

УДК 629.3.017.3

В. А. Горелов, Г. О. Котиев,  
С. Л. Тропин

## “ВЕЕРНЫЙ” ЗАКОН ДЛЯ ВСЕКОЛЕСНОГО РУЛЕВОГО УПРАВЛЕНИЯ МНОГООСНЫХ КОЛЕСНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

*Обоснована актуальность использования систем всеколесного рулевого управления для многоосной колесной транспортной техники, описаны состояние проблемы и перспективные направления исследований. Представлен анализ эффективности известных законов всеколесного рулевого управления по результатам численного моделирования динамики колесной машины. Приведен новый закон всеколесного рулевого управления — “веерный” закон и некоторые результаты теоретических исследований, доказывающие эффективность закона при реализации в системах всеколесного рулевого управления многоосных колесных комплексов. Намечены направления дальнейших исследований.*

**E-mail:** gvas@mail.ru; kotievgo@yandex.ru;  
tropin@spectyazh.ru

**Ключевые слова:** закон управления, поворот, управляемость, устойчивость, математическая модель, имитационное моделирование, колесная машина, кривизна траектории.

Увеличение габаритных размеров и числа осей колесных транспортных средств приводит к снижению их маневренных свойств, что напрямую связано с выбором схемы рулевого управления (РУ). На сегодняшний день на современных многоосных шасси применяются в основном схемы РУ, в которых управляемыми являются колеса передних осей, причем тенденция такова, что с увеличением общего числа осей возрастает число передних осей, имеющих управляемые колеса [1].

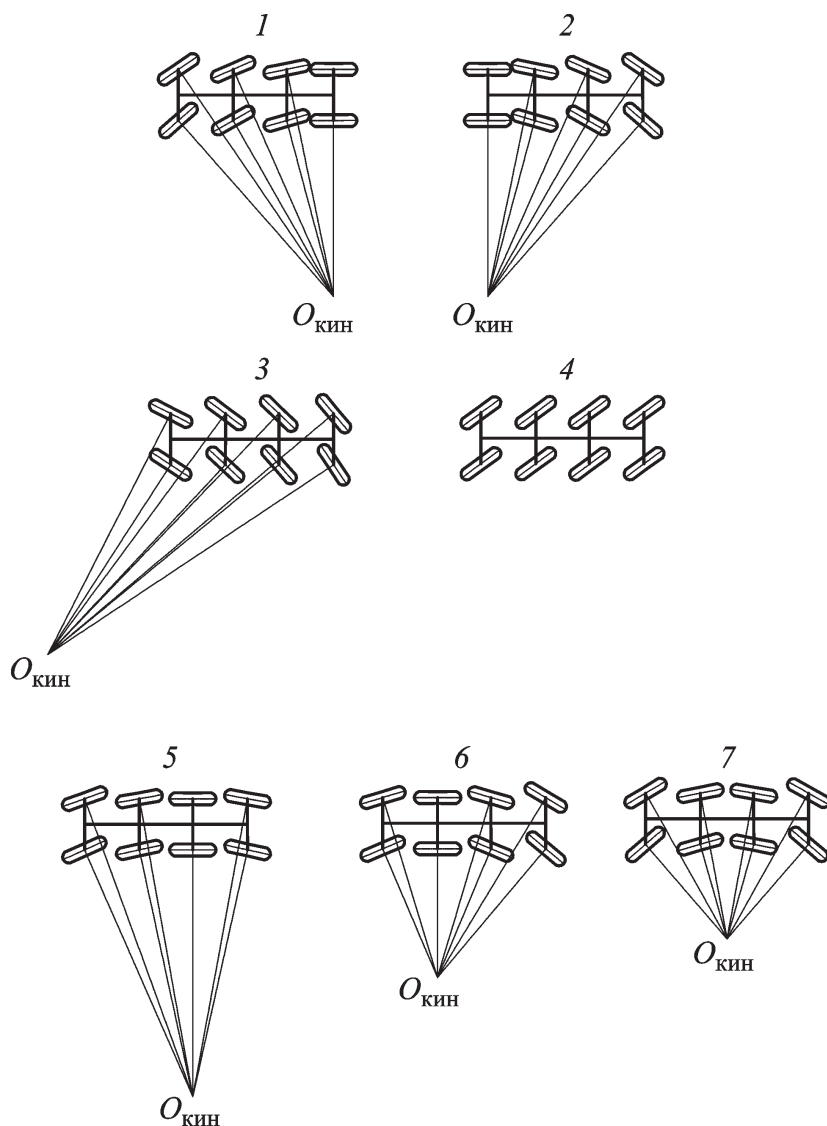
Существенным недостатком таких схем применительно к многоосной колесной технике являются повышенные затраты энергии при движении по криволинейным траекториям. Связано это с тем, что за счет неуправляемых колес задних осей создается большее сопротивление повороту шасси.

Одним из направлений решения проблемы улучшения маневренности многоосной колесной техники является применение в качестве управляемых, наряду с передними, еще и задних колес. Преимущества схем РУ с управляемыми колесами передних и задних осей по сравнению с традиционными схемами в отношении маневренности общеиз-

вестны, однако такие схемы имеют и существенный недостаток — снижается устойчивость при движении по криволинейным траекториям, что, в свою очередь, связано с вопросами обеспечения безопасности, так как рост скоростей движения, особенно при выполнении маневров, является тенденцией развития современного автомобилестроения.

В связи с этим совершенствование схем рулевого управления, а также разработка новых законов и алгоритмов для всеколесного рулевого управления (ВРУ), являются перспективным направлением для улучшения эксплуатационных характеристик многоосных транспортных средств.

