

На правах рукописи



Козлов Юрий Николаевич

ВЛИЯНИЕ УГЛОВ УСТАНОВКИ ЗАДНИХ КОЛЕС  
НА УПРАВЛЯЕМОСТЬ ЛЕГКОВОГО АВТОМОБИЛЯ

05.05.03 – Колесные и гусеничные машины

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2012

Работа выполнена в Научно-исследовательском центре по испытаниям и доводке автотехники ФГУП «НАМИ» (НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ»).

Научный руководитель      Доктор технических наук, профессор  
Гинцбург Леонид Леонидович.

Официальные оппоненты      Доктор технических наук, профессор  
Рязанцев Виктор Иванович,  
  
кандидат технических наук, доцент  
Гаевский Виталий Валентинович.


Ведущая организация      ОАО «АВТОВАЗ»

Защита диссертации состоится «    » \_\_\_\_\_ 2012 г. в \_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д217.014.01 при Государственном научном центре РФ Федеральном государственном унитарном предприятии – Центральном Ордена Трудового Красного Знамени Научно-исследовательском автомобильном и автомоторном институте «НАМИ» по адресу: 125438, г. Москва, Автомоторная, д. 2. Электронная почта: admin@nami.ru.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГУП «НАМИ» по адресу: 125438, г. Москва, Автомоторная, д. 2.

Автореферат разослан «    » \_\_\_\_\_ 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
с.н.с., канд. техн. наук



А. Г. Зубакин

<http://www.nami.ru>

## **Общая характеристика работы**

**Актуальность.** Обеспечение безопасности дорожного движения является одной из важнейших задач, стоящих перед государственными и общественными органами нашей страны. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» является одним из ведущих научных центров России по выполнению международных и федеральных программ повышения безопасности дорожного движения. Одним из направлений решения этого вопроса является повышение активной безопасности автомобиля за счет улучшения его управляемости. В частности, переход от классической установки задних колес с независимой подвеской легкового автомобиля к установке их с определенным развалом и схождение, при неизменных состояниях других параметров, приводит к расширению диапазона безопасного управления автомобилем, что снижает расход физической и психической энергии водителя и, в конечном итоге, уменьшает вероятность возникновения ДТП. В настоящее время практически все автомобильные фирмы ведут работы по повышению характеристик управляемости автомобиля за счет улучшения конструкции задней подвески. Особое место в данном направлении исследований занимают работы по обеспечению выбора оптимальных углов установки задних колес легкового автомобиля с целью улучшения характеристик управляемости. Результаты совместных научно-исследовательских и доводочных работ, проведенных НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», ОАО «АВТОВАЗ» и ОАО «УАЗ», также показали перспективность данного направления.

Проведение доводочных и экспериментальных работ требует больших материальных и временных затрат при ограниченном количестве дорогостоящих опытных объектов. Сокращение затрат и сроков создания новых моделей автомобилей является первостепенной задачей, стоящей перед разработчиками. Многолетний опыт НИОКР, проводимых НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», показал, что одним из наиболее эффективных решений этой задачи является комплексный подход, объединяющий теоретические и экспериментальные исследования в форме создания экспериментально-расчетной методики, позволяющей с минимальными затратами достигать необходимых результатов.

В связи с этим, тема диссертационной работы, посвященная определению влияния углов установки задних колес на управляемость легкового автомобиля, возможности повышения активной безопасности автомобиля за счет улучшения характеристик управляемости на основе экспериментально-расчетной методики оптимизации углов установки задних колес легкового автомобиля, является весьма актуальной.

**Цель работы.** Целью работы является исследование влияния углов установки задних колес на управляемость легкового автомобиля и

разработка экспериментально-расчетной методики оптимизации углов установки задних колес легкового автомобиля.

Для достижения поставленной цели в работе решались следующие задачи:

- разработать математическую модель, позволяющую оценить влияние направлений наклонной установки и величин углов наклона задних колес на управляемость легкового автомобиля; проверить экспериментально адекватность математической модели;

- разработать экспериментально-расчетную методику оптимизации величин углов установки задних колес легкового автомобиля;

- провести экспериментальные исследования по определению характеристик управляемости легкового автомобиля при различных углах установки задних колес;

- провести теоретические исследования по оценке экспериментального влияния углов установки задних колес с независимой подвеской на характеристики управляемости легкового автомобиля;

- определить систему коэффициентов, учитывающих влияние углов установки задних колес легкового автомобиля на характеристики управляемости, полученные при отсутствии наклона задних колес.

**Методы исследования.** Для анализа характеристик управляемости легкового автомобиля при различных углах установки задних колес с независимой подвеской использовались методы математического моделирования, методы программирования в среде пакетов прикладных программ, полигонные испытания и статистические методы математического анализа.

