

Дальнейшие теоретические исследования планируется осуществлять на математической модели данного автомобиля с использованием методов многокритериальной оптимизации, что позволит сформулировать законы управления и параметры гидрообъемной трансмиссии для дальнейшего проектирования.

Конечная цель работы – проведение параметрической многокритериальной оптимизации трансмиссии по показателям управляемости и устойчивости, тягово-скоростным и топливно-экономическим характеристикам.

Приложение 1.

«Гидроход» (рис. 4) представляет собой полноприводный автомобиль типа бхб с полнопоточной гидрообъемной трансмиссией с электронной системой управления.



Рис. 4. Экспериментальный автомобиль «Гидроход», испытания на управляемость и устойчивость, Дмитров, 2005.

Приводной двигатель внутреннего сгорания автомобиля развивает максимальную мощность $N_e = 187$ кВт (252 л.с.). Гидрообъемная трансмиссия (ГОТ) состоит из 3-х аксиально-плунжерных регулируемых, реверсивных и обратимых насосов и 6-ти аксиально-поршневых регулируемых и обратимых гидромоторов фирмы "Bosch Rexroth" (Германия). Каждый насос связан с 2-мя параллельно включенными гидромоторами, приводящими в движение колеса одной условной оси. ГОТ выполнена по закрытой схеме. Все три насоса имеют общий привод от двигателя через редуктор, образуя насосную станцию.

Многокритериальная параметрическая оптимизация в задачах совершенствования характеристик управляемости и устойчивости автотранспортных средств

д.т.н., проф. Бахмутов С.В., к.т.н., доц. Ахмедов А.А.
МГТУ «МАМИ»

Представлена математическая модель для выполнения многокритериальной параметрической оптимизации легкового автомобиля по критериям управляемости и устойчивости. Представлена методика постановки и решения задачи многокритери-

риальной периметрической оптимизации. Выполнена экспериментальная проверка математического описания. Представлены результаты решения ряда оптимизационных задач и даны практические рекомендации.

Разработка новых образцов автомобильной техники, а также совершенствование и доводка существующих – сложная многокритериальная задача, успешное решение которой во многом зависит от используемых оптимизационных алгоритмов и математического аппарата. В качестве математического аппарата используются математические описания агрегатов и систем автомобиля, внешней среды и управляющего объекта (например, водителя). В зависимости от решаемых задач автомобиль может рассматриваться как объект управления или возможен «системный подход», учитывающий свойства объекта, осуществляющего управление. Если в первом случае, кроме описания автомобиля и закона управления, возможен учет возмущающего фактора, например дорожного воздействия, то во втором – в обязательном порядке должен моделироваться водитель.

Изначально задачи многокритериальной оптимизации решались в одноэтапном виде. С этой целью разрабатывались оптимизационные алгоритмы и математические описания сложных технических объектов. Однако при решении сложных технических задач (применительно к автомобильной технике) использование подобного подхода сопряжено с известными трудностями. Очевидно, что одновременное варьирование большим числом параметров приводит к значительному увеличению размерности пространства параметров. Увеличение числа оптимизируемых параметров повышает чувствительность модели к их различным сочетаниям, что может привести к неустойчивой работе модели на отдельных режимах. При моделировании систем и агрегатов автомобиля использование математических описаний конкретных конструкций усложняет процесс перехода на другой конструктивный тип той или иной системы и агрегата. Более того, постановка задачи в "одноэтапном виде" не позволяет проводить «параллельно» отдельные этапы вычислений, что существенно сказывается на общей длительности процесса решения задачи.

Для решения объемных многокритериальных параметрических задач более целесообразен поэтапный подход, разработанный и реализованный научным коллективом кафедры «Автомобили» МГТУ «МАМИ». Данный подход известен как технология комплексной двухэтапной многокритериальной оптимизации эксплуатационных характеристик автомобиля (рис. 1) [1, 2].