На некоторых автомобилях с ВРУ реализована однозначная связь между углами поворота колес передних и задних осей. На рис. 1 показаны возможности маневренности колесной машины  $8 \times 8$  при фиксированном положении полюса рулевого управления (под которым понимается проекция кинематического центра поворота  $O_{кин}$  на базу автомобиля) в какой-либо заданной точке. Механический привод РУ не позволяет реализовать даже дискретное изменение водителем положения полюса РУ, поэтому точка полюса заранее определена и



**Рис. 1. Схемы поворота КМ с фиксированными положениями полюса РУ**

неизменна в процессе эксплуатации колесных машин с механическим приводом ВРУ.

Очевидно, что с точки зрения улучшения маневренности логично располагать полюс РУ в центре базы автомобиля (см. рис. 1, поз. 7). Преимущества по минимально возможному радиусу поворота в данном случае очевидны по сравнению с конструкциями, где колеса задних осей не поворачиваются или полюс лежит в какой-либо другой точке базы автомобиля. Однако главным недостатком таких автомобилей, что было выявлено в результате теоретических и экспериментальных исследований, проведенных Д.А. Антоновым, П.В. Аксеновым, Я.Е. Фаробиным и другими, является низкая устойчивость движения, особенно при переходных процессах [2, 3]. Известно, что в начале поворота возникают силы, деформирующие шины передних и задних колес в противоположных направлениях. При этом на передних колесах создаются стабилизирующие, а на задних — дестабилизирующие моменты. Одновременно при входе в поворот возникают центробежные силы, которые увеличивают стабилизирующие моменты на передних колесах и уменьшают (до нуля) дестабилизирующие моменты, а затем создают стабилизирующие силы на задних колесах. Эти кратковременные импульсы боковых реакций воспринимаются шинами как ударная нагрузка, способная привести в определенных условиях к потере сцепления колес с опорной поверхностью в боковом направлении и заносу. Таким образом, переменные по величине и направлению боковые реакции, возникающие на задних управляемых колесах, усложняют управление автомобилем в связи с необходимостью постоянной корректировки движения и, соответственно, повышенным вниманием водителя.

В качестве одного из способов борьбы с этим явлением было предложено применение запаздывания поворота колес задних осей относительно передних на угол  $\sim 0,1$  рад ( $5^\circ \dots 6^\circ$ ) [2, 3]. Важно подчеркнуть, что главная идея состоит именно в обеспечении запаздывания, а не простого отставания поворота задних колес (одновременный поворот с меньшей скоростью). Однако реализация такого алгоритма управления в конструкции ведет к рассогласованию кинематики поворота из-за того, что колеса задних управляемых 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  $O^H$  образуется вследствие дополнительного увода шин (рис. 2). Дополнительным минусом является и то, что скорость нарастания поворота задних колес оказывается выше, чем передних. Это необходимо для обеспечения кинематики поворота без скольжения при движении с минимальным радиусом.

Угол поворота колес задней оси “при запаздывании” определяется по зависимости

$$\theta_{\text{зад}} = \frac{(\theta_p - \theta_{\text{зап}}) \theta_{\text{max}}}{(\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{зап}})}, \quad (1)$$

где  $\theta_{\text{max}}$  — максимальный угол поворота задающего колеса, обусловленный конструктивными ограничениями.

В 1990-е годы в МГТУ им. Н.Э. Баумана совместно с НИИИ 21 МО РФ был создан макетный образец шасси МЗКТ 79085 (8 × 8) со всеми управляемыми колесами, способный осуществлять движение относительно произвольного полюса поворота (рис. 3). 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 зоне, соответствующей малым углам поворота рулевого колеса, т.е. движению, близкому к прямолинейному, что, как правило, характерно для высоких скоростей движения, машина имеет малую чувствительность к управлению и, следовательно, высокую курсовую устойчивость движения. При больших углах поворота рулевого колеса маневренные свойства резко возрастают.

Основная же задача алгоритма и разработанной на его основе программы управления – согласовать между собой углы поворота каждого колеса при выбранном способе управления. Этого позволяет добиться задатчик положения полюса поворота, который выполнен таким образом, что имеется возможность изменять его положение непрерывно, а не дискретно, как, например, у прицепных модулей “Кометто” (рис. 4, 5). Таким образом, применяемый алгоритм становится универсальным, способным реализовать практически любой способ управления транспортным средством.

Выбор такого закона управления основан на результатах большого числа 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 [1, 4]. По результатам предварительных исследований было предложено остановиться на двух вариантах закона управления.

