

Литература

- Биргер И.А. Определение усилий в резьбовых соединениях: методические рекомендации МР 207-86/ И.А. Биргер, Н.Л. Клячкин, И.С. Антонов и др. – М.: Госстандарт, 1986.-57 с.
- Левина З.М., Решетов Д.Н. Контактная жесткость машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 264 с.
- Антонов И.С. Диссипация энергии в резьбовых соединениях // Известия ВУЗов. Машиностроение, 1996. № 1-3. С. 18-22.
- Панков А.В. Исследование влияния нелинейности характеристик податливости односрезных болтовых соединений на распределение усилий по болтам. Тр. ЦАГИ, 1989. Вып. 2428. С.21-25.
- Гольдсмит В. Удар. Теория и физические свойства соударяемых тел. М.: Стройиздат, 1965. 448 с.
- Антонов И.С. Расчет резьбовых соединений при динамическом нагружении в плоскости стыка // Исследование, конструирование и расчет резьбовых соединений.- Саратов: Изд. Саратовского университета, 1988. Вып. VIII. С. 45-53.
- Антонов И.С. О рациональном проектировании резьбовых соединений транспортных средств. // Проектирование колесных машин.- М.: Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. С. 160-170.

Методика оптимизации законов регулирования подвески автомобиля с учетом условий эксплуатации

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. 1508

Аннотация. Представлена методика постановки и решения многокритериальных параметрических задач с регулируемыми параметрами. Предложены три варианта решения задачи. Получены характеристики регулирования конструктивных параметров подвески легкового автомобиля класса В с учетом микропрофиля дороги.

Ключевые слова: многокритериальная параметрическая оптимизация, автомобильная техника, управляемость и устойчивость, подвеска автомобиля, микропрофиль дороги.

В процессе создания новой автомобильной техники в обязательном порядке необходимо учитывать условия эксплуатации. Известна методика оптимального проектирования, созданная с целью разработки и доводки автомобилей с учетом постоянных условий эксплуатации и реализованная в виде прикладного программного комплекса Stabcon 1.0 [1]. В дальнейшем методика была усовершенствована с учетом микропрофиля дороги [2]. Стало возможным осуществлять поиск оптимальных законов регулирования конструктивных параметров в зависимости от дорожных условий. Реализация методики возможна на автомобилях с адаптивными системами регулирования узлов и агрегатов. Усовершенствованная методика легла в основу новой версии программного комплекса Stabcon 2.0 [3]. В основе реализации оптимизационных процедур заложена известная методика исследования пространства параметров пробными точками L_{pt} последовательности [4, 5].

Первый вариант методики [2] реализован в виде пошаговой процедуры, на первом шаге которой выполняется оптимизация без учета дорожных возмущений, то есть в условиях идеально ровной дорожной поверхности. В результате, находим конструктивные параметры, не подлежащие регулированию (фиксированные), а также значения регулируемых параметров, которые в дальнейшем используем как исходные. На втором шаге оптимизации находим значения конструктивных параметров в различных дорожных условия, а на третьем шаге - аппроксимируем результаты в виде полиномов, которые в дальнейшем считаем оптимальными законами регулирования.

Недостатком методики является поиск значений фиксированных конструктивных параметров автомобиля без учета условий эксплуатации. Более того, пошаговый метод предполагает поэтапное сужение пространства параметров и области поиска, что приводит к «обеднению» задачи [4]. В то же время, отказ от пошагового сужения задачи и поиск решений в полной многомерной области - длительный процесс, даже с учетом быстрогодействия современных ЭВМ; при этом успех решения напрямую зависит от постановки задачи. В то же время, при малом числе конструктивных параметров, например при решении задачи доводки автомобиля, поиск оптимальных решений без предварительного пошагового сужения задачи может быть оправдан и эффективен. В связи с этим разработана новая стратегия постановки и решения задач оптимизации с регулируемыми конструктивными параметрами, реализованная в трех вариантах (рисунок 1).

Вариант 1. Методика пошагового решения задачи

Методика содержит три основных блока:

Блок 1. Оптимизация с фиксированными параметрами. Выполняется постановка и решение задачи оптимизации рабочих характеристик узлов и агрегатов автомобиля согласно известной методике [3], при этом все конструктивные параметры являются фиксированными, то есть постоянными. Решение задачи выполняется с учетом постоянных и наиболее вероятных условий эксплуатации. В случае с автомобилем, предназначенным для эксплуатации в условиях дорог с усовершенствованным типом покрытия, в качестве микропрофиля дороги может быть выбран асфальт. В процессе решения задачи находим оптимальные для выбранных дорожных условий параметры рабочих характеристик узлов и агрегатов автомобиля. Для узлов, параметры которых регулируются в процессе эксплуатации, найденные параметры служат исходными точками для постановки и решения задачи с регулируемыми параметрами.