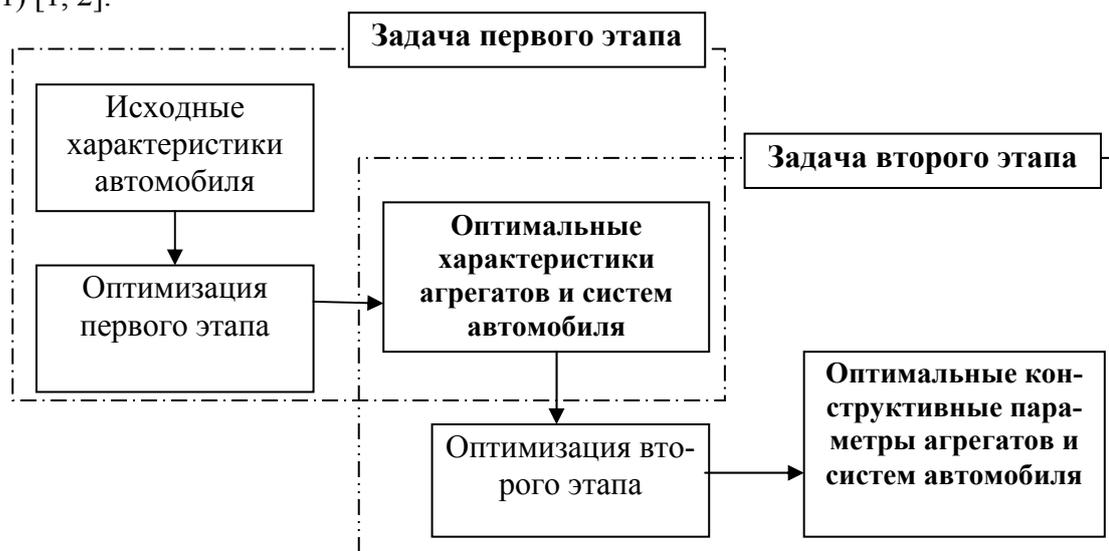


Рис. 1. Блок-схема решения задачи комплексной многокритериальной оптимизации

Технология реализована в два этапа: на первом - определяются оптимальные с позиции управляемости и устойчивости характеристики агрегатов и систем автомобиля, формирующие его управляемость и устойчивость. С этой целью математические модели агрегатов и систем заменяются универсальными описаниями интересующих рабочих характеристик. Последующее использование этих характеристик в уравнениях математической модели позволяет учесть влияние отдельных агрегатов и систем на поведение автомобиля независимо от их конкретного конструктивного исполнения. При этом многократно сокращается общая продолжительность вычислений с сохранением заданной степени точности получаемых результатов. Второй этап содержит поиск таких сочетаний конструктивных параметров агрегатов и систем автомобиля, которые обеспечивают максимальное приближение их рабочих характеристик к оптимальным (наиболее рациональным), полученным еще на первом этапе.

Основным инструментом, во многом определяющим эффективность решения задачи, является математическое описание технического объекта. С этой целью создана математическая модель автомобиля [2, 3], обеспечивающая оценку поведения во всех режимах, включая неустановившиеся по заносу, сносу и опрокидыванию, а также с учетом заданных дорожных условий (рис. 2). Управляющие воздействия представлены в виде определенных законов управления. Опорная поверхность описана микропрофилем с заданными статистическими характеристиками по колее; принято допущение о бесконечно малой деформации опорной поверхности по сравнению с шиной.

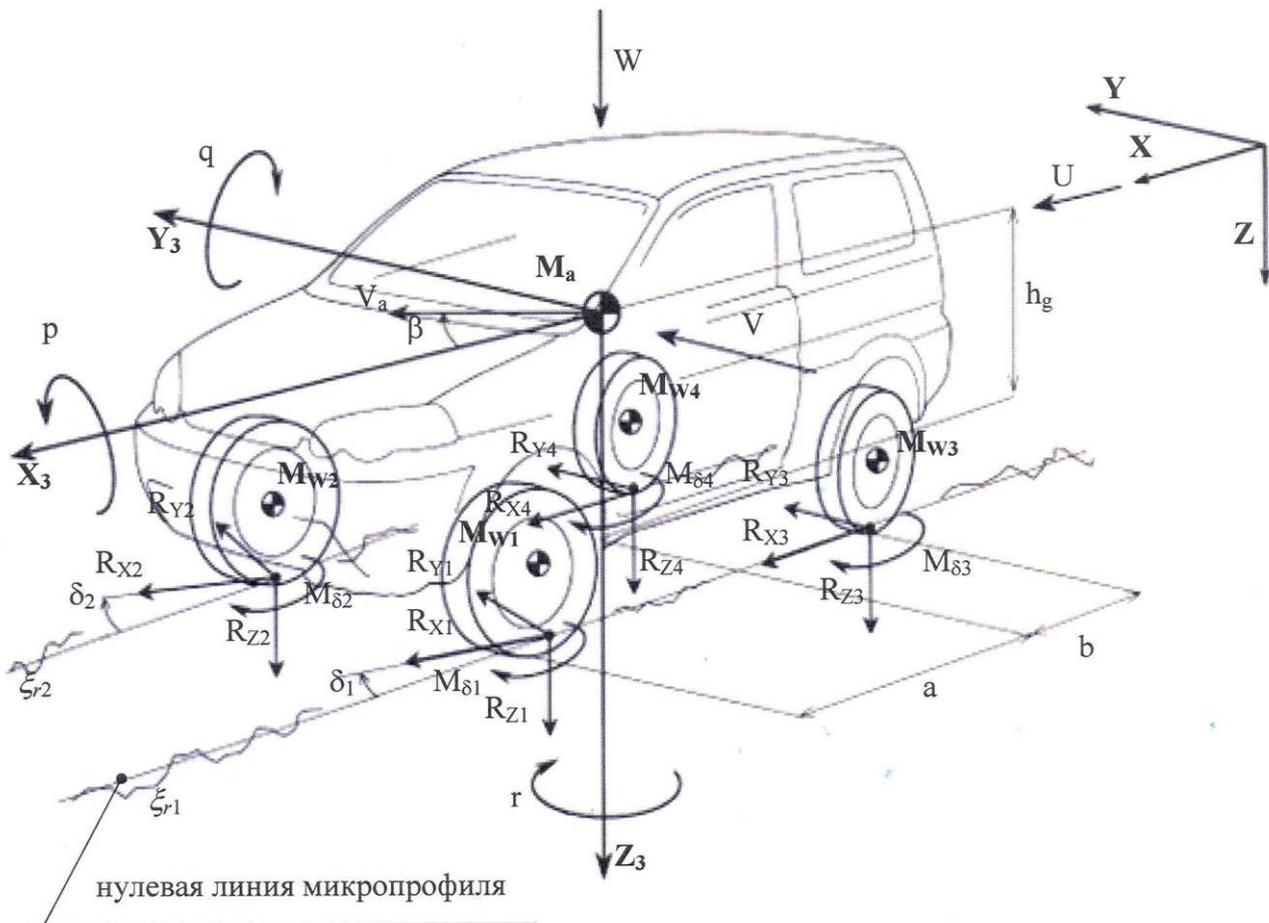


Рис. 2. Общая расчетная схема модели автомобиля.