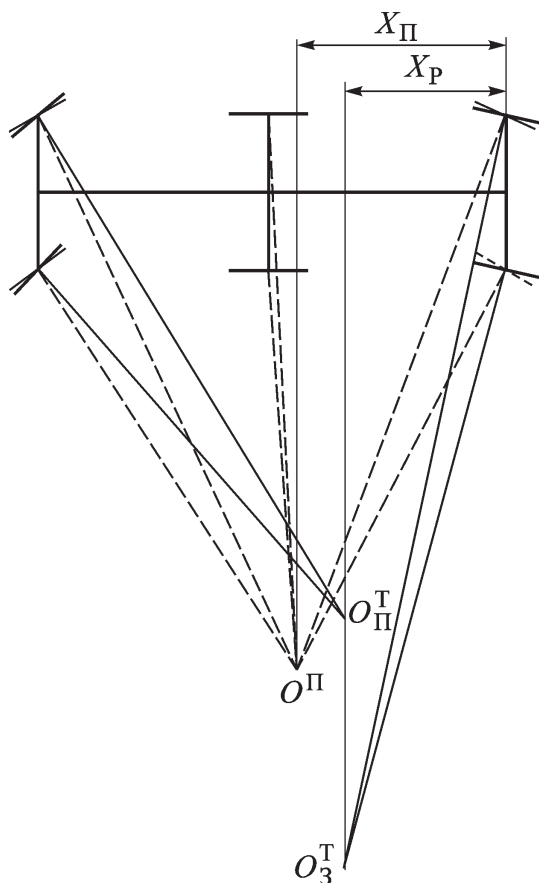
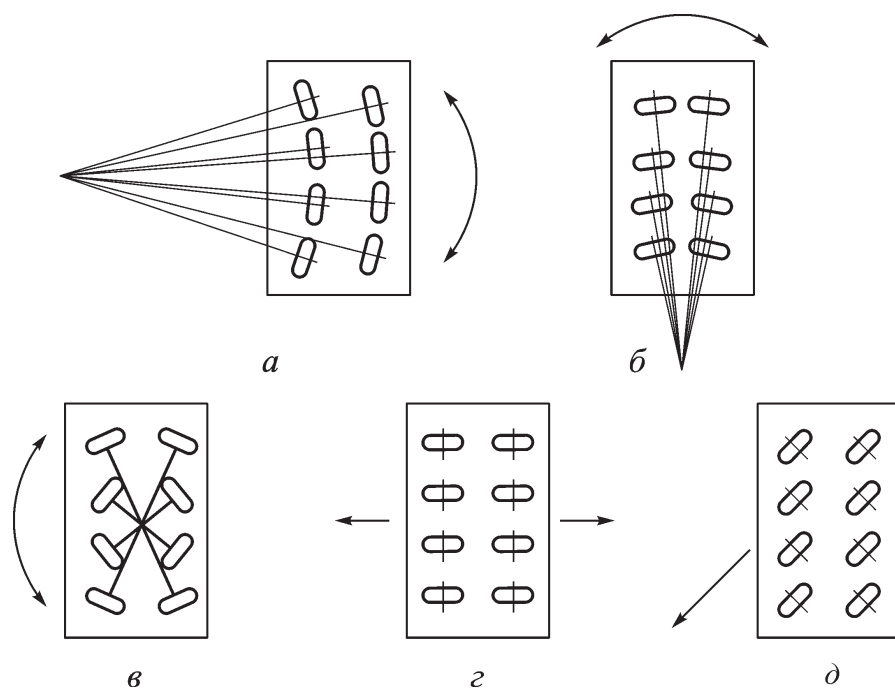


Рис. 2. Кинематика поворота



**Рис. 3. Общий вид шасси Э79085 в разных положениях**



**Рис. 4. Схемы поворота, реализуемые рулевым управлением многоопорного транспортного средства “Кометто”:**

*a* — классический поворот; *б* — боковой поворот; *в* — центральный поворот; *г, д* — крабовый ход



**Рис. 5. Общий вид модуля “Кометто”**

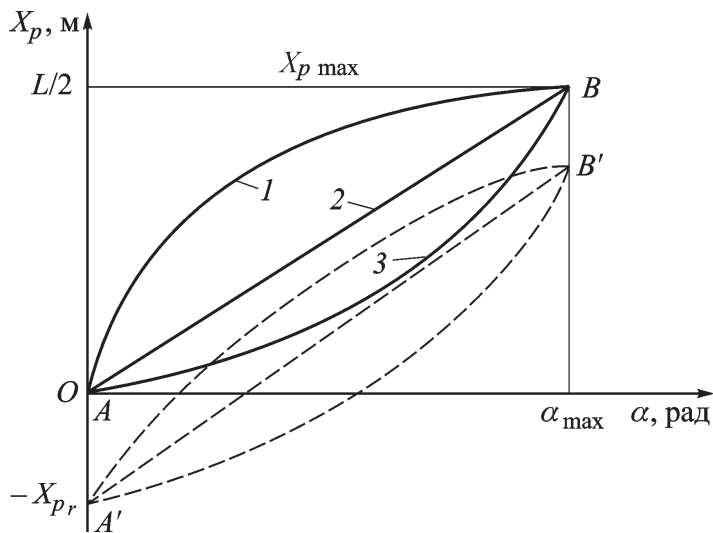


Рис. 6. Варианты смещения полюса РУ в центр базы

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 колеса (синфазно). По мере увеличения кривизны траектории и уменьшения скорости движения колеса задних осей поворачиваются в противоположную сторону относительно передних колес (в противофазе). Зависимость смещения полюса поворота  $X_p$  (рис. 6) для данного случая имеет вид:

$$X_p = L \left[ \frac{\theta_p^k K_{x \max}}{|\theta_{\max}|^k} + \frac{V_x^m K_{xu}}{V_{x \max}^m} \right], \quad (2)$$

где  $\theta_p$  — угол задающего колеса (средний угол на передней оси);  $K_{x \max}$  — коэффициент, характеризующий исходное смещение полюса внутри базы;  $K_{xu} = \frac{|\theta_{\text{зап}}|^k K_{x \max}}{|\theta_{\text{зап}}|^k - |\theta_{\max}|^k}$  — коэффициент, характеризующий смещение полюса за пределы базы;  $k$  и  $m$  — параметры, введенные для исследовательских целей;  $V_{x \max}$  — максимально возможная скорость движения;  $V_x$  — линейная скорость автомобиля.

Второй вариант отличается тем, что регулирование соотношения углов поворота передних и задних колес по скорости отсутствует. При функционировании данного закона смещение полюса поворота автомобиля  $X_p$  вдоль его базы  $L$  осуществляется в зависимости от задающего угла  $\theta_p$  по следующей зависимости:

$$X_p = L \left[ \frac{\theta_p^k K_{x \max}}{|\theta_{\max}|^k \left( 1 - \frac{K_{xu}}{K_{xu} - K_{x \max}} \right)} + K_{xu} \right]. \quad (3)$$

Графически варианты смещения полюса поворота вдоль базы автомобиля при разных законах функционирования системы (параболи-

ческом, линейном и гиперболическом) представлены на рис. 6. Штриховыми линиями выделен случай с синфазным поворотом колес всех осей.

Приведенные законы были реализованы в среде имитационного математического моделирования. В ходе теоретических исследований динамики колесных машин с различной колесной формулой проверена эффективность законов ВРУ для обеспечения устойчивости движения при одновременном увеличении скорости выполнения маневров в сравнении с традиционными схемами РУ [5].