Рисунок 1 – Методика постановки и решения задачи оптимизации, представленная в трех вариантах

Результат. Набор фиксированных конструктивных параметров и исходных значений регулируемых параметров.

Пример. Пусть характеристика жесткости подвески при боковом крене кузова задана полиномом второй степени:

$$C_p(\alpha) = A_0 + A_1\alpha + A_2\alpha^2, \quad (1)$$

где: α - угол крена кузова,

A_0, A_1, A_2 - коэффициенты полинома.

В результате выполнения блока 1 находим значения коэффициентов A_0, A_1, A_2 для наиболее вероятных дорожных условий ξ_0 .

Блок 2. Оптимизация с регулируемыми параметрами. Выполняется постановка и решение задачи оптимизации законов регулирования рабочих характеристик узлов и агрегатов автомобиля согласно известной методике [3]. При этом используем только параметры рабочих характеристик регулируемых узлов и агрегатов; остальные параметры считаем оптимальными для данного автомобиля.

Выбирается несколько дорожных условий, как правило, не менее трех, характеризующих определенными параметрами (например, дисперсией микропрофиля дороги). В каждом из выбранных дорожных условий выполняется поиск параметров рабочих характеристик узлов и агрегатов автомобиля. Найденные лучшие парето-оптимальные решения для каждого из дорожных условий сохраняются и используются в процедуре анализа.

Результат. Парето-оптимальные решения, содержащие значения регулируемых параметров для каждого из выбранных дорожных условий.

Пример. В результате выполнения блока 2 находим значения коэффициентов A_0, A_1, A_2 выражения (1) для каждого из остальных дорожных условий в отдельности $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_n$.

Блок 3. Анализ результатов и построение характеристик регулирования. Выполняется анализ парето-оптимальных решений, найденных в различных дорожных условиях. Выполняется построение и аппроксимация законов регулирования рабочих характеристик узлов и агрегатов автомобиля.

Результат. Оптимальное решение, содержащее законы регулирования конструктивных параметров в зависимости от дорожных условий.

Пример. В результате выполнения блока 3 задаем законы регулирования коэффициентов A_0, A_1, A_2 :

$$A_0(\xi) = A_{00} + A_{10}\xi + A_{20}\xi^2; \quad (2)$$

$$A_1(\xi) = A_{01} + A_{11}\xi + A_{21}\xi^2; \quad (3)$$

$$A_2(\xi) = A_{02} + A_{12}\xi + A_{22}\xi^2; \quad (4)$$

Затем находим значения коэффициентов $A_{00}, A_{10}, A_{20}, \dots, A_{02}, A_{12}, A_{22}$.

Достоинства методики пошагового решения задачи.

Сокращение размерности оптимизационной задачи, а, следовательно, и сокращение объема и времени вычислений.

Сокращение времени вычислений за счет параллельно решаемых задач в каждом из выбранных дорожных условий.

Нерегулируемые параметры ориентированы на наиболее вероятные условия эксплуатации.

Недостатки методики пошагового решения задачи.

Выполняется поиск фиксированных параметров только в исходных дорожных условиях. В дальнейшем, значения данных параметров считаем оптимальными, что приводит к потере иных вариантов в остальных дорожных условиях (обеднение задачи).

Влияние субъективного фактора при аппроксимации законов регулирования рабочих характеристик.

Вариант 2. Методика непрерывного решения задачи.

Блок 1. Постановка задачи оптимизации. Выполняется постановка задачи оптимизации рабочих характеристик и законов регулирования рабочих характеристик узлов и агрегатов автомобиля. Дорожные условия представлены параметрами (например, дисперсия микропрофиля дороги) и назначаются ограничения данных параметров. Законы регулирования представлены выбранными формами (например, полиномы заданной степени, экспоненциальный и др.).

Результат. Постановка задачи; набор критериев; набор конструктивных параметров (фиксированных и регулируемых) и их ограничений; набор параметров законов регулирования и их ограничений; набор параметров дорожных условий и их ограничений.

Пример. В результате выполнения блока 1 задаем законы регулирования коэффициентами A_0, A_1, A_2 согласно выражениям (2) – (4).