Математическая модель автомобиля представлена уравнениями Эйлера-Лагранжа второго рода, которые в преобразованном виде образуют систему:

$$\left\{ \begin{array}{l} (\dot{U} - V \cdot r + W \cdot q) \cdot M_a = Q_1; \\ (\dot{V} + U \cdot r - W \cdot p) \cdot M_a = Q_2; \\ (\dot{W} + V \cdot p - U \cdot q) \cdot M_a = Q_3; \\ I_x \cdot \dot{p} - q \cdot r \cdot (I_y - I_z) - I_{zx} \cdot (\dot{r} + p \cdot q) = Q_4; \\ I_y \cdot \dot{q} - p \cdot r \cdot (I_z - I_x) + I_{zx} \cdot (p^2 - r^2) = Q_5; \\ I_z \cdot \dot{r} - p \cdot q \cdot (I_x - I_y) + I_{zx} \cdot (r \cdot q - \dot{p}) = Q_6; \\ \dot{W}_{w1} \cdot M_{w1} = Q_{w1}; \\ \dots \\ \dot{W}_{w4} \cdot M_{w4} = Q_{w4}; \end{array} \right. \quad (1)$$

где: U, V, W – проекции линейной скорости центра масс автомобиля соответственно на оси X, Y, Z подвижной системы координат; $\dot{U}, \dot{V}, \dot{W}$ – производные от соответствующих линейных скоростей; I_x, I_y, I_z – моменты инерции автомобиля относительно осей X, Y, Z ; I_{zx} – произведение инерции относительно осей X и Z ; r, p, q – проекции угловой скорости подрессоренной массы соответственно на оси X, Y, Z подвижной системы координат; $\dot{r}, \dot{p}, \dot{q}$ – производные от соответствующих угловых скоростей; M_a – подрессоренная масса автомобиля; M_{wi} – неподрессоренная масса автомобиля; Q_i – обобщенные силы в уравнениях движения подрессоренных элементов автомобиля; Q_{wi} – обобщенные силы, входящие в уравнения движения неподрессоренных элементов автомобиля; W_{wi} – проекции линейной скорости i -й неподрессоренной массы на ось Z подвижной системы координат; \dot{W}_{wi} – производные от соответствующих линейных скоростей.

Кинематические связи, обусловленные направляющим аппаратом подвески, учитываются посредством кинематических характеристик, определяющих относительные перемещения подрессоренной и неподрессоренных частей автомобиля (кузова и колес). Кинематические характеристики представлены в виде полиномов третьего порядка, которые описывают продольное и боковое смещения центра пятна контакта колеса относительно опорной поверхности, развал и доворот колеса в функции углов бокового и продольного кренов кузова и его вертикального перемещения.

Описание потенциальных и диссипативных сил в подвесках нелинейно и представлено полиномами второго порядка.

Обобщенные силы Q_i ($i = 1, \dots, 6$) и Q_{wi} ($i = 1, \dots, 4$), определяются как отношения работ активных, диссипативных и потенциальных сил к соответствующим перемещениям в направлении обобщенных координат:

$$\begin{aligned}
 Q_1 &= \sum_{i=1}^4 R_{xi} + F_{wi} \cdot \cos \beta ; \\
 Q_2 &= \sum_{i=1}^4 R_{yi} + F_{wi} \cdot \sin \beta ; \\
 Q_3 &= \sum_{i=1}^4 [M_{Di} \cdot S_{ZRi} + R_{yi} \cdot S_{ZYi} + R_{xi} \cdot S_{ZXi}] + \sum_{i=1}^2 [F_{SZFi}^{\circ}(Z_{wi}) + K_{SZFi}(W_{wi})] + \\
 &+ \sum_{i=3}^4 [F_{SZRi}^{\circ}(Z_{wi}) + K_{SZRi}(W_{wi})] + F_{SZFi}^{Stab}(Z_{w1}; Z_{w2}) + F_{SZRi}^{Stab}(Z_{w3}; Z_{w4}); \\
 Q_4 &= \sum_{i=1}^4 [M_{Di} \cdot S_{PRi} + R_{yi} \cdot S_{PYi} + R_{xi} \cdot S_{PXi}] + \\
 &+ M_{SPF}(P_a) + K_{SPF}(P) + M_{SPR}(P_a) + K_{SPR}(P); \\
 Q_5 &= \sum_{i=1}^4 [M_{Di} \cdot S_{QRi} + R_{yi} \cdot S_{QYi} + R_{xi} \cdot S_{QXi}] + \\
 &+ M_{SQF}(Q_a) + K_{SQF}(Q) + M_{SQR}(Q_a) + K_{SQR}(Q); \\
 Q_6 &= \sum_{i=1}^4 [R_{yi} \cdot X_{wi} - R_{xi} \cdot Y_{wi}] + C_N ; \\
 Q_{wi} &= -M_{Di} \cdot S_{ZRi} - R_{yi} \cdot S_{ZYi} - R_{xi} \cdot S_{ZXi} + R_{zi} + \\
 &+ K_{Si}^w(W_{wi}) - F_{SZF(R)}^{\circ}(Z_{wi}) - K_{SZF(R)}(W_{wi}) - F_{SZF(R)}^{Stab}(Z_{wi}^{F(R)}; Z_{w(i+1)}^{F(R)}),
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

где $i = 1, \dots, 4$.

Вертикальная реакция R_z определяется по величине радиальной деформации шины $(Z_w - \xi_r)$, где ξ_r - ордината микропрофиля дорожной поверхности.

Продольная R_x и боковая R_y реакции в пятне контакта определяются согласно известной методике в виде функций проскальзывания в продольном S_x и боковом S_y направлениях:

$$R_x = f_x(S_x, S_y), \quad R_y = f_y(S_x, S_y). \tag{3}$$

В общем виде функция проскальзывания представлена как:

$$F(S) = \sin(A \cdot \arctg(B \cdot S)) \tag{4}$$

где: A и B - коэффициенты, определяющие протекание функции проскальзывания.

$$R_x = R_{\Sigma} \cdot \varphi \cdot m_{sx} \cdot \frac{S_x}{S}, \quad R_y = R_{\Sigma} \cdot \varphi \cdot m_{sy} \cdot \frac{S_y}{S} \cdot (1 - \lambda) \tag{5}$$

где: m_{sx}, m_{sy} - параметры, определяющие влияние рассогласования векторов R_{Σ} и S на величины реакций R_x и R_y ; λ - динамическое уменьшение боковой реакции, отнесенное к установившемуся значению вертикальной реакции (т.е. в отсутствии влияния микропрофиля дороги), в функции частоты Ω и амплитуды A дорожного воздействия, а также скорости движения U_{wi} .