В модели при данных законах угол поворота каждого колеса рассчитывается следующим образом. В качестве задающего угла  $\theta_p$ , который является входным параметром при расчете смещения полюса поворота  $X_p$ , принимается угол поворота условного колеса, находящегося в центре передней оси. Далее, после определения  $X_p$ , исходя из требуемой кинематики определяются необходимые углы поворота условных центральных колес всех осей. На заключительном этапе происходит расчет углов поворота для внутренних и наружных колес каждой оси.

На основе анализа полученных в ходе вычислительных экспериментов результатов были сделаны следующие выводы.

Закон с регулированием смещения полюса РУ в зависимости от угла поворота рулевого колеса и скорости движения (РСП\_УС) является более прогрессивным в сравнении со всеми другими законами. Однако результаты математического моделирования автомобилей с колесными формулами  $6 \times 6$  и  $8 \times 8$  при различных законах управления доказывают, что закон РСП\_УС какого-либо ощутимого преимущества по предельной скорости выполнения маневров в сравнении, например, с законом с регулированием смещения полюса РУ в зависимости от угла поворота рулевого колеса (РСП\_У), достичь не позволяет. В то же время применение закона РСП\_УС значительно повышает требования к квалификации водителя по следующей причине. При различной скорости движения поворот водителем рулевого колеса на один и тот же угол приводит к движению автомобиля по траекториям различной кривизны. Привыкание водителя к такому поведению автомобиля — это объективно очень долгий и трудный процесс. При одновременном отсутствии преимущества по предельным скоростям выполнения маневров целесообразность использования закона РСП\_УС подтверждений не находит.

В то же время выявлено, что законы РСП\_У и РСП\_УС позволяют существенно повысить безопасность выполнения маневров в сравнении с традиционными схемами РУ, в частности когда полюс РУ находится в центре базы автомобиля. Таким образом, напрашивается вывод о том, что наиболее предпочтительным является закон РСП\_У.



В работе [6] предлагается оригинальный закон управления поворотом колес задней оси (или нескольких задних осей). Доказана эффективность этого закона для автомобилей со схемами РУ 1-0-3 и 1-00-4. Отметим, что в данном случае речь идет скорее о подруливании задними осями для повышения устойчивости против заноса. В случае всеколесного рулевого управления, особенно при одновременном применении индивидуального привода всех движителей, эффективность предлагаемого закона резко снижается, что выявлено в результате теоретических исследований.

По результатам математического моделирования можно также отметить, что по обеспечению устойчивости против опрокидывания законы ВРУ не дают преимуществ по сравнению с другими схемами РУ. При движении с одинаковой заданной скоростью к опрокидыванию приводят моменты сил, обусловленных боковым ускорением. Таким образом, от варианта схемы РУ предельная скорость выполнения маневра по критерию опрокидывания зависеть не может.

Одно из возможных решений для обеспечения безопасности движения автомобиля в целях исключения опрокидывания на высоких скоростях является автоматизация поворота колес. Проведенные исследования в данном направлении позволили сделать следующий вывод: безусловно, за счет автоматизации поворота колес добиваться повышения безопасности возможно (например, запрещать поворот колес при достижении допустимых пределов бокового ускорения или выполнять так называемый управляемый занос), однако такие решения исключают из процесса управления машиной водителя, что в ряде случаев может иметь гораздо худшие последствия — это, во-первых, а во-вторых, возрастают требования к подготовке водителя для управления такими транспортными средствами.

На основе результатов исследований в работах [5, 6] доказано, что наиболее эффективным вариантом для повышения безопасности движения при выполнении маневров высококомобильных колесных транспортных средств является автоматическое ограничение мощности силовой установки. В работе [6] представлен закон коррекции скорости движения транспортного средства, основанный на нечеткой логике. В то же время управление поворотом колес при ВРУ должно быть операцией, контролируемой водителем во всем диапазоне движения, но при этом по возможности максимально эффективной с точки зрения обеспечения управляемости и устойчивости.

Проведем анализ закона РСП\_У более подробно. Как уже отмечалось, для повышения устойчивости при начале маневрирования все колеса в данном случае поворачиваются синфазно в одну сторону. Идея

авторов понятна, однако необходимость такого решения для многоосной техники вызывает сомнение. Можно отметить, что с увеличением числа осей автомобиля опасность потери устойчивости при начале переходного процесса снижается. При маневрировании на малых скоростях поворот всех колес в одну сторону при малых углах поворота рулевого колеса также не способствует повышению эффективности управления транспортным средством. Синфазный поворот при малых углах поворота руля скорее необходим для небольших двухосных легковых автомобилей.

По результатам многочисленных вычислительных экспериментов был сформулирован закон изменения положения полюса рулевого управления от задающего угла для автомобиля  $8 \times 8$ :

$$X_p = \left[ L/2 \left( \frac{\theta_p - \theta_{\text{зап}}}{\theta_{\text{max}} - \theta_{\text{зап}}} \right) \right]^n. \quad (4)$$

При этом на ВРУ накладываются следующие ограничения: при значениях угла поворота задающего колеса  $\theta_{\text{зап}}$  до  $5^\circ$  полюс рулевого управления находится на задней (последней) оси автомобиля (рис. 7); в то время, когда полюс РУ лежит за осью № 3, колеса этой оси остаются строго в нейтральном положении, поворот их начинает реализовываться только при достижении полюсом РУ координаты положения оси № 3 по базе (см. рис. 7). Таким образом, достигается устойчивость против заноса при высоких скоростях движения и обеспечивается устранение смены направления в углах поворота колес третьей оси.