**Объект исследований** – переднеприводный легковой автомобиль Форд Фокус

**Научная новизна работы** заключается в следующем:

- впервые показано существенное влияние углов установки задних колес на управляемость легкового автомобиля

- впервые выведены формулы зависимости и определена система коэффициентов влияния углов установки задних колес на характеристики управляемости легкового автомобиля;

- впервые разработана экспериментально-расчетная методика оптимизации величины углов установки задних колес легкового автомобиля.

**Практическая ценность.** Результаты проведенных исследований использованы при работе по тематике КВТ ЕЭК ООН «Разработка новых международных Правил ЕЭК ООН по динамическим испытаниям на управляемость и устойчивость автотранспортных средств. Проведение исследований по поправкам к Правилам ЕЭК ООН № 79, 111. Исследование автоматических систем управления движением». Регистрационный номер 01.02.006.5305.

На основании результатов теоретических и экспериментальных исследований разработаны два руководящих документа НИЦИАМТ ФГУП НАМИ:

– РД 37.052.346-2007 «Автотранспортные средства. Методы исследования влияния углов установки задних колес на управляемость легкового автомобиля»;

- РД 37.052.347-2010 «Автотранспортные средства. Методы исследования эффективности систем динамической стабилизации легкового автомобиля».

Результаты диссертационной работы и проведенных исследований влияния углов установки задних колес на управляемость легкового автомобиля были внедрены в НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», в учебный процесс Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ) и использованы ОАО «АВТОВАЗ» и ОАО «УАЗ» при оптимизации характеристик управляемости автомобилей ВАЗ и УАЗ.

**Апробация работы.** Результаты исследований доложены и обсуждены на международном научном симпозиуме в МГТУ «МАМИ» г. Москва, март 2005 г.; научно-исследовательской конференции ГТУ «МАДИ», г. Москва, январь 2007 г.; научно-технической конференции МГТУ им. Н.Э.Баумана, г. Москва, май 2008 г.; на 54, 58 и 62 международных научно-технических конференциях ААИ, июнь 2004г., 2006г., 2008г., г. Дмитров, НИЦИАМТ; на научно-исследовательских конференциях ВолгГТУ, г. Волгоград, февраль 2007г., октябрь 2009 г., заседаниях секции «Активная безопасность АТС» НТС ФГУП НИЦИАМТ 2004-2008 гг., на VIII Международном автомобильном научном форуме (МАНФ-2010), НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», октябрь 2010 г.

**Публикации.** По материалам диссертационной работы опубликовано 16 научно-технических работ, в том числе 5 статей в журналах из списка, рекомендованного ВАК при защите кандидатских диссертаций, и 2 нормативных документа.

**Объем работы:** Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Общий объем работы составляет 219 страниц, в том числе 87 иллюстраций и 14 таблиц. Библиографический список содержит 176 наименования отечественных и зарубежных авторов.

### **Основное содержание работы**

**Во введении** обоснована актуальность темы диссертационного исследования и его научная новизна, а также определена теоретическая база и методология исследования.

**В первой главе** выполнен анализ научных работ, посвященных теории автомобиля, качению эластичного колеса и влиянию конструктивных особенностей подвески автомобиля на характеристики управляемости,

авторами которых являются: Р.Ф.Авдеев, Д.А.Антонов, И.В.Балабин, Е.В.Балакина, С.В.Бахмутов, В.Л.Бидерман, А.В.Бочаров, В.В.Брылев, Ю.А.Брянский, В.В.Гаевский, Л.Л.Гинцбург, О.И. Гируцкий, Г.И. Гладов, М.И.Грифф, А.Д.Давыдов, А.Б.Дик, А.С.Добрин, Б.М.Додонов, Ю.А.Ечеистов, В.Н.Задворнов, А.М.Иванов, С.Н.Иванов, В.А.Иларионов, В.Д.Каменев, М.А. Карунин, Е.Т.Катанаев, Б.В.Кисуленко, Е.В.Кленников, Р.П.Кушвид, В.И.Кнороз, К.С.Колесников, С.А.Лаптев, В.Н.Лата, В.Н.Левит, А.С.Литвинов, О.В.Майборода, А.П.Маринкин, П.А.Мерзликин, Е.И. Мокин, Б.И.Морозов, Э.Н.Никульников, М.А.Носенков, Я.М.Певзнер, В.А.Петрушов, А.Г.Пешкилев, В.И.Рабинович, Р.В.Ротенберг, В.И.Рязанцев, В.И.Сальников, В.В.Селифонов, Г.А.Смирнов, А.А.Трикоз, В.Е.Тольский, Б.С.Фалькевич, Я.Е.Фаробин, Б.М.Фиттерман, Е.А.Чудаков, А.А. Эйдинов, Н.Н. Яценко, W. Bergman, J.R. Ellis, R. Mayer, W.F. Milliken, W. Murrey, M. Olley, H.V. Pacejka, R.S. Rice, J. Reimpell, K. Rompe, L.Segal, V. Vanderloeg и др.