Блок 2. Решение задачи оптимизации. Выполняется оптимизация в максимальном пространстве параметров, заданном параметрическими ограничениями: фиксированных конструктивных параметров, регулируемых конструктивных параметров, дорожных условий. По заданным ограничениям параметров законов регулирования в процессе поиска определяются параметры характеристик узлов и агрегатов автомобиля. Далее, в заданных дорожных условиях определяются все критерии для данного варианта. Затем процедура повторяется для следующего варианта, согласно [4, 5].

Результат. Парето-оптимальные решения, содержащие наборы конструктивных параметров и параметры законов регулирования.

Пример. В результате выполнения блока 2 находим значения коэффициентов $A_{00}, A_{10}, A_{20}, \dots, A_{02}, A_{12}, A_{22}$

Блок 3. Анализ результатов решение задачи. Выполняется анализ парето-оптимальных решений. При необходимости возможна коррекция постановки задачи (блок 1) с последующим повторением процедуры решения задачи (блок 2).

Результат. Оптимальное решение, содержащее законы регулирования конструктивных параметров в зависимости от дорожных условий.

Достоинства методики непрерывного решения задачи.

- единый подход к решению задачи.
- широкая область поиска.
- в меньшей степени влияние субъективного фактора в процессе принятия окончательного решения, что объясняется наличием заранее выбранных форм описания характеристик регулирования.
- недостатки методики непрерывного решения задачи.
- большой объем вычислений, что отрицательно сказывается на длительности решения задачи.
- множество корректировок области поиска путем изменения условий постановки задачи.
- законы регулирования конструктивных параметров заданы заранее, изменение их в процессе поиска затруднительно.

Вариант 3. Методика комбинированного решения задачи

Блок 1. Оптимизация с фиксированными параметрами. Повторяется блок 1 методики пошагового решения задачи. Значения критериев найденного решения служат исходными для решений в иных дорожных условиях.

Результат. Набор фиксированных конструктивных параметров и исходных значений регулируемых параметров.

Пример. В результате выполнения блока 1 находим значения коэффициентов A_0, A_1, A_2 выражения (1) для наиболее вероятных дорожных условий ξ_0 .

Блок 2. Оптимизация с регулируемыми параметрами. Повторяются блоки 1 и 2 методики непрерывного решения задачи с тем лишь отличием, что выполняется поиск только

параметров законов регулирования рабочих характеристик узлов и агрегатов автомобиля. Остальные параметры считаем постоянными и оптимальными для исходных дорожных условий.

Результат. Парето-оптимальные решения, содержащие наборы конструктивных параметров и параметры законов регулирования.

Пример. В результате выполнения блока 2 задаем законы регулирования коэффициентами A_0, A_1, A_2 согласно выражениям (2) – (4), а затем находим значения коэффициентов $A_{00}, A_{10}, A_{20}, \dots, A_{02}, A_{12}, A_{22}$.

Блок 3. Анализ результатов и построение характеристик регулирования. Выполняется анализ парето-оптимальных решений. При необходимости возможна коррекция постановки задачи (блок 1) с последующим повторением процедуры решения задачи (блок 2).

Результат. Оптимальное решение, содержащее законы регулирования конструктивными параметрами в зависимости от дорожных условий.

Достоинства методики комбинированного решения задачи.

- сокращение размерности оптимизационной задачи, а, следовательно, и сокращение объема и времени вычислений.
- в меньшей степени влияние субъективного фактора в процессе принятия окончательного решения, что объясняется наличием заранее выбранных форм описания характеристик регулирования.
- ориентирование на наиболее вероятные условия эксплуатации.
- недостатки методики комбинированного решения задачи.
- законы регулирования заданы заранее, изменение их в процессе поиска затруднительно.
- выполняется поиск фиксированных параметров только в исходных дорожных условиях. в дальнейшем значения данных параметров считаем оптимальными, что приводит к потере иных вариантов в остальных дорожных условиях (обеднение задачи).

Методика реализована на примере подвески легкового автомобиля класса В. В процессе решения задачи выполнялся поиск оптимальных законов регулирования параметров подвески по критериям управляемости и устойчивости, представленных в [3]. Регулируемые параметры являются параметрами характеристик жесткости и демпфирования автомобиля: C_z – коэффициент линейной жесткости при вертикальном перемещении центра масс автомобиля; C_{pf1}, C_{pr1} – коэффициенты угловой жесткости при боковом крене передней и задней подвески; C_{qf1}, C_{qr1} – коэффициенты угловой жесткости при продольном крене передней и задней подвески; K_w – коэффициент демпфирования при вертикальном перемещении центра масс автомобиля; K_{pf}, K_{pr} – коэффициенты демпфирования при продольном крене передней и задней подвески.

