ских моделей как автомобиля, так и его агрегатов и систем. Поэтому в данный момент ведется работа по созданию новых, модернизации и расширению потенциальных возможностей существующих математических моделей, разработке необходимого программного обеспечения для дальнейшего внедрения в пакет STABCON 2.0. В то же время стратегия развития программного комплекса предусматривает внедрение в его среду различных программных модулей и самостоятельных программ, совместимых по инструментальным средствам их написания, которые предназначены для решения поставленных задач.

Литература

1. http://www.psi-movi.com/

Получение законов регулирования конструктивных параметров подвески автомобиля методом многокритериальной оптимизации

д.т.н. проф. Бахмутов С.В., к.т.н. доц. Ахмедов А.А., Орлов А.Б.
МГТУ “МАМИ»
akhm@mami.ru, 8 (495) 223-05-23, доб. 15-04

Аннотация. Описана двухэтапная методика постановки и решения многокритериальных параметрических оптимизационных задач по критериям управляемости и устойчивости автомобильной техники. Методика позволяет решать задачи проектирования и доводки колесной автомобильной техники с учетом качества дорожной поверхности в системе «Водитель-Автомобиль-Дорога». В процессе решения задачи найдены законы регулирования величин параметров жесткости и демпфирования подвески двухосного легкового автомобиля для различных дорожных условий.

Ключевые слова: многокритериальная параметрическая оптимизация, автомобильная техника, управляемость и устойчивость, система «Водитель-Автомобиль-Дорога», подвеска автомобиля.

Известна методика постановки и решения многокритериальных параметрических задач проектирования и доводки автомобильной техники, реализуемая в два этапа (рисунок 1) [1]. Проектная технология реализована применительно к управляемости и устойчивости автомобиля с использованием метода решения многокритериальных параметрических задач, разработанного Соболем И.М., Статниковым Р.Б. [2].

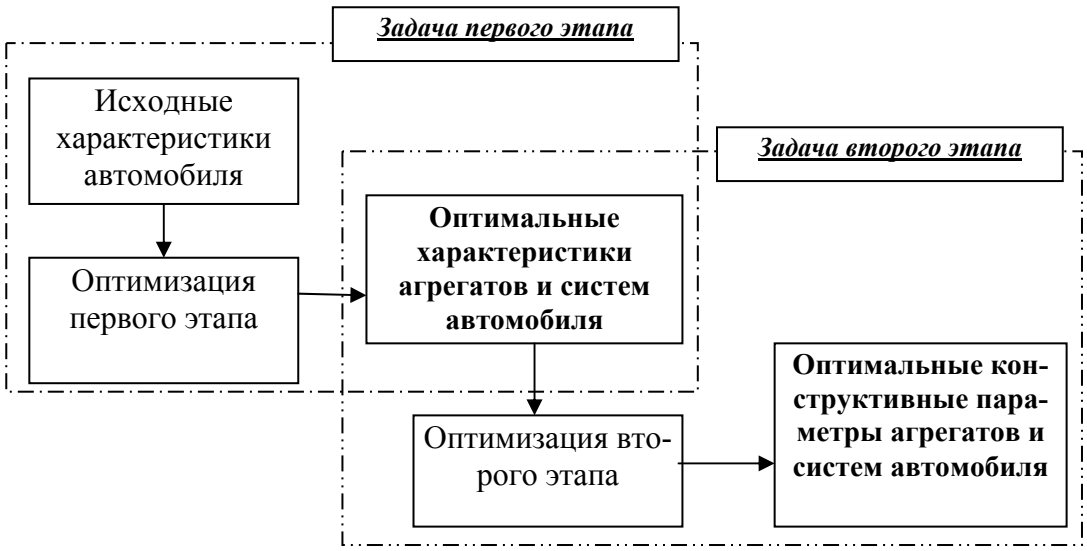


Рисунок 1 - Блок-схема решения задачи комплексной многокритериальной оптимизации

На первом этапе узлы и агрегаты автомобиля представлены универсальными рабочими

характеристиками, не зависимыми от конструктивных особенностей известных расчетных схем. По критериям оптимальности выполняется поиск параметров рабочих характеристик узлов и агрегатов автомобиля. На втором этапе выполняется поиск конструктивных параметров реального узла или агрегата автомобиля. Условием поиска является приближение рабочей характеристики выбранного узла или агрегата к оптимальной, найденной на первом этапе решения задачи.