При увеличении числа осей колесной машины больше четырех угол  $\theta_{\text{зап}}$  должен постепенно уменьшаться до нулевого значения. Задние оси, углы поворота колес которых будут равны нулю, пока полюс РУ не достигнет их координат по базе автомобиля, будут препятствовать началу заноса задней оси. Соответственно, чем больше осей находится в таком режиме, тем выше устойчивость автомобиля в целом.

Далее представлены результаты численного моделирования движения колесной машины (КМ) с индивидуальным приводом всех двигателей [7, 8] с реализацией разработанного закона ВРУ колесами в целях определения предельной скорости выполнения маневра “поворот  $R = 25 \text{ м}$ ”.

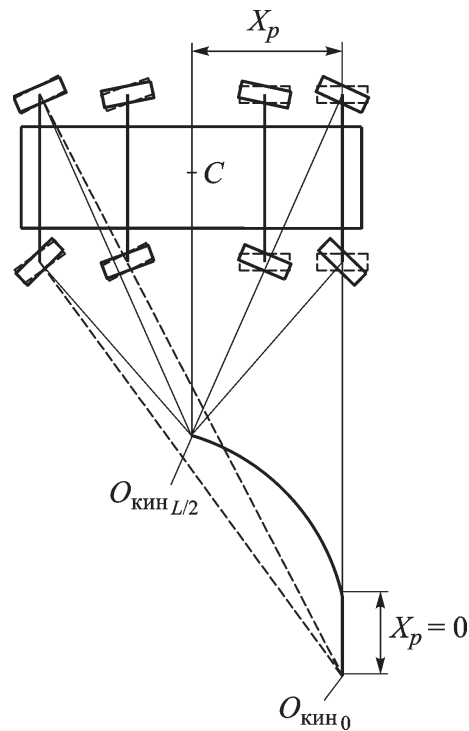


Рис. 7. Схема поворота КМ при “веерном” законе ВРУ

Методика проведения испытаний заключается в следующем: при минимальной скорости КМ был подобран необходимый для движения с требуемым радиусом угол поворота рулевого колеса. На режиме “ползучей” скорости ( $\approx 5$  км/ч) вводим модель автомобиля в режим криволинейного движения и подбираем задающий угол, необходимый для выполнения маневра. Далее увеличиваем скорость от заезда к заезду (на 1...3 км/ч) в целях определения предельной скорости. Маневр считается выполненным, если фактический радиус поворота не превышает теоретического значения на 5%. По условиям обеспечения устойчивости в ходе проведения вычислительных экспериментов была определена предельная скорость выполнения маневра, равная 42 км/ч. Первые 0,5 с КМ движется прямо без воздействия водителя на рулевое колесо. В дальнейшем водитель задает закон изменения поворота колес, воздействуя на рулевое колесо, в соответствии с углом поворота первого “условного” колеса (рис. 8.). Начальная скорость движения, равная предельной по условиям выполнения маневра, поддерживается постоянной. Отметим, что при выполнении маневра на скоростях, превышающих 42 км/ч, был зафиксирован отрыв всех колес одного борта, что означает потерю устойчивости по критерию опрокидывания транспортного средства.

На рис. 9 изображены траектории движения центров передней и задней осей автомобиля при выполнении типового маневра “поворот на опорном основании “грунтовое основание” (с коэффициентом взаимодействия движителя с опорным основанием при полном буксовании  $\mu_{s \max} = 0,6$ ). Принимаем  $\theta_{\text{зап}} = 5^\circ$ ;  $\theta_{\text{max}} = 32^\circ$ ;  $\theta_p = 13,5^\circ$ . Время моделирования  $t = 17$  с.