Параметр λ определяется с помощью специального единого параболического описания:

$$\lambda = \lambda_n \cdot [2 \cdot (K_U + K_O) \cdot \Delta_{\psi}^2 + (K_U - K_O) \cdot \Delta_{\psi} + 1] \tag{6}$$

где λ_n - значение параметра λ при исходном значении учитываемого фактора ψ , которым в нашем случае является один из Ω, A , или U_{wi} ; K_O и K_U - коэффициенты чувствительности шины к определенному уменьшению и увеличению фактора ψ от исходного значения. В то же время коэффициенты λ, K_O и K_U могут быть представлены в виде зависимости (6) от следующего из двух оставшихся факторов, и т.д.

Углы увода, входящие в аналитическое описание характеристик шин, определяются

через отношения поперечных и продольных составляющих поступательных скоростей центров колес с учетом угла поворота от среднего положения.

Рулевое управление представлено с помощью двух кинематических характеристик. Первая устанавливает зависимость угла поворота внутреннего управляемого колеса от угла поворота рулевого колеса, а вторая - определяет разницу в углах поворота управляемых колес.

Микропрофиль колеи дорожной поверхности представляет собой стационарный случайный процесс с корреляционной функцией:

$$R_{\xi}(\Delta t) = \sigma_{\xi}^2 \left[A_1 e^{-\alpha_1 |\Delta t|} + A_2 e^{-\alpha_2 |\Delta t|} \cos \beta_1 (\Delta t) + A_3 e^{-\alpha_3 |\Delta t|} \cos \beta_2 (\Delta t) \right] \quad (7)$$

Ординаты микропрофиля дороги представлены следующим образом:

$$\begin{cases} \xi_k = \xi_{k1} + \xi_{k2} + \xi_{k3}; \\ \xi_{k1} = a_{01} \varepsilon_{k1} + b_{11} \xi_{(k-1)1}; \\ \xi_{k2} = a_{02} \varepsilon_{k2} + a_{12} \varepsilon_{(k-1)2} + b_{12} \xi_{(k-1)2} + b_{22} \xi_{(k-2)2}; \\ \xi_{k3} = a_{03} \varepsilon_{k3} + a_{13} \varepsilon_{(k-1)3} + b_{13} \xi_{(k-1)3} + b_{23} \xi_{(k-2)3}. \end{cases} \quad (8)$$

$$k = 0, 1, \dots,$$

где $a_{i,j}$, $b_{i,j}$ – коэффициенты в выражении (8), формирующие стационарный случайный процесс;

h – шаг дискретизации.

С целью проверки адекватности математического описания на дорогах ФГУП НИЦИАМТ выполнены экспериментальные исследования. В качестве объекта испытаний использовался легковой автомобиль ВАЗ-1118. Исследования проводились в условиях ровной и неровной дороги при синусоидальном управляющем воздействии в диапазоне частот 0,2...2,5 Гц. В качестве дорог с известными характеристиками микропрофиля использовались асфальт (рис. 3) и булыжная дорога (рис. 4). Для измерения и регистрации необходимых параметров применялся бортовой комплект аппаратуры АО "АВТОВАЗ". В процессе испытаний регистрировались параметры: угол поворота рулевого колеса, угол поперечного крена кузова, угловая скорость поворота автомобиля вокруг вертикальной оси, боковое ускорение автомобиля.

Экспериментально определялись АЧХ и ФЧХ автомобиля соответственно для угловой скорости поворота автомобиля и бокового ускорения. Сопоставление результатов расчета с экспериментом представлено на соответствующих графиках (рис. 5).

Проверка адекватности используемой математической модели выполнялась посредством критерия Фишера.

Разработанная методика многокритериальной оптимизации основана на зондировании пространства варьируемых параметров точками равномерно распределенной LРт - последовательности [1, 3]. В каждой точке LРт рассчитываются значения критериев оптимальности (при условии удовлетворения функциональным ограничениям). Далее на полученные решения накладываются критериальные ограничения. В качестве таких ограничений выступают наихудшие значения критериев оптимальности, при которых автомобиль сохраняет удовлетворительный уровень свойств. Затем выполняется проверка разрешимости задачи. Она заключается в поиске решений, удовлетворяющих наложенным критериальным ограничениям. Если таких решений не существуют, то следует пересмотреть исходную задачу (изменить диапазоны варьирования параметров, изменить уровни критериальных ограничений, увеличить число тестовых точек, и т.п.). Такая процедура продолжается до тех пор, пока область допустимых решений окажется непустой. После этого строится множество Эджворта-Парето, анализ которого и позволяет выбрать оптимальное решение.

Согласно разработанной методике успешно решены оптимизационные задачи улучшения характеристик управляемости и устойчивости легковых автомобилей Москвич-2141

(1999 г.), прототип ВАЗ-1119 (2000 г.), УАЗ-3160 (2000 г.), прототип ВАЗ-1119 (2001 г.) и прототип ВАЗ-1118 (2004 г.). Результаты оптимизационных расчетов представлены в табл.1.

При постановке оптимизационных задач рассматривался набор, состоящий из 20 критериев управляемости и устойчивости, который по результатам анализа постановочной задачи уточнялся.



Рис. 3. Выполнение маневра "Синусоида" в условиях асфальтового покрытия.