Преимущество методики заключается в простоте математического описания автомобиля на первом этапе, из-за отсутствия жесткой привязки к его конструктивному исполнению, что существенно сокращает время поиска оптимальных решений и повышает стабильность вычислений. На втором же этапе параллельно решаются задачи поиска конструктивных параметров реальных узлов и агрегатов.

В процессе реализации методики создан математический аппарат, описывающий двухосные и трехосные автомобили, обеспечивающий оценку поведения во всех режимах, включая критические по заносу, сносу и опрокидыванию, а также с учетом заданных дорожных условий. Пример расчетной схемы двухосного автомобиля и объекта исследований представлен на рисунке 2. Выполнены экспериментальные исследования на дорогах НИЦИАМТ ФГУП НАМИ с целью проверки адекватности математических моделей.

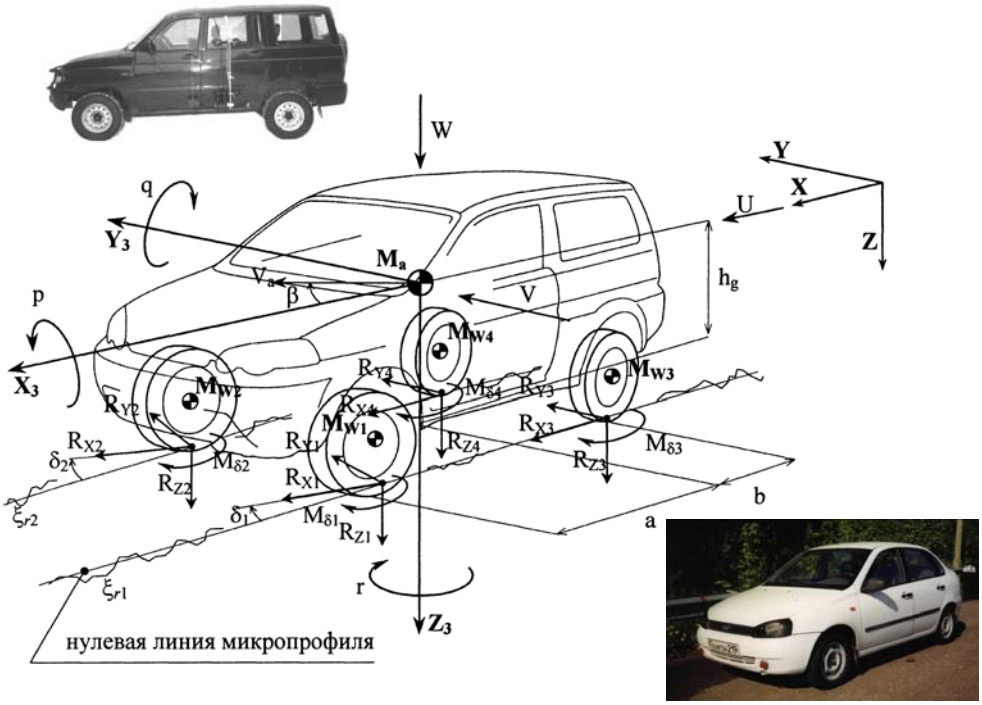


Рисунок 2 – Расчетная схема двухосных автомобилей и исследуемые экспериментальные образцы

Задачи решались с использованием критериев управляемости и устойчивости, в наибольшей степени коррелирующие с субъективными экспертными оценками водителей-испытателей:

- запасы управляющего момента (внутрь и наружу траектории);
- запасы стабилизирующего момента (внутрь и наружу траектории);
- эффективности управления (внутрь и наружу траектории);
- эффективности стабилизации (внутрь 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 змейке);
- фазовый сдвиг при частоте входного воздействия 0,75 Гц (на змейке);
- показатель колебательности (на змейке);
- коэффициент усиления на типовом режиме (на змейке).

При составлении математического описания первого этапа использовались универсальные характеристики кинематики, жесткости и демпфирования подвески, рулевого управления, шин и трансмиссии.

В таблице 1 представлены группы задач, решаемых в системе «Водитель-Автомобиль-Дорога» (рисунок 3).