Общий анализ теоретических исследований показал, что:

– современное развитие конструкции автомобиля в направлении улучшения характеристик управляемости требует дальнейшего развития научно-методической базы исследований в виде разработки новых экспериментально-расчетных методов;

– установка задних колес с отрицательным развалом и нулевым схождение позволяет в целом улучшить характеристики управляемости автомобиля, что приводит к расширению диапазона безопасного управления автомобилем.

**Во второй главе** приводятся теоретические исследования влияния углов установки задних колес легкового автомобиля на свойства управляемости. Обоснован выбор величины и направления углов установки задних колес. С учетом критерия износа шин, был выбран отрицательный развал задних колес прототипа легкового автомобиля, который составил 2 градуса при нулевом схождении.

Приведены: расчетная схемы автомобиля, математическое описание движения автомобиля, рулевого управления, колеса, подвески. Кратко описывается программный комплекс StabAuto. Приводятся результаты расчета и оценка адекватности модели.

Принята расчетная схема автомобиля, показанная на рисунке 1.

Исходя из целей и задач исследования, а также принятых допущений, составлены дифференциальные уравнения движения:

Для проведения практических расчетов использовался программный комплекс StabAuto, разработанный в ВолГТУ и адаптированный под решение рассматриваемой задачи по оценке влияния углов установки задних колес на параметры движения автомобиля по траектории.

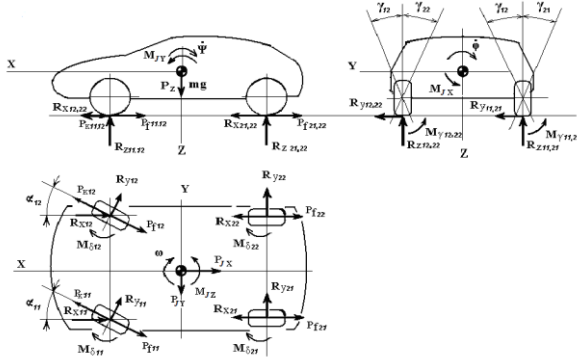


Рисунок 1 - Расчетная схема автомобиля

$$\begin{aligned}
 m(\dot{v}_x - v_y \omega + v_z \dot{\psi}) &= \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 [R_{xij} \cos \alpha_{ij} - R_{yij} \sin \alpha_{ij}] ; \\
 m(\dot{v}_y - v_x \omega - v_z \dot{\phi}) &= \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 [R_{yij} \cos \alpha_{ij} + R_{xij} \sin \alpha_{ij}] ; \\
 m_{II}(\dot{v}_z - v_x \dot{\psi} + v_y \dot{\phi}) &= 2(C_{II_1} + C_{II_2})Z + 2(aC_{II_1} - C_{II_2})\psi - C_{II_1}(Z_{11} + Z_{12}) - \\
 &- C_{II_2}(Z_{21} + Z_{22}) + \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^2 \left[ K_{ij} \dot{Z}_{ij}^* + R_{yij} \left( \frac{\partial y'}{\partial z} \right)_{ij} + R_{xij} \left( \frac{\partial x'}{\partial z} \right)_{ij} \right] ; \\
 J_{x_1} \ddot{\phi}_1 - J_{xz_1} \dot{\omega} &= (C_{II_1} + C_{C_1}) \frac{B_1^2}{2} \phi_1 + \sum_{j=1}^2 K_{1j} \dot{Z}_{1j}^* \frac{B_1}{2} + \sum_{j=1}^2 \left[ R_{y_{1j}} \left( \frac{\partial y'}{\partial z} \right)_{1j} + R_{x_{1j}} \left( \frac{\partial x'}{\partial z} \right)_{1j} \right] + \\
 &+ \sum_{j=1}^2 R_{y_{1j}} h + \sum M_{J_{1j}} - C_p (\phi_1 - \phi_2) ; \\
 J_{x_2} \ddot{\phi}_2 - J_{xz_2} \dot{\omega} &= (C_{II_2} + C_{C_2}) \frac{B_2^2}{2} \phi_2 + \sum_{j=1}^2 K_{2j} \dot{Z}_{2j}^* \frac{B_2}{2} + \sum_{j=1}^2 R_{y_{2j}} \left( \frac{\partial y'}{\partial z} \right)_{2j} + \\
 &+ R_{x_{2j}} \left( \frac{\partial x'}{\partial z} \right)_{2j} + \sum_{j=1}^2 R_{y_{ij}} h + \sum_{j=1}^2 M_{J_{2j}} - C_p (\phi_2 - \phi_1),
 \end{aligned}$$