Рис. 4. Выполнение маневра "Синусоида" в условиях булыжного покрытия.

Исходный набор критериев состоит из 20 оценочных показателей: запас управляющего момента (внутри и наружу траектории), запас стабилизирующего момента (внутри и наружу траектории), эффективность управления (внутри и наружу траектории), эффективность стабилизации (внутри и наружу траектории), поворачиваемость, чувствительность к управлению, статическая курсовая устойчивость, устойчивость к опрокидыванию, заброс угловой скорости при рывке руля, время пика реакции при рывке руля, время 90% реакции при рывке руля, эквивалентное время запаздывания реакции по угловой скорости (на синусоиде), фазовый сдвиг при частоте входного воздействия 0,75 Гц (на синусоиде), показатель колебательности (на синусоиде), коэффициент усиления на типовом режиме (на змейке).

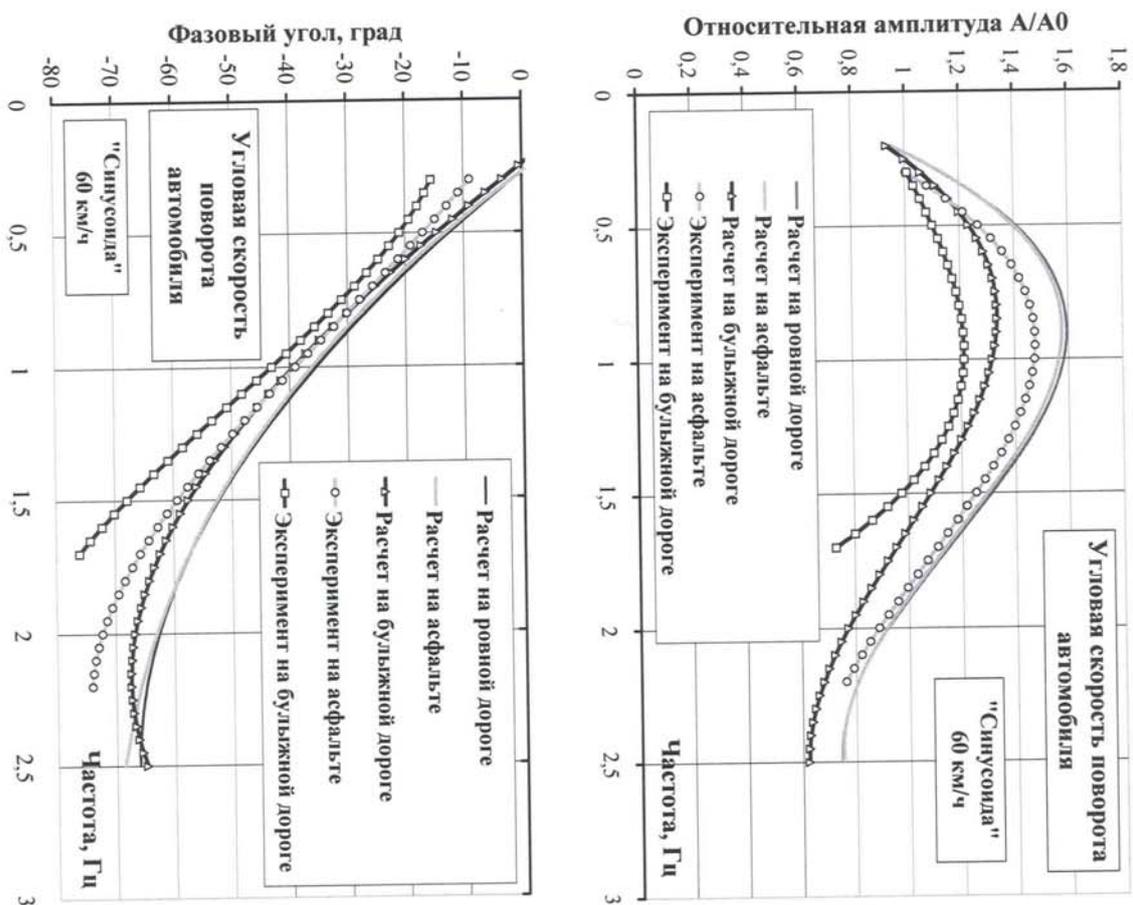
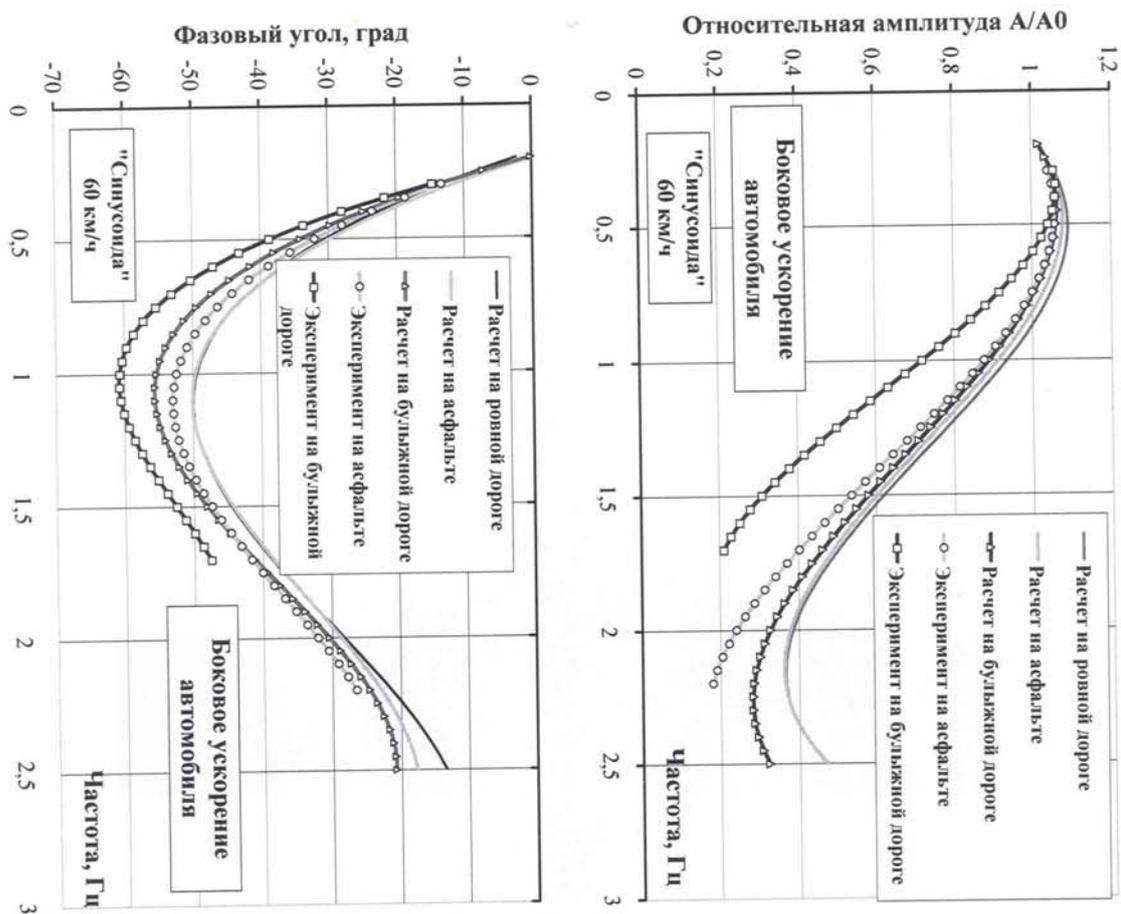