На рисунках 2-7 представлены найденные в результате решения задачи законы регулирования параметров подвески автомобиля.

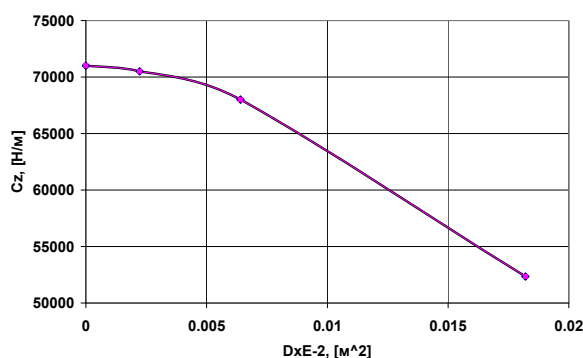


Рисунок 2 – Закон регулирования линейной (вертикальной) жесткости подвесок C_z

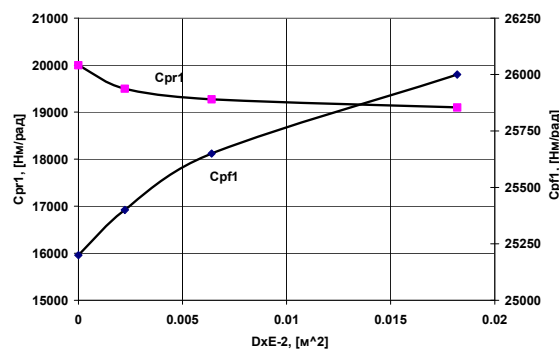


Рисунок 3 – Законы регулирования коэффициентами жесткости передней C_{pf1} и задней C_{pr1} подвесок при боковом крене кузова

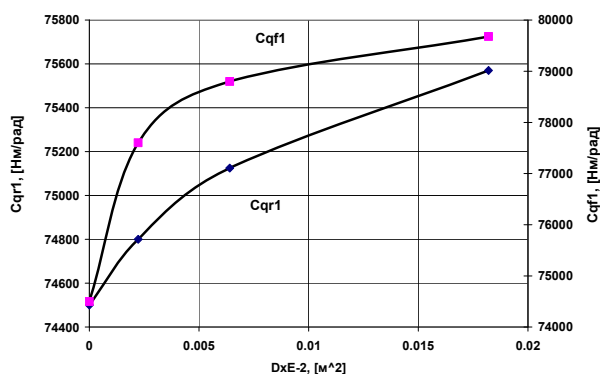


Рисунок 4 – Законы регулирования коэффициентами 1 жесткости передней C_{qf1} и задней C_{qr1} подвесок при продольном крене кузова

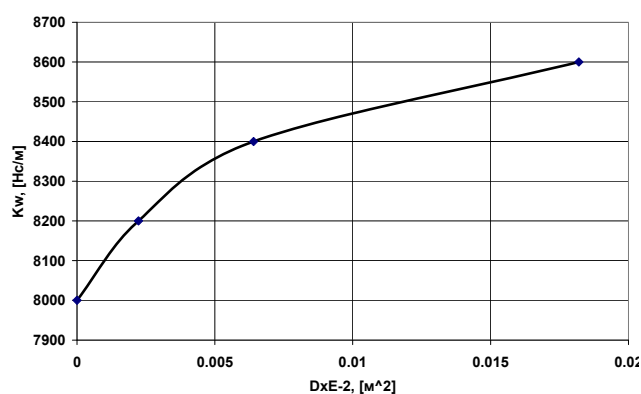


Рисунок 5 – Закон регулирования коэффициентом демпфирования подвесок при вертикальном перемещении кузова K_w

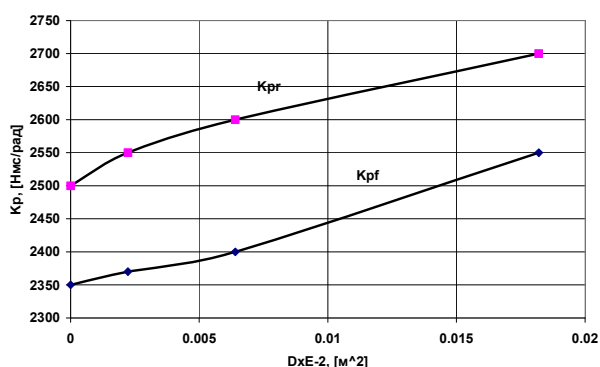


Рисунок 6 – Законы регулирования коэффициентами демпфирования передней K_{pf} и задней K_{pr} подвесок при боковом крене кузова