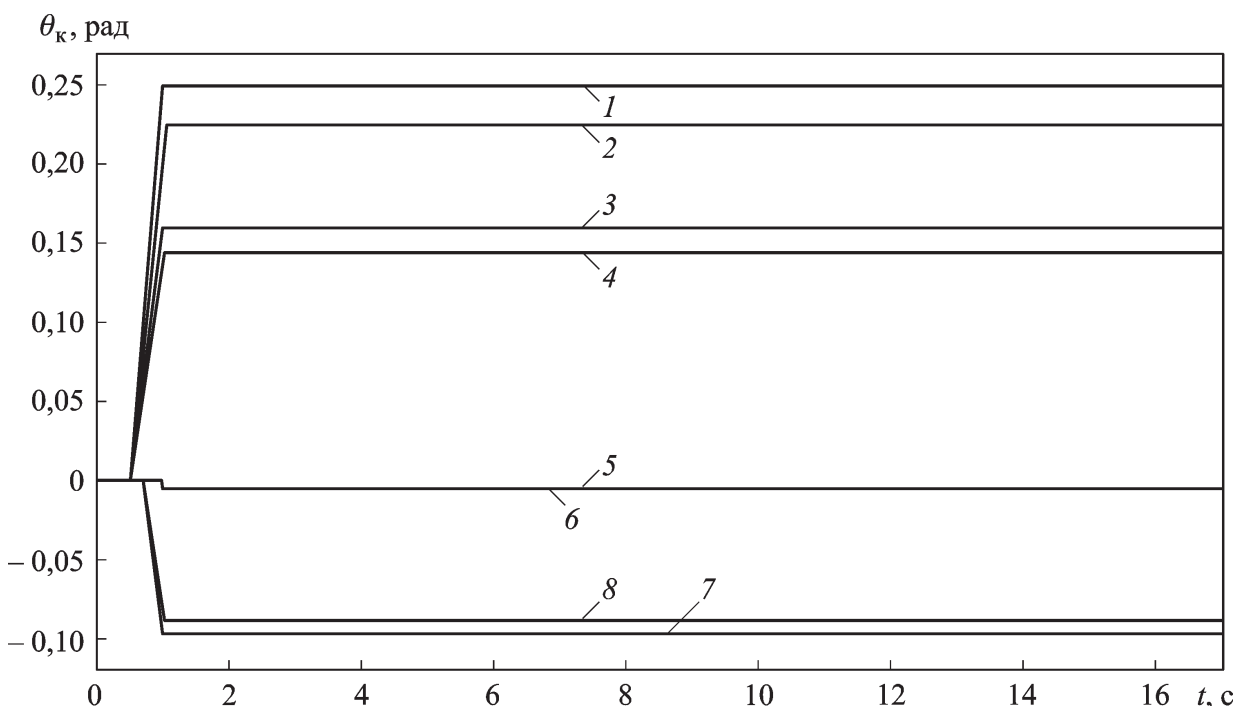
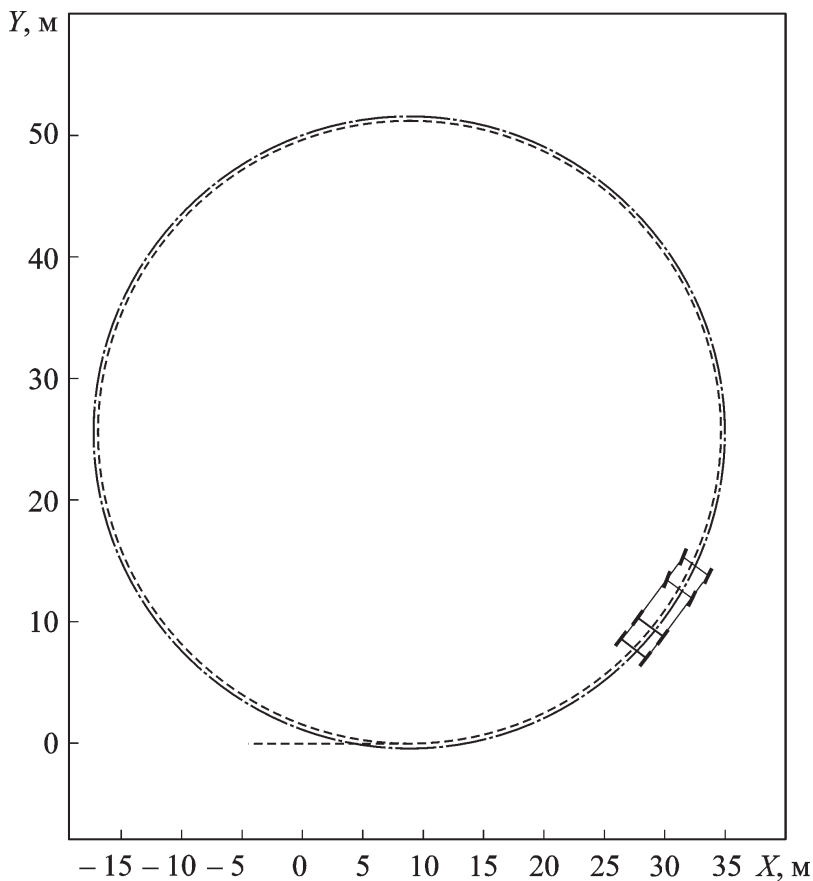