Рис. 5 Сопоставление расчетных и экспериментальных данных.



Результаты оптимизационных расчетов.

| Объект оптимизации | Москвич-2141 1999 г. | ВАЗ-1119 2000 г. | УАЗ-3160 2000 г. | ВАЗ-1118 2004 г. | ВАЗ-1119 2001 г. |
|---|---|---|---------------------|---------------------|-----------------------------|
| Оптимизируемые узлы и агрегаты | Передняя подвеска МакФерсон | Комплексная оптимизация конструктивных параметров подвески, рулевого управления и шины. | | | Передняя подвеска МакФерсон |
| Математическая модель | Одномассовая, с учетом кинематики неподрессоренных элементов по 4-м степеням свободы. | | | | |
| Количество критериев | 7 | 13 | 20 | 10 | 13 |
| Количество параметров | 12 | 45 | 45 | 45 | 21 |
| Количество пробных точек (в цикле) | 2048 | 2048 | 2048 | 2048 | 4096 |
| Среднее улучшение по всем критериям, %. | 12 | 26 | 27 | 33 | 11 |

В случае комплексной оптимизации подвески, рулевого управления и шины использовались 45 параметров (коэффициенты полиномов, описывающих характеристики кинематики, жесткости и демпфирования подвески и рулевого управления, а также силовые характеристики шин по уводу и продольному проскальзыванию).

В дальнейшем методика была усовершенствована с целью решения задач двухэтапной оптимизации с учетом влияния микропрофиля дорожной поверхности. Реализация оптимизационных процедур в их исходном виде, при действии случайных факторов, обусловленных микропрофилем дорожной поверхности, приводит к разбросу значений критериев. Если оптимизационные расчеты дополнить процедурой статистической обработки с предварительным накоплением результатов, объем, а, следовательно, и время вычислений возрастут многократно. В такой постановке задачи оптимизационные вычисления становятся практически нереализуемыми, даже с учетом быстродействия современных компьютеров.

Задача оптимизации конструктивных параметров автомобиля может быть решена следующим образом (рис. 6). Вначале целесообразно выполнить оптимизацию согласно первому этапу в условиях ровной дороги. Далее необходимо поставить "уточняющую" задачу оптимизации в условиях неровной дорожной поверхности, имеющую существенно меньшую размерность, чем исходная. По окончании процесса решения оптимизационной задачи в условиях неровной дороги предлагается выполнить процедуру комплексного анализа найденных решений.

Решены задачи оптимизации прототипа ВАЗ-1119 (2003 г.) в условиях асфальта и булыжной дороги удовлетворительного качества и прототипа ВАЗ-1118 (2004 г.) в условиях асфальта и "Бельгийской мостовой" (табл. 2). Для каждого из выбранных дорожных условий найдены решения, превосходящие оптимизированный в условиях ровной дороги автомобиль.

Разработана и реализована процедура анализа решений (рис. 6), найденных в процессе оптимизации в различных дорожных условиях. Анализ позволяет сопоставить любые решения, параметры которых оптимизированы в различных дорожных условиях.

Согласно расчетам по перспективному легковому автомобилю АО "АВТОВАЗ" в условиях неровной дороги установлено, что желательное изменение следующих конструктивных параметров (в сравнении с исходным вариантом в качественном и количественном отношении) (рис. 7).