где:  $m$  – полная масса автомобиля;  $h$  – высота центра масс;  $m_{II}$  ( $m_{II1}$  и  $m_{II2}$ ) – поддресоренная масса автомобиля (приходящаяся на переднюю и заднюю ось);  $J_x$  и  $J_{xz}$  – моменты инерции поддресоренной массы;  $m_{ij}$  – неподдресоренные массы колес, где  $i$  и  $j$  – индексы оси и колеса;  $v_x$ ,  $v_y$ ,  $v_z$  – скорость автомобиля в направлении соответствующих осей;  $\psi$ ,  $\phi$ ,  $\omega$  – продольный и поперечный крен, поворот в плане;  $R_{xij}$  и  $R_{yij}$  – продольные и боковые реакции на колесах;  $C_{II1}$  и  $C_{II2}$  – жесткости передней и задней подвески;  $C_{C1}$  и  $C_{C2}$  – жесткости переднего и заднего стабилизаторов;  $M_{Jij}$  – опрокидывающий момент на колесе;  $\alpha_{ij}$  – угол поворота управляемых колес;  $Z$  – вертикальное перемещение поддресоренной массы;  $Z_{ij}^*$  – перемещения направляющего аппарата подвески каждого колеса;  $Z_{ij}$  – перемещения колес;  $K_{ij}$  – коэффициент сопротивления амортизатора приведенный к колесу.

Для этого в блок расчета боковых реакций опорной поверхности были введены дополнительные слагаемые, учитывающие наличие дополнительных

боковых реакций опорной поверхности от углов установки задних колес и изменяющиеся пропорционально величинам углов установки соответствующего колеса. Боковые реакции опорной поверхности на задних колесах (с учетом добавок от наклона задних колес) влияют на параметры увода задних колес и текущие значения коэффициентов сцепления под задними колесами, в результате чего изменяются параметры траектории автомобиля и показатели его управляемости. Расчет по уравнениям математической модели выполнялся в цикле до истечения заданного пользователем времени.

Для оценки адекватности математической модели, позволяющей рассчитывать параметры движения и управляемости двухосного автомобиля, был произведен проверочный эксперимент, в котором регистрировались параметры движения при испытании «рывок руля». На рисунке 2 приведены расчетные и экспериментальные зависимости параметров траектории от времени при испытании «Рывок руля».

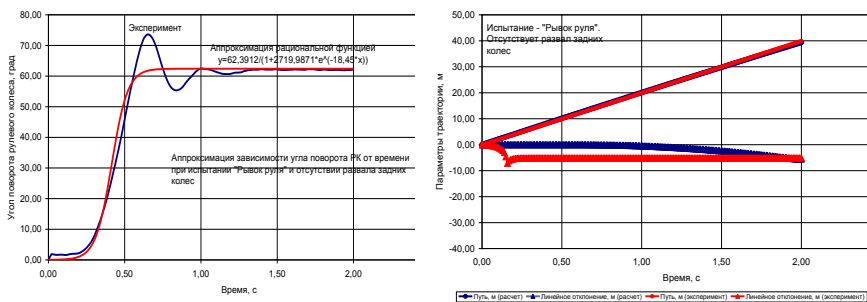


Рисунок 2 - Сравнение расчетных и экспериментальных параметров при испытании «Рывок руля»

Погрешность расчета по совокупности дорожных условий составляет – 12...16%.

Для решения поставленной задачи в работе предложен расчетно-экспериментальный метод, при котором при теоретических исследованиях определяется только область возможного изменения величин и знаков величин углов установки задних колес, а наилучшие значения этих углов из установленного диапазона определяются на основании экспериментальных исследований.

**В третьей главе** приводится описание и результаты экспериментальных и экспериментально – расчетных исследований влияния углов установки задних колес на свойства управляемости легкового автомобиля. На рисунке 3 представлен общий вид объекта исследований.





Рисунок 3 - Объект исследований – легковой автомобиль Ford Focus

На рисунках 4-6 представлено основное измерительно-регистрирующее оборудование, используемое для экспериментальных исследований.



Рисунок 4 - Рулевое измерительное колесо MSW для измерения угла, скорости и момента поворота руля



Рисунок 5 - Бесконтактный оптический датчик CORREVIT S-CE w/Gуго для измерения продольной и боковой линейных и угловой скорости автомобиля



Рисунок 6 - Датчик угловых скоростей и линейных ускорений TANS



Рисунок 7 - Стенд для измерения и регулировки углов установки колес

Для исследования изменений углов установки передних и задних колес в зависимости от вертикальных перемещений кузова были проведены стендовые эксперименты (рисунок 7). Полученные графики зависимостей

для задних колес приведены на рисунках 8-11. То же определялось и для передних колес.

