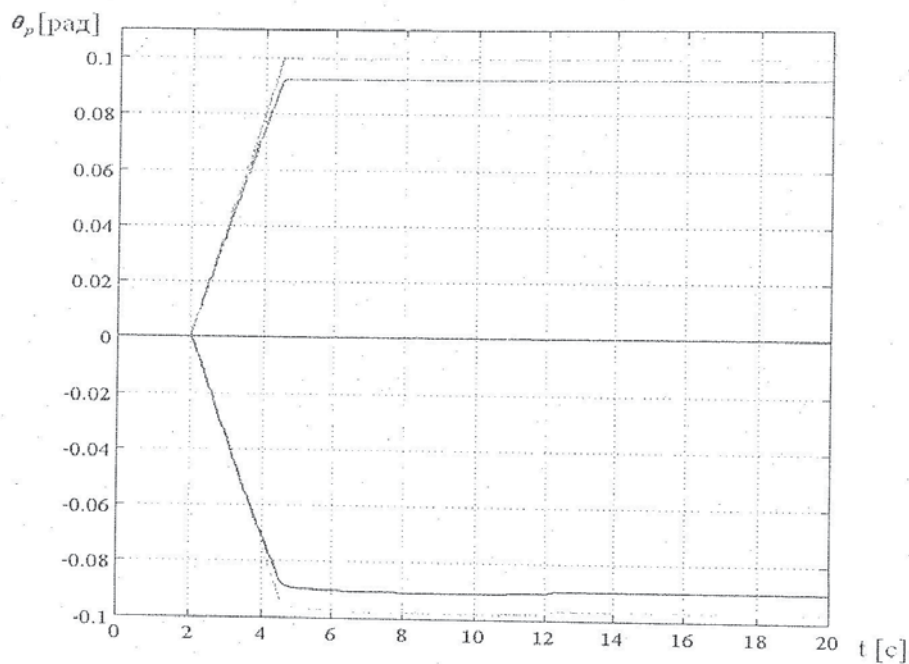


Рис.8. Углы поворота колёс.

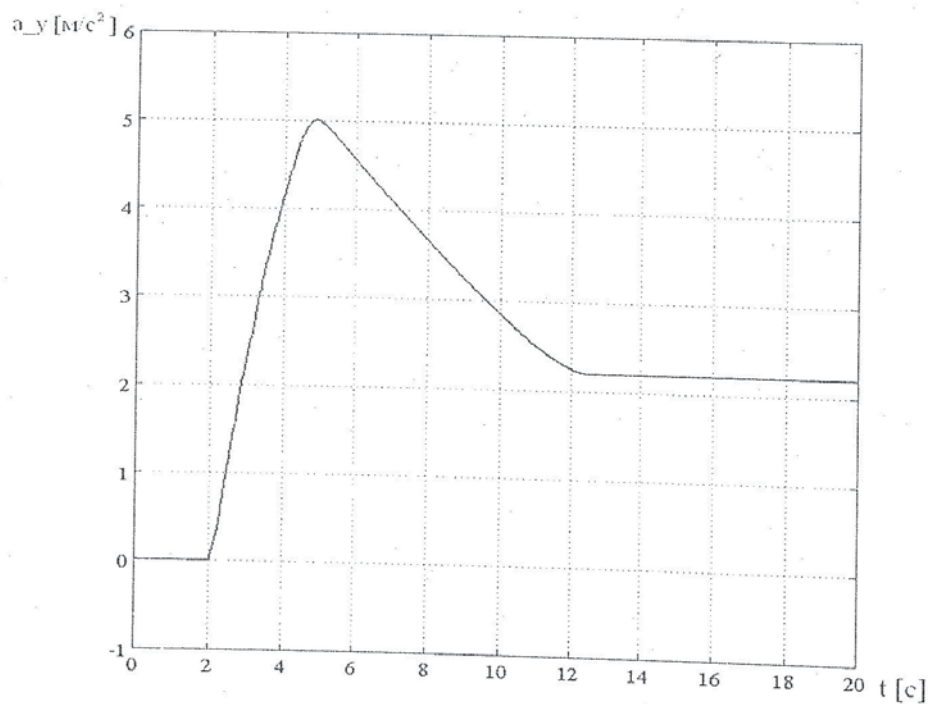


Рис.9. Поперечное ускорение центра масс автомобиля.