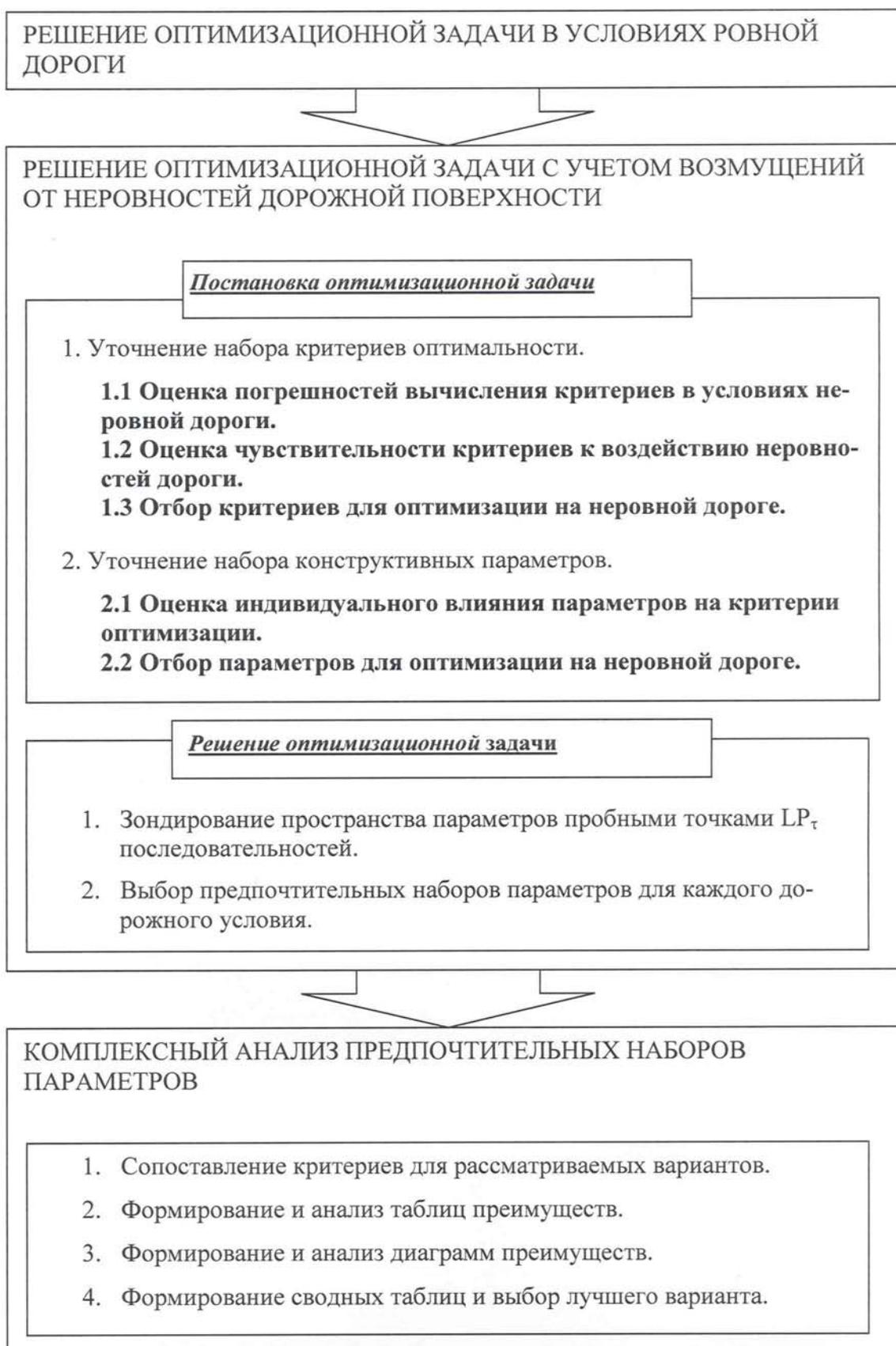


Рис. 6. Общий алгоритм решения оптимизационной задачи в условиях неровной дороги.

Обозначения: CPF и CPR – соответственно коэффициенты полиномов, описывающих угловые жесткости передней и задней подвесок при боковом крене кузова; KPF и KPR – соответственно коэффициенты полиномов, описывающих демпфирование в передней и задней подвесках при боковом крене кузова; $SPY(i)$ – коэффициент полинома характеристики ки-

нематики подвески, характеризующий боковое смещение i -го колеса при боковом крене кузова; $SPR(i)$ – коэффициент полинома характеристики кинематики подвески, характеризующий поворот (в горизонтальной плоскости) i -го колеса при боковом крене кузова; $RK1$ – коэффициент кинематической характеристики рулевого управления, представляющий отношение угла поворота рулевого колеса к углу поворота внутреннего управляемого колеса; ASX , BSX , CSX – соответственно коэффициенты характеристики продольного проскальзывания шины; ASY , BSY , CSY – соответственно коэффициенты характеристики бокового увода шины.

Таблица 2.

Результаты оптимизационных расчетов в условиях неровной дороги.

| Объект оптимизации | Прототип ВАЗ-1119 (2003 г.) | | Прототип ВАЗ-1118 (2004 г.) | |
|---|--|---------|--|---------|
| | Дорожные условия | Асфальт | Бульжная дорога удовлетворительного качества | Асфальт |
| Математическая модель автомобиля | 5-ти массовая с учетом динамики неподрессоренных масс по одной степени свободы. Кинематика неподрессоренных масс учитывается по 5-ти степеням свободы. | | | |
| Оптимизируемые узлы и агрегаты | Комплексная оптимизация конструктивных параметров подвески, рулевого управления и шины | | | |
| Количество критериев | 3 | 8 | 4 | 5 |
| Количество параметров | 16 | 14 | 17 | 15 |
| Количество пробных точек (в цикле) | 1024 | 1024 | 1024 | 1024 |
| Среднее улучшение по всем критериям, %. | 9 | 12 | 12 | 13 |

Рассмотренный метод двухэтапной оптимизации универсален и достаточно эффективен, особенно при доводке автотранспортной техники без учета дорожных условий (при допущении об идеально ровной недеформируемой опорной поверхности). Дальнейшее развитие методики возможно за счет совершенствования процедуры постановки оптимизационной задачи с регулируемыми параметрами. Возможно решение задачи в системе «водитель-автомобиль-дорога» за счет введения модели водителя, адаптированной к выполнению оптимизационных процедур. Подобная модель создана и в настоящее время ведутся работы по ее доводке.