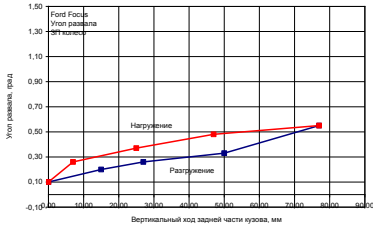


Рисунок 8 - График изменения развала заднего правого колеса

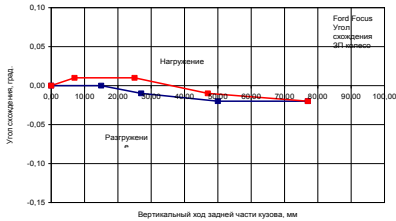


Рисунок 10 - График изменения схождения заднего правого колеса

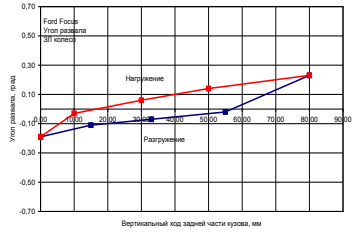


Рисунок 9 - График изменения развала заднего левого колеса

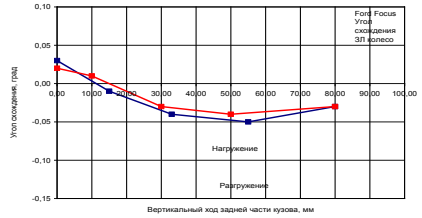


Рисунок 11 - График изменения схождения заднего левого колеса

Проведенный анализ результатов исследования показал, что стабильность кинематики задней подвески позволяет, в области необходимых значений, изменять углы установки задних колес с целью оптимизации параметров управляемости, учитывая критерий износа шин.

В ходе натурных экспериментов определялись параметры движения и управляемости при испытаниях: «переставка», «поворот», «рывок руля», «стабилизация», с развалом и без развала задних колес.

Экспериментальные исследования испытания «переставка» показали, что при установке задних колес с отрицательным развалом и нулевым схождением, боковое ускорение задней оси снижается на 11,2...12%, а угловая скорость автомобиля уменьшается на 14,1...14,8 %. (рисунки12 и 13)

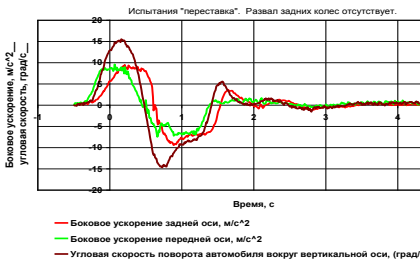


Рисунок 12 - Без развала задних колес

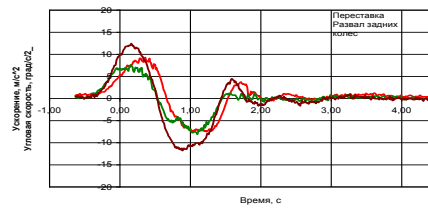


Рисунок 13 - С развалом задних колес

Экспериментальные исследования испытания «поворот» показали, что при установке задних колес с отрицательным развалом снижается угловая скорость автомобиля в среднем на 15 % (рисунки 14 и 15).

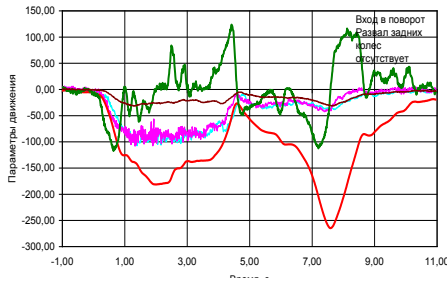


Рисунок 14 - Без развала колес

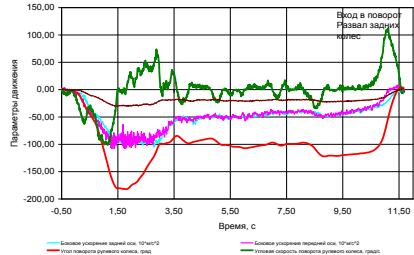


Рисунок 15 - С развалом колес

Экспериментальные исследования испытания «рывок руля» показали:

- время 90 % - ной реакции автомобиля  $\Delta t_{90}$  снижается в среднем на 15,8 %;
- заброс угловой скорости автомобиля  $\Delta \psi$  снижается в среднем на 20 %;
- при одном и том же боковом ускорении автомобиль приобретает меньшую угловую скорость в среднем на 8...15%.

Экспериментальные исследования испытания «стабилизация» показали, что суммарный угол поворота рулевого колеса за время стабилизации уменьшился в среднем на 22,5 % и время стабилизации рулевого управления уменьшилось на 29,3 %.

В целом экспериментальные исследования показали, что установка отрицательного развала задних колес существенно влияет на характеристики управляемости. Подтверждены выводы теоретических исследований и обоснованность теоретического выбора величины углов установки задних колес.

**В четвертой главе** разработана методика экспериментально-расчетной оптимизации углов установки задних колес легкового автомобиля. Оговорена область применения методики, даны соответствующие термины и определения, описаны цели, условия и порядок проведения испытаний. Разработаны требования к объекту испытаний, измерительно-регистрирующему оборудованию, обработке и анализу полученных результатов.