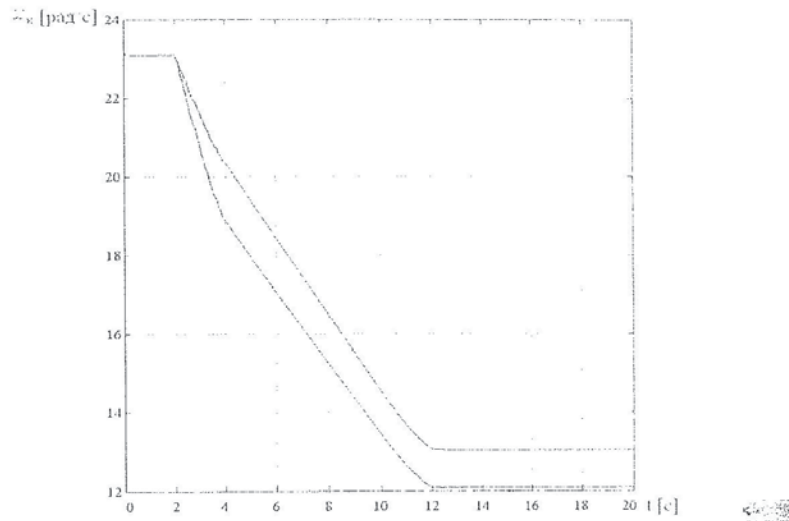


Рис. 10. Угловые скорости вращения колёс левого и правого борга.

Анализируя представленные графики, отметим, что система начала сбрасывать скорость уже в начале поворота. Очевидно, что до определённого момента реакция по сбросу скорости была обусловлена расхождением в радиусах поворота, в дальнейшем, система реагировала уже по поперечному ускорению, и сброс прекратился, когда оно достигло допустимого значения ($2,2 \text{ м/с}^2$ рис.9). Из графика, представленного на рис.10, видно, что до скорости $V = 47 \text{ км/ч}$, равной предельной по скорости выполнения манёвра, система сбросила «газ» примерно за 0.3 секунды. В табл.4 представлены данные для установившегося движения при начальной скорости $V_o = 50 \text{ км/ч}$.

Таблица 4

V_o , км/ч	$V_{уст}$, км/ч	R , м	ω , рад/с	a_y , м/с ²	$N_{об}$, кВт	θ_p , град
50	26,95	25,47	0,294	2,2	9,79	5,71

Для реализации предложенного алгоритма на практике система рулевого управления автомобиля должна быть оснащена датчиком угловой скорости поворота шасси, датчиками угловых скоростей колёс, датчиком поперечного ускорения, бортовым вычислителем, fuzzy-контроллером, и исполнительными устройствами, осуществляющими поворот колёс задней оси. Проведённые теоретические исследования криволинейного движения автомобиля при данном законе управления поворотом колёс задней оси и скоростью движения для различных условиях подтвердили его работоспособность и возможность получать более высокие показатели по устойчивости и управляемости при формуле рулевого управления 1-0-3 в сравнении с известными и исследованными ранее законами. Разработанный закон применим также и для формул рулевого управления 1-00-4 и 1-0-0-4, однако, правила для fuzzy-контроллера в каждом случае требуют корректировки с учётом массы автомобиля, длины базы, схемы трансмиссии и т.д. Дальнейшее совершенствование предложенного алгоритма с целью применения на автомобилях различного класса, а также для получения более совершенных характеристик по устойчивости и управляемости при рассмотренной формуле рулевого управления 1-0-3, представляется автору в уточнении лингвистических правил, а также функций принадлежности входных и выходных сигналов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тенденции развития колёсных шасси и тягачей военного назначения. Информационно-технический сборник. Под редакцией В.А. Полонского. – 2007. – 417с.
2. В.А. Горелов, Г.О. Котиев. Прогнозирование характеристик криволинейного движения автомобиля с колёсной формулой 6×6 при различных законах управления поворотом колёс задней оси. //Известия вузов, Машиностроение (М.). 2008. №1.
3. Аксенов П.В. Многоосные автомобили. – М.: Машиностроение, 1980. – 206с.
4. Антонов Д.А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей. – М.: Машиностроение, 1978. – 216с.
5. Антонов Д.А. Расчёт устойчивости движения многоосных автомобилей. – М.: Машиностроение, 1984. – 164с.
6. Корнилов В.Г. Повышение маневренности и устойчивости движения многоосных шасси: Дисс. канд. техн. наук: 05.05.03. – М., 1992. – 210 с.
7. Белоусов Б.Н., Попов С.Д. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности. Конструкция. Теория. Расчет / Под общ. ред. Б.Н. Белоусова. – М.: Из-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 728 с.: ил.
8. Чудаков Е. А. Теория автомобиля. – М.: Машгиз, 1950.