Методика решения оптимизационной задачи с учетом стохастического воздействия со стороны микропрофиля дорожной поверхности с использованием детерминированных моделей не лишена недостатков. Первоначально происходит накопление результатов, а далее следует сложная процедура статистической обработки результатов, завершающаяся начислением баллов и построением диаграмм. В то же время возможен принципиально иной подход к решению подобных задач, связанный с переходом на стохастические модели. Сущность его заключается в использовании пространственной математической модели с определением вероятностных характеристик параметров движения автомобиля как случайных функций пути [4]. Далее, с учетом анализа найденных случайных функций, отыскиваются необходимые вероятностные характеристики тех же параметров, но уже в виде случайных временных функций. В этом случае существенно упрощается процедура определения вероятностных характеристик внешнего возмущения как случайных временных функций.

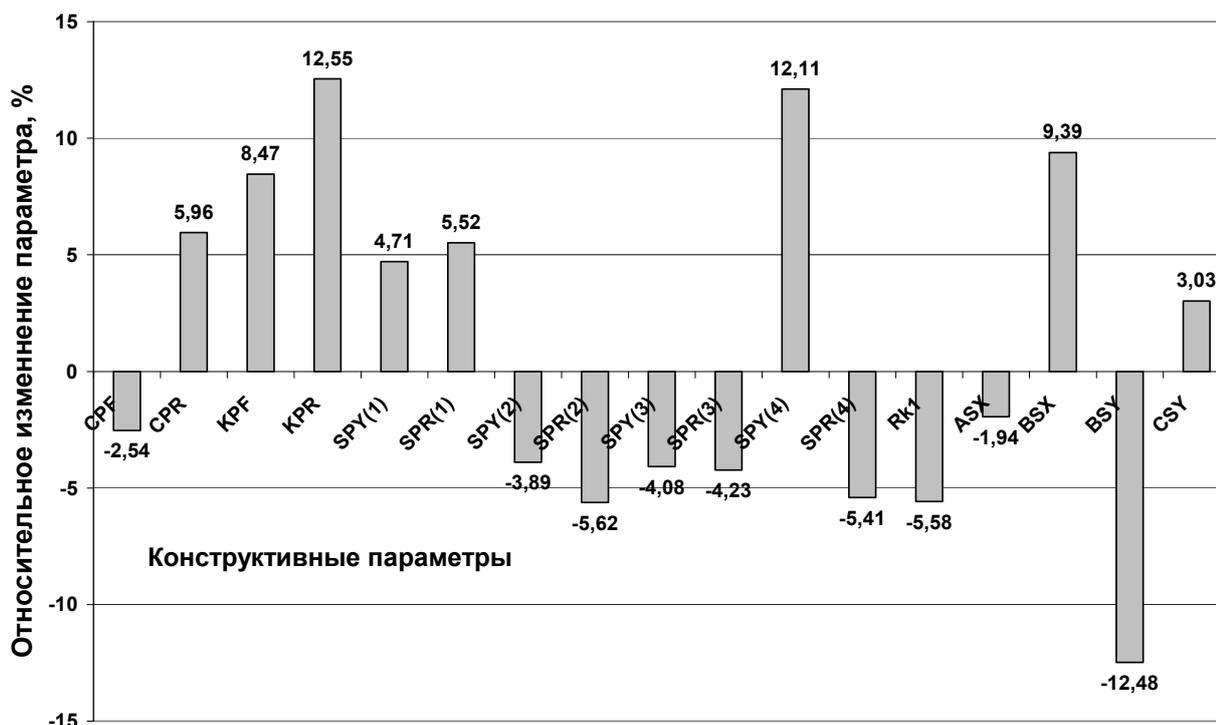


Рис. 7. Рекомендации к изменению конструктивных параметров перспективного легкового автомобиля АО "АВТОВАЗ".

С целью реализации этого метода предполагается доработать существующие математические модели, что существенно упростит процедуру обработки результатов моделирования. Данный подход по праву можно считать более перспективным, так как при этом сохраняется общий принцип поэтапной технологии многокритериальной оптимизации, эффективность которого неоднократно подтверждалась в ходе решения задач по проектированию и доводки автомобильной техники.

Литература

1. Бахмутов С.В., Богомолов С.В., Висич Р.Б. Технология двухэтапной оптимизации эксплуатационных свойств автомобиля. "Автомобильная промышленность", стр. 32-35. 1998, №12.
2. Бахмутов С.В., Богомолов С.В., Висич Р.Б., Карунин М.А. Математическая модель легкового автомобиля для его оптимизации по критериям управляемости и устойчивости. Сб. избр. докладов межд. науч. симпозиума "Автотракторостроение. Промышленность и высшая школа", М. МГТУ "МАМИ", 1999, ISBN: 5-94099-001-0.
3. Бахмутов С.В., Ахмедов А.А., Карунин А.Л. Совершенствование характеристик управляемости и устойчивости легкового автомобиля в условиях случайного микропрофиля дороги. // "Современные тенденции развития автомобилестроения в России" (сборник трудов). Т. 2, стр. 70–76. Гольягги. 26-28 мая 2004.
4. Савочкин В.А., Дмитриев А.А. Статистическая динамика транспортных и тяговых машин. М. Машиностроение. 1993. – 320 с.

Гибридные автомобили – решение экологической проблемы автомобильного транспорта

к.т.н., проф. Селифонов В.В., Карпухин К.Е., Филонов А.И., Баулина Е.Е., Авруцкий Е.В.
МГТУ «МАМИ»

Описаны преимущества автомобилей с гибридными силовыми установками (ГСУ), рассмотрены схемы гибридных силовых установок автомобилей. Представлена конструкция разработанного экспериментального полноприводного автомоби-