В методике применены новые термины и определения, не противоречащие ГОСТ 17697 «Автомобили. Качество колеса»:

- **развал колеса** - неперпендикулярность плоскости вращения колеса его опорной плоскости, предусмотренная конструкцией автомобиля;
- **угол развала колеса** - угол между плоскостью вращения колеса и продольной плоскостью колеса, предусмотренный конструкторской документацией;

- отрицательный развал колес оси автомобиля - развал колес, при котором оси их вращения пересекаются ниже оси моста автомобиля, в пределах колеи автомобиля.

Согласно методике, при теоретических исследованиях определяется область возможного изменения величин и знаков величин углов установки задних колес легкового автомобиля, рассматриваются изменения характеристик управляемости исследуемого объекта, проводится анализ полученных результатов расчетов и делается вывод о целесообразности проведения экспериментальных исследований параметров управляемости при расчетных диапазонах изменения углов наклона задних колес.

При экспериментальных исследованиях определяются изменения характеристик управляемости легкового автомобиля при изменении углов установки задних колес, которые включают в себя экспериментальное определение следующих параметров:

- боковых ускорений передней  $a_n$  и задней  $a_z$  осей и угловой скорости автомобиля  $\psi$ , при испытаниях «переставка» и «поворот»;
- времени стабилизации рулевого управления  $t_{ру}$  и величины угловой скорости поворота  $\omega_{рк}$ , при испытании «стабилизация»;
- заброса угловой скорости автомобиля  $\Delta\psi_1$  и времени 90% -ой реакции автомобиля  $t_{90}$  при испытаниях «рывок руля»;
- предельной скорости выполнения маневра  $V_{np}$  и др.

Полученные данные подвергаются статистической обработке. Проводится проверка нормальности распределения полученных результатов эксперимента и их достоверности.

На основании результатов эксперимента определяются коэффициенты зависимости, учитывающие величину угла установки задних колес и их значимость.

Проводится экспериментально-расчетная оптимизация углов установки задних колес автомобиля по критериям управляемости и износа шин.

Анализируются полученные результаты исследований, делаются выводы и предлагаются рекомендации.

**В пятой главе** определены коэффициенты и выведены формулы, учитывающие влияние величины углов установки задних колес на характеристики управляемости легкового автомобиля.

Для пересчета рассматриваемых оценочных параметров управляемости со случая установки задних колес без развала, на случай установки задних колес с отрицательным развалом, получена система коэффициентов, учитывающих влияние угла отрицательного развала задних колес на параметры управляемости легкового автомобиля

$$\omega_a^{nep'} = K_{\alpha}^{nep} \cdot \omega_a^{nep} \quad (1)$$

где  $\omega_a^{nep}$  – угловая скорость автомобиля при испытании «переставка», задние колеса которого установлены без развала;  $\omega_a^{nep'}$  – угловая скорость автомобиля, задние колеса которого установлены с отрицательным развалом;  $K_{\alpha a}^{nep}$  – коэффициент, учитывающий влияние угла отрицательного развала задних колес на угловую скорость автомобиля при испытании «переставка».

$$\omega_a^{nos'} = K_{\alpha a}^{nos} \cdot \omega_a^{nos} \quad (2)$$

где  $\omega_a^{nos}$  – угловая скорость автомобиля при испытании «поворот», задние колеса которого установлены без развала;  $\omega_a^{nos'}$  – угловая скорость автомобиля при испытании «поворот», задние колеса которого установлены с отрицательным развалом;  $K_{\alpha a}^{nos}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние угла отрицательного развала задних колес на угловую скорость автомобиля при испытании «поворот».

$$\tau_{\Theta_{рк}}^{nep'} = K_{\tau_{\Theta_{рк}}}^{nep} \cdot \tau_{\Theta_{рк}}^{nep} \quad (3)$$

где  $\tau_{\Theta_{рк}}^{nep}$  – время стабилизации угла поворота рулевого колеса при испытании «переставка» автомобиля, задние колеса которого установлены без развала;  $\tau_{\Theta_{рк}}^{nep'}$  – время стабилизации угла поворота рулевого колеса при испытании «переставка» автомобиля, задние колеса которого установлены с отрицательным развалом;  $K_{\tau_{\Theta_{рк}}}^{nep}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние угла отрицательного развала задних колес на время стабилизации угла поворота рулевого колеса при испытании «переставка».

$$\tau_{\Theta_{рк}}^{stab'} = K_{\tau_{\Theta_{рк}}}^{stab} \cdot \tau_{\Theta_{рк}}^{stab} \quad (4)$$

где  $\tau_{\Theta_{рк}}^{stab}$  – время стабилизации угла поворота рулевого колеса при испытании «стабилизация» автомобиля, задние колеса которого установлены без развала;  $\tau_{\Theta_{рк}}^{stab'}$  – время стабилизации угла поворота рулевого колеса при испытании «стабилизация» автомобиля, задние колеса которого установлены с отрицательным развалом;  $K_{\tau_{\Theta_{рк}}}^{stab}$  – поправочный коэффициент, учитывающий влияние угла отрицательного развала задних колес на время стабилизации угла поворота рулевого колеса при испытании «стабилизация».