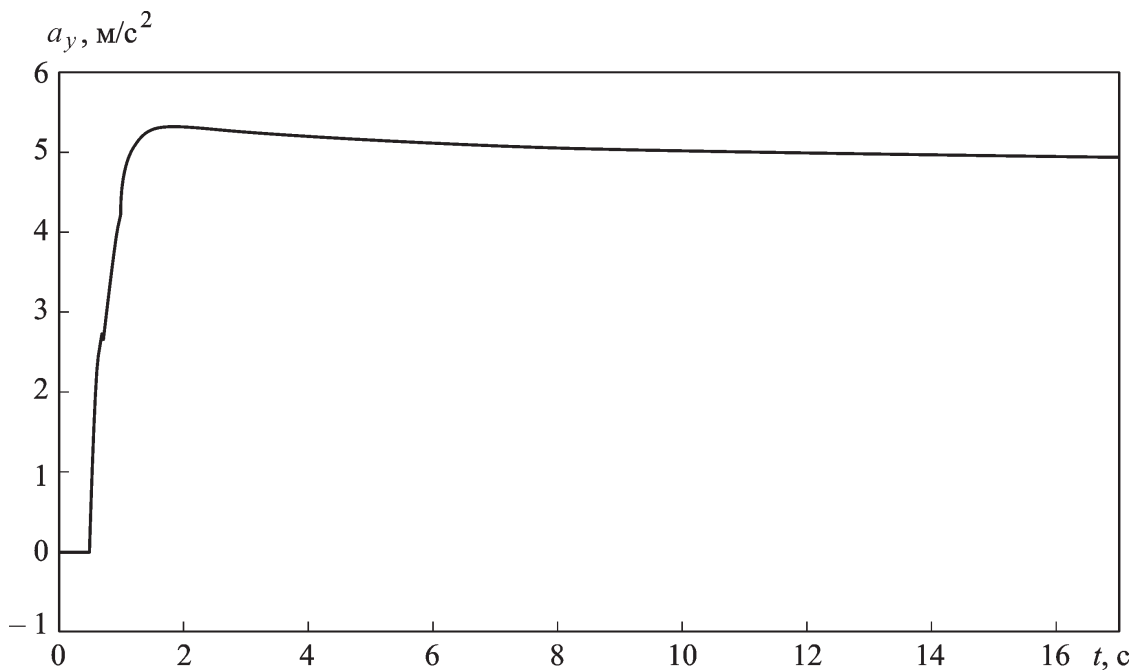
Рис. 8. Углы поворота колес



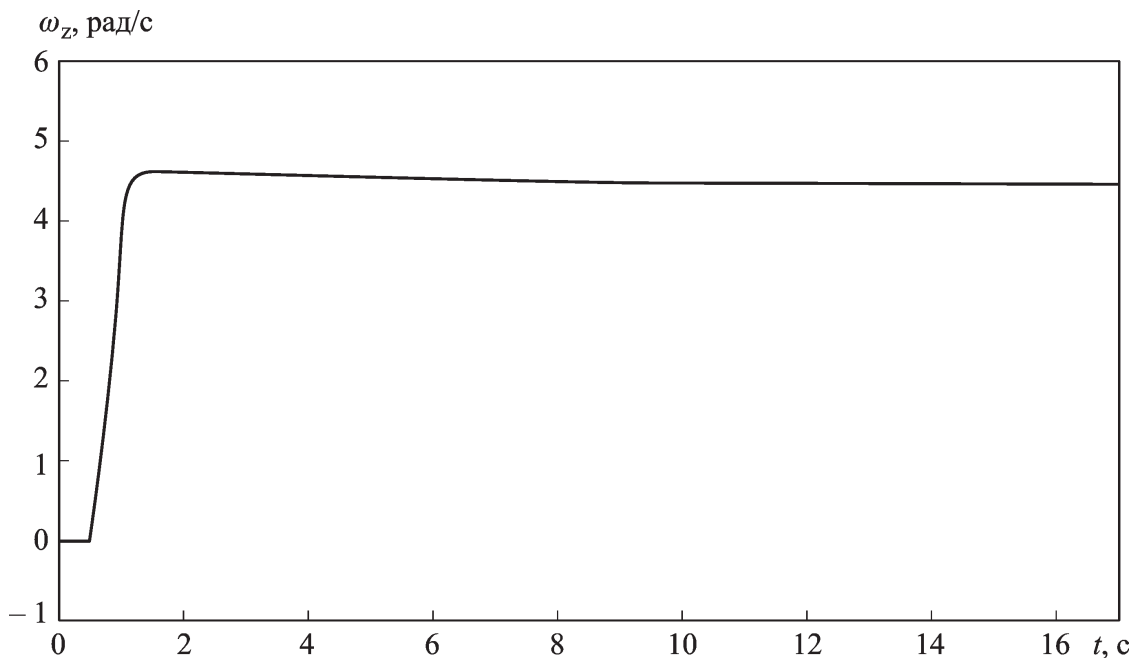
**Рис. 9. Траектория движения колесной машины**

Из рис. 8 следует, что система ВРУ функционирует в соответствии с законом (4) с учетом наложенных ограничений: поворот колес задней оси начался после того, как угол поворота задающего колеса превысил значение угла запаздывания, поворот колес третьей оси начался после достижения полюсом РУ точки, соответствующей координате третьей оси на базе автомобиля. Анализ траектория движения КМ (см. рис. 9) свидетельствует о том, что траектория движения задней оси (внутренняя штриховая кривая) находится внутри траектории движения передней оси (внешняя штриховая кривая) во всем расчетном интервале, таким образом можно сделать вывод об устойчивости движения и низкой вероятности наступления заноса. Анализ рис. 10 и 11 подтверждает, что скорость выполнения маневра является предельной, так как боковое ускорение достигает значения более  $5 \text{ м/с}^2$  и велика вероятность опрокидывания автомобиля при увеличении скорости выполнения маневра, что и подтвердилось в результате дальнейших вычислительных экспериментов при увеличении начальной скорости входа в поворот.

В формулу (4) для исследовательских целей введен степенной показатель  $n$ , определяющий вид кривой смещения полюса РУ к центру базы (см. рис. 6). В ходе исследований было установлено, что в зависимости от геометрических размеров автомобиля, а также от расположения осей по базе автомобиля и максимальных углов поворота колес возможна следующая ситуация (рис. 12). При значении