Таблица 1

Задачи, решаемые в системе «Водитель-Автомобиль-Дорога»

Группа	Описание
1	Автомобиль рассматривается как объект управления (А). Условия эксплуатации: ровная дорога или недеформируемый случайный микропрофиль
2	Автомобиль рассматривается как объект управления (АД). Учитываются условия эксплуатации и регулируемые параметры
3	Автомобиль рассматривается в системе «Водитель-Автомобиль-Дорога» (ВАД). Учитываются условия эксплуатации, регулируемые параметры и водитель как управляющее звено

Задачи групп 1 и 2 отлажены и решены по роду объектов. Задачи группы 3 находятся в стадии отладки.

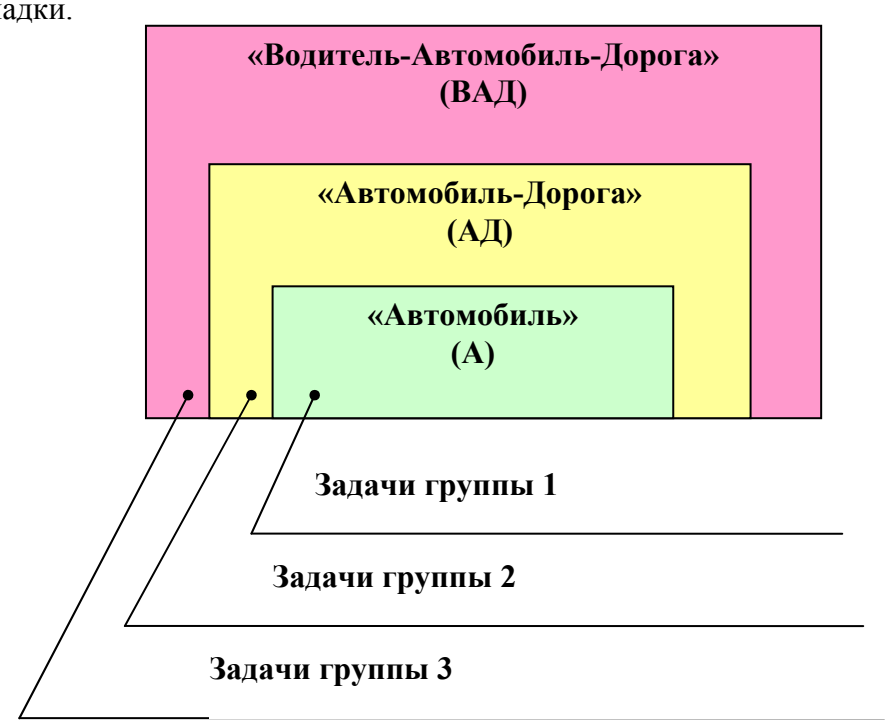


Рисунок 3 – Оптимизационные задачи, решаемые научным коллективом

В процессе постановки и решения оптимизационных задач группы 1 рассматривается только автомобиль как объект управления. Опорная поверхность – идеально ровная (первая подгруппа). Задачи первого этапа содержат модели автомобиля, узлы и агрегаты которых представлены рабочими характеристиками. В процессе решения выполняется поиск параметров, описывающих рабочие характеристики. Задачи второго этапа содержат модели реальных конструкций узлов и агрегатов автомобиля. Примеры решения оптимизационных задач группы 1 представлены в таблице 2.

В случае комплексной оптимизации подвески, рулевого управления и шины, использовались 45 параметров (коэффициенты полиномов, описывающих характеристики кинемати-

ки, жесткости и демпфирования подвески и рулевого управления, а также силовые характеристики шин по уводу и продольному проскальзыванию).

Таблица 2

Примеры решения оптимизационных задач в условиях ровной дороги

Объект оптимизации	ВАЗ-1119 2000 г.	УАЗ-3160 2000 г.	ВАЗ-1118 2004 г.	ВАЗ-1119 2001 г.
Оптимизируемые узлы и агрегаты	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	13	20	10	13
Количество варьируемых параметров	45	45	45	21
Количество пробных точек (в цикле)	2048	2048	2048	4000
Среднее улучшение по всем критериям, %.	26	27	33	11

Разработана методика, позволяющая решать задачи двухэтапной оптимизации с учетом влияния микропрофиля дорожной поверхности (задачи второй подгруппы). На первом шаге решается задача в условиях ровной дороги. Далее ставится уточняющая задача меньшей размерности в условиях неровной дороги. Примеры решенных задач данной подгруппы представлены в таблице 3.