$$\tau_{\omega_{рк}}^{stab'} = K_{\tau_{\omega_{рк}}}^{stab} \cdot \tau_{\omega_{рк}}^{stab} \quad (5)$$

где  $\tau_{\omega_{рк}}^{stab}$  – время стабилизации угловой скорости поворота рулевого колеса при испытании «стабилизация» автомобиля, задние колеса которого установлены без развала;  $\tau_{\omega_{рк}}^{stab'}$  – время стабилизации угловой скорости поворота рулевого колеса при испытании «стабилизация» автомобиля, задние колеса которого установлены с отрицательным развалом;  $K_{\tau_{\omega_{рк}}}^{stab}$  – коэффициент, учитывающий влияние угла отрицательного развала задних колес на время стабилизации угловой скорости поворота рулевого колеса при испытании «стабилизация».

На рисунке 14 показаны зависимости изменения поправочных коэффициентов характеристик управляемости с ростом угла отрицательного развала задних колес, рассчитанные по формулам (1) – (5).

Поскольку функции поправочных коэффициентов носят линейно убывающий характер, то можно сделать вывод, что установка задних колес с отрицательным развалом уменьшает значения рассматриваемых оценочных показателей управляемости, т.е. улучшает управляемость автомобиля.

Полученные формулы применимы для углов установки задних колес с отрицательным развалом  $0 \dots 2^\circ$  и сходимением  $0^\circ$ , дальнейшее увеличение угла развала приводит к повышенному износу шин, диапазон  $2^\circ - 3^\circ$  возможно допустимый по критерию управляемости.

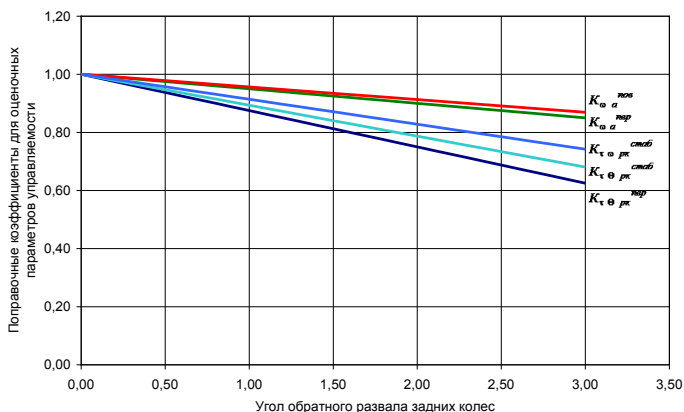


Рисунок 14 - Изменение поправочных коэффициентов характеристик управляемости с ростом угла отрицательного развала задних колес  $\alpha$  от 0 до 3 градусов (схождение 0 градусов)

### Основные результаты и выводы

1. Показано существенное влияние углов установки задних колес с независимой подвеской на характеристики управляемости легкового автомобиля:

а) при теоретических исследованиях: установка задних колес с отрицательным развалом 2 градуса и нулевым сходимением, по сравнению с установкой задних колес без развала и без схождения, уменьшает боковое ускорение на задней оси на 5,0 %, уменьшает угловую скорость автомобиля на 9,4 % и повышает предельную скорость выполнения маневра на 2,6 %;

б) при экспериментальных исследованиях:

- испытание «переставка»: боковое ускорение на задней оси уменьшается на 11,2...12,0 %, угловая скорость автомобиля уменьшается на

14,1...14,8 %, а предельная скорость выполнения маневра повышается на 3,9%;

- испытание «поворот»: уменьшается максимальная угловая скорость автомобиля на 15 %, предельная скорость выполнения маневра увеличивается на 3,0 %;

- испытание «рывок руля»: время 90 % - ной реакции автомобиля уменьшается на 15,8 %, заброс угловой скорости автомобиля уменьшается в среднем на 20 %, максимальная угловая скорость (при одном и том же боковом ускорении) уменьшается на 8...15%;

- испытание «стабилизация»: угол поворота руля уменьшается на 22,5% и время стабилизации уменьшается на 29,3 %.

2. Разработана математическая модель, позволяющая оценить влияние направлений и величин углов установки задних колес на управляемость легкового автомобиля. Для определения достоверности результатов математического моделирования проведен проверочный эксперимент, который доказал, что расхождение результатов расчета и эксперимента не превышает 12..16 %.

3. Обоснована и разработана экспериментально-расчетная методика оптимизации величин углов установки задних колес легкового автомобиля в отношении улучшения управляемости, позволяющая при ее использовании существенно сократить время доводочных работ по определению оптимальных величин углов установки задних колес.