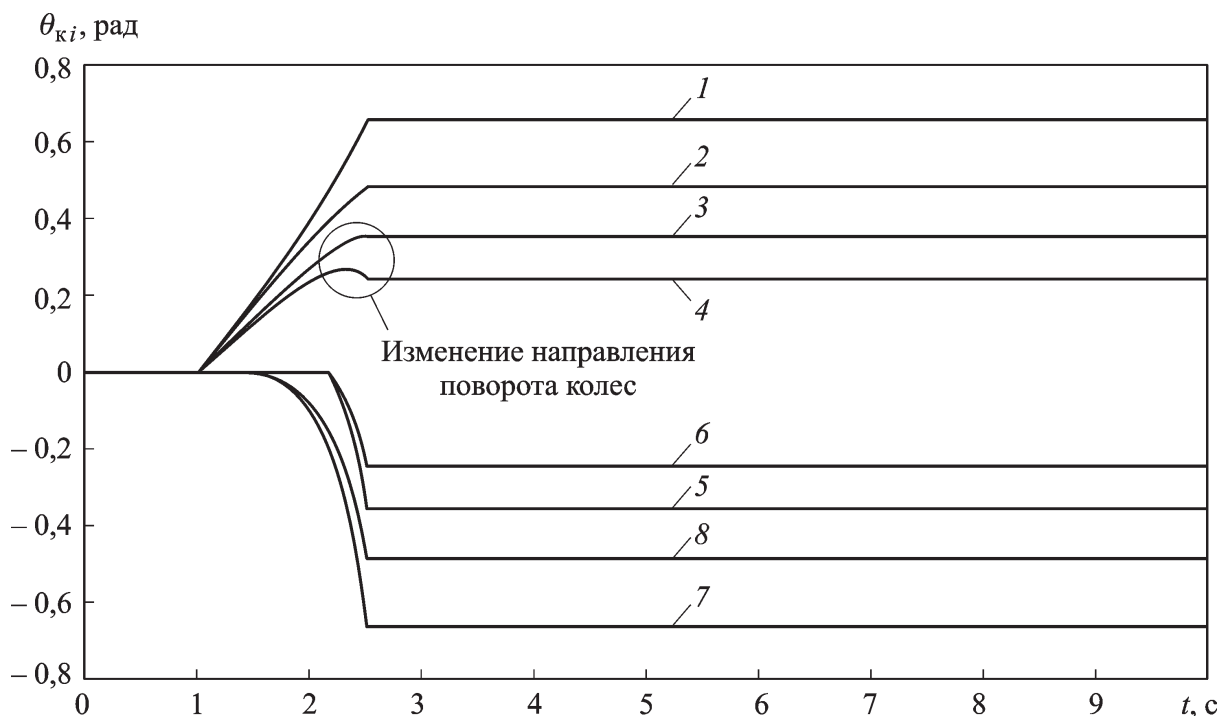


**Рис. 10. Боковое ускорение**



**Рис. 11. Угловая скорость поворота центра масс**

$n \geq 1$  на колесах второй оси наблюдается смена направления поворота колес при определенном положении полюса РУ на базе автомобиля вследствие пересечения линии перпендикуляра к плоскости вращения колеса и линии перемещения полюса поворота РУ вдоль базы автомобиля (см. рис. 12,  $n = 2$ ). Подбором значения  $n$  для конкретного исследуемого объекта это явление исключается. Для рассматриваемого случая показатель  $n = 1/2$ . Снижение данного показателя до минимальных значений отрицательно сказывается на динамике системы, так как увеличивается чувствительность рулевого управления в зонах, соответствующих малым углам поворота рулевого колеса, что снижает безопасность управления при высоких скоростях движения.



**Рис. 12.** Зависимость изменения углов поворота колес от времени

Перечень испытаний транспортных средств, определенный ГОСТ Р 52302–2004 “Автотранспортные средства. Управляемость и устойчивость. Технические требования. Методы испытаний”, не ограничивается только маневром “поворот с фиксированным радиусом”. В этой связи были проведены вычислительные эксперименты по всем видам маневров.

Результаты теоретических исследований криволинейного движения колесной машины с колесной формулой  $8 \times 8$  при “веерном” законе управления поворотом колес подтвердили его работоспособность и эффективность при обеспечении устойчивости и управляемости в сравнении с известными и исследованными ранее законами.

Разработанный закон применим для многоосных колесных ТС независимо от числа осей, но для каждого отдельного случая требуется некоторая корректировка закона, учитывающая размеры ТС и расположение осей по базе.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоусов Б. Н., Попов С. Д. Колесные транспортные средства особо большой грузоподъемности. Конструкция. Теория. Расчет / Под общ. ред. Б.Н. Белоусова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. – 728 с.
2. Аксенов П. В. Многоосные автомобили. – М.: Машиностроение, 1980. – 206 с.
3. Антонов Д. А. Теория устойчивости движения многоосных автомобилей. – М.: Машиностроение, 1978. – 216 с.
4. Горелов В. А., Наумов В. И. Всеколесное управление: поворот и маневренность // Мир транспорта. – 2008. – № 2. – С. 28–35.

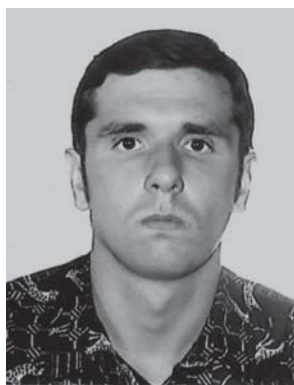
5. Горелов В. А. Прогнозирование характеристик криволинейного движения полноприводного автомобиля с формулой рулевого управления 1-0-3 при различных законах управления колесами задней оси: Дисс. . . канд. техн. наук: 05.05.03 . – М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. – 200 с.
6. Горелов В. А. Разработка алгоритма управления поворотом колес задней оси автомобиля с применением нечеткой логики (Fuzzy Logic) при формуле рулевого управления 1-0-3 // Изв. вузов. Машиностроение. – 2008. – № 2. – С. 81–91.
7. Котиев Г. О., Горелов В. А., Мирошниченко А. В. Синтез системы управления тяговыми электродвигателями для индивидуального привода ведущих колес автомобиля // technomag. edu. ru: Наука и образование: электронное научно-техническое издание. – 2011. – № 12 <http://technomag.edu.ru/doc/282533.html>
8. Горелов В. А., Котиев Г. О., Мирошниченко А. В. Разработка закона управления индивидуальным приводом движителей многоосной колесной машины // Изв. вузов. Машиностроение. – 2012. – № 1. – С. 49–59.

Статья поступила в редакцию 28.02.2012



Георгий Олегович Котиев родился в 1967 г., окончил МГТУ им. Н.Э. Баумана в 1991 г. Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой “Колесные машины” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор более 140 научных работ в области проектирования колесных и гусеничных машин.

G.O. Kotiev (b. 1967) graduated from the Bauman Moscow State Technical University in 1991. D. Sc. (Eng.), professor, head of “Wheeled Vehicles” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of more than 140 publications in the field of design of wheeled and track-type vehicles.



Василий Александрович Горелов родился в 1982 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры “Колесные машины” МГТУ им. Н.Э. Баумана. Автор 25 научных работ в области проектирования колесных машин. Специализируется в области математического моделирования систем колесных машин.

V.A. Gorelov (b. 1982) — Ph. D. (Eng.), assoc. professor of “Wheeled Vehicles” department of the Bauman Moscow State Technical University. Author of 25 publications in the field of design of wheeled vehicles. Specializes in the field of mathematical simulation of wheeled vehicles systems.

Тропин Сергей Львович родился в 1966 г., окончил МВТУ им. Н.Э. Баумана в 1989 г. Председатель Совета директоров ЗАО ПКТГ “Спецтяжавтотранс”. Автор ряда рационализаторских предложений по транспортировке тяжеловесных и негабаритных грузов многоосными автотранспортными средствами модульного типа.

S.L. Tropin (b. 1966) graduated from the Bauman Moscow Higher Technical School in 1989. Chairman of the Board of Directors of ZAO PKTG “Spetctyazhvtotrans”. Author of a number of innovations in transportation of heavy and oversized cargos multiaxial modular vehicles.