Таблица 3

Примеры решения оптимизационных задач с учетом дорожной поверхности

Объект оптимизации	Прототип ВАЗ-1119 (2003 г.)		Прототип ВАЗ-1118 (2004 г.)	
Дорожные условия	Асфальт	Булыжная дорога удовлетворительного качества	Асфальт	"Бельгийская мостовая"
Математическая модель автомобиля	5-ти массовая с у четом 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 варьируемых параметров	16	14	17	15
Количество пробных точек (в цикле)	1024	1024	1024	1024
Среднее улучшение по всем критериям, %.	9	12	12	13

В случае постановки и решения оптимизационных задач группы 2. Опорная поверхность – недеформируемый микрпрофиль, а конструктивные параметры подразделяются на фиксированные (1) и регулируемые (2). Задачи первого этапа содержат модели автомобиля, узлы и агрегаты которых представлены рабочими характеристиками, представляющими полиномы второй и третьей степени. Выполняется поиск параметров, описывающих рабочие характеристики (1), и законов регулирования рабочими характеристиками (2). Задачи второго этапа содержат модели реальных конструкций узлов и агрегатов автомобиля.

Задача группы 2 решалась для двухосного автомобиля семейства ВАЗ. В процессе решения задачи выполнялся поиск законов регулирования параметрами жесткости и демпфирования подвески с учетом реального микропрофиля дороги. Исходными данными для постановки задачи являются результаты решения задачи оптимизации данного автомобиля в условиях ровной дороги. Далее все параметры, кроме регулируемых, считаем фиксированными.

Характеристики регулирования параметра C_x представлены полиномом второй степени:

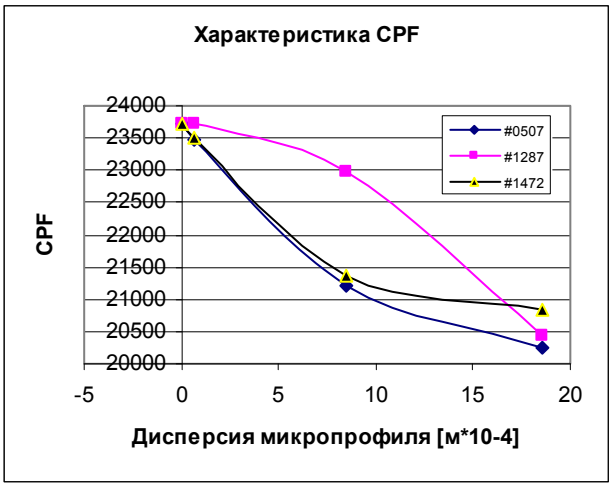
$$C_x = A_0 + A_1 x + A_2 x^2 .$$

В качестве переменной x использовались значения среднеквадратичного вертикального ускорения центра масс кузова автомобиля $\ddot{Z}_{cp}$.

Значения характеристик регулирования представлены для параметра C_x, принимающего ненулевые значения для данного автомобиля. Исходные значения C_x найдены в процессе решения задачи в условиях ровной дороги.

В процессе решения задачи пространство параметров зондировалось 4096 пробными точками. В результате найдены три паретооптималных варианта характеристик регулирования жесткости и демпфирования подвески автомобиля.

На рисунках 4 и 5 представлены характеристики регулирования параметра C_x жесткости и демпфирования подвески автомобиля в зависимости от дисперсии микропрофиля дороги, имеющего корреляционную связь с вертикальным ускорением центра масс кузова автомобиля.