4. Проведены натурные экспериментальные исследования по определению характеристик управляемости легкового автомобиля при различных углах установки задних колес. На основании их теоретической обработки в виде аппроксимации параметров управляемости по углам наклона задних колес, доказано, что установка задних колес легкового автомобиля с отрицательным развалом положительно влияет на большинство оценочных показателей управляемости.

5. На основании полученных аппроксимированных зависимостей оценочных параметров управляемости от углов наклона задних колес установлена система поправочных коэффициентов, учитывающих влияние углов установки задних колес легкового автомобиля на характеристики управляемости, полученные при отсутствии наклона задних колес.

6. Результаты диссертационной работы и проведенных исследований были внедрены в НИЦИАМТ ФГУП «НАМИ», в учебный процесс Волгоградского государственного технического университета и использованы ОАО «АВТОВАЗ» и ОАО «УАЗ» при оптимизации характеристик управляемости автомобилей ВАЗ и УАЗ. Акты приложены к диссертации.

7. Результаты диссертационной работы использованы при разработке двух нормативных документов.

## **Содержание диссертации отражено в 16 публикациях, в том числе:**

### ***Публикации, входящие в «Перечень...» ВАК***

1. Козлов Ю.Н. Боковые силы и устойчивость движения автомобиля в режиме торможения /Э.Н. Никульников, Ю.Н. Козлов, Е.В. Балакина, А.А. Ревин, Н.М. Зотов // Автомобильная промышленность. – 2007. – №12.– М: Машиностроение.– С. 15 – 17 .

2. Козлов Ю.Н. Отрицательный развал задних колес и управляемость легкового автомобиля. //Н.Н.Яценко, Э.Н. Никульников, Е.В.Балакина, Ю.Н.Козлов// Автомобильная промышленность. – 2008. – №10.– М: Машиностроение.– С. 22 – 23.

3. Козлов Ю.Н. Экспериментальная проверка методов оценки эффективности систем динамической стабилизации (СДС) //А.М.Иванов, Ю.Н. Козлов, А.А.Ревин, Э.Н.Никульников, Е.В.Балакина, С.А.Лосев, С.С.Шадрин// Автомобильная промышленность. – 2009. – №7.– М: Машиностроение.– С. 31–33.

4. Козлов Ю.Н. Моделирование боковых реакций при расчете параметров движения автомобильного колеса // Е.В. Балакина, Н.М. Зотов, Ю.Н. Козлов, Э.Н. Никульников, А.А. Ревин // Известия ВолгГТУ. Серия «Наземные транспортные системы» / ВолгГТУ. – Волгоград: РПК «Политехник», 2007.– Вып. 2, №8. – С. 18 –21.

5. Козлов Ю.Н. Исследование изменения углов установки колес передней и задней оси легкового автомобиля // Е.В. Балакина, Ю.Н. Козлов, Э.Н. Никульников// Известия ВолгГТУ. Серия «Наземные транспортные системы» / ВолгГТУ. – Волгоград: РПК «Политехник», 2010.– Вып. 3, №10. – С. 13 –17.

### ***Нормативные документы***

6. РД 37.052.346-2007. Автотранспортные средства. Методы исследования влияния наклона задних колес на управляемость и устойчивость легкового автомобиля: принят и введен в действие 10.12.2007 / В.И. Котляренко, А.П. Гусаров, А.А. Барашков, Э.Н. Никульников, М.Б. Сыропатов, Е.Б. Сперанский, Ю.Н. Козлов, Е.В. Балакина; Федеральное гос. унитар. предприятие «Науч.-исслед. центр по испытаниям и доводке автотехники». – Дмитров: ФГУП НИЦИАМТ, 2007.– 11 с.

7. РД 37.052.347-2010. Автотранспортные средства. Методы исследования эффективности систем динамической стабилизации легковых автомобилей: принят и введен в действие 26.08.2010 / Д. А. Загарин, А. П. Гусаров, А. А. Барашков, Э. Н. Никульников, М. Б. Сыропатов, Ю. Н. Козлов, А. М. Иванов, С. А. Лосев, С. С. Шадрин, А. А. Ревин, Е. В. Балакина; Научно-исследовательский центр по испытаниям и доводке автотехники (ФГУП «НАМИ»), Техн. служба по сертификационным испытаниям. – Пос. Автополигон (Моск. обл., Дмитровский р-н), 2010. – 28 с

### ***Прочие публикации по теме работы – 9 шт.***

### **Личный вклад автора в получение научных результатов:**

В ходе решения текущих задач, связанных с работой автора над диссертацией, были созданы научные результаты, реализованные в приведенных выше публикациях. Во всех работах автор принимал непосредственное участие в постановке задач, выполнении работ, проведении исследований и обсуждении полученных результатов.

Подписано в печать \_\_\_\_\_ 2012 г. Заказ № \_\_\_\_\_. Тираж 100 экз. Печ. л. 1,0.  
Формат 60×84. Бумага газетная. Печать офсетная.

Изд-во НАМИ, 125483, г. Москва, Автомоторная, д. 2.