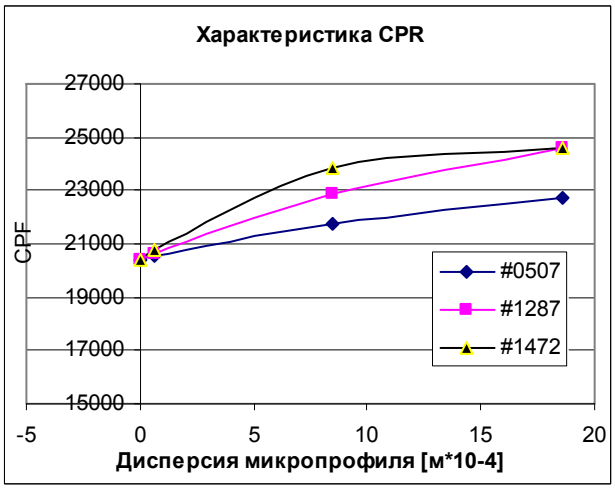
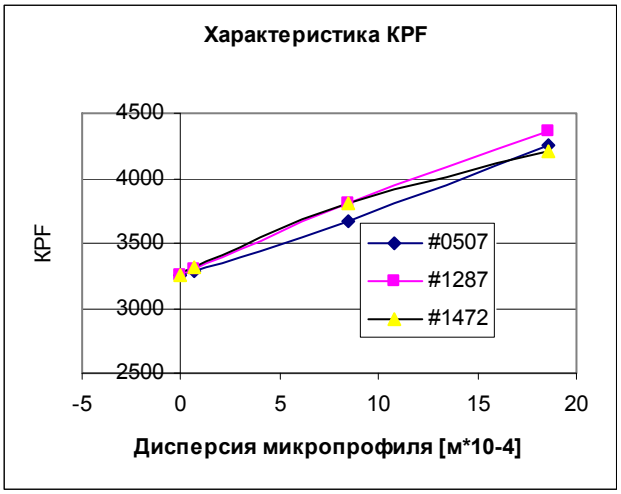


Рисунок 4 – Характеристики регулирования жесткостью при боковом крене передней CPF и задней CPR подвески в условиях микропрофиля дороги

Исходными данными для постановки и решения задачи оптимизации в системе «Водитель-Автомобиль-Дорога» (ВАД) (задачи группы 3) служат результаты решения задачи без учета водителя (АД) и с учетом водителя, но без учета микропрофиля дороги, то есть в системе Водитель-Автомобиль (ВА). В процессе решения задачи выполняется поиск конструктивных параметров подвески и законов регулирования их с учетом квалификации водителя.

Поиск базовых значений конструктивных параметров в зависимости от квалификации водителя выполняется в процессе решения задачи системы ВА. Поиск законов регулирования конструктивными параметрами в системе ВАД выполняется с учетом результатов решения задачи в системе ВА и в условиях АД.



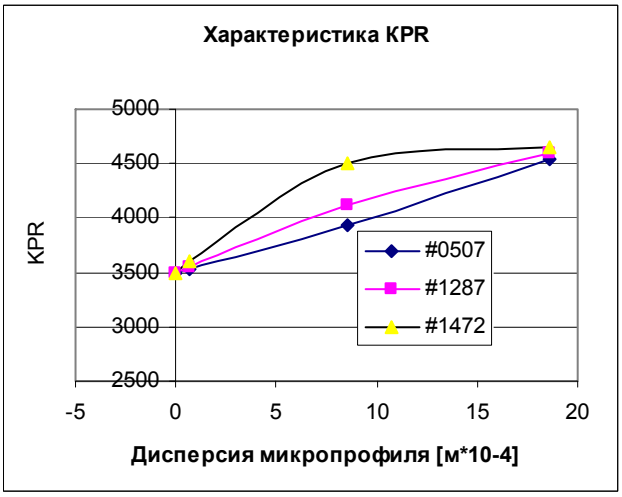


Рисунок 5 – Характеристики регулирования демпфированием при боковом крене передней KPF и задней KPR подвески в условиях микропрофиля дороги

Разработанная методика, реализованная в виде прикладного программного комплекса, позволяет в короткие сроки, не прибегая к созданию опытных образцов, определять оптимальные конструктивные параметры автомобиля по заданным критериям качества.

Выводы

Качественное и количественное изменение характеристик упругости и демпфирования подвески (рисунки 4 и 5) объясняется сочетанием конструктивных параметров конкретного автомобиля, найденным на предыдущем шаге постановки и решения оптимизационной задачи.

Полученные законы регулирования позволяют улучшить характеристики управляемости и устойчивости легкового двухосного автомобиля с учетом микропрофиля дорожной поверхности по сравнению с автомобилем, оптимизированным в условиях ровной дороги.

В дальнейшем возможна реализация полученных законов в системе регулирования конструктивных параметров подвески, обеспечивающей адаптацию автомобиля к условиям эксплуатации.

Литература

1. Бахмутов С.В., Ахмедов А.А. Многокритериальная параметрическая оптимизация в задачах совершенствования характеристик управляемости и устойчивости автотранспортных средств. //«Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. – М., МГТУ «МАМИ», № 2 (4) 2007 г.
2. Соболь И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями – М.: Дрофа, 2006. с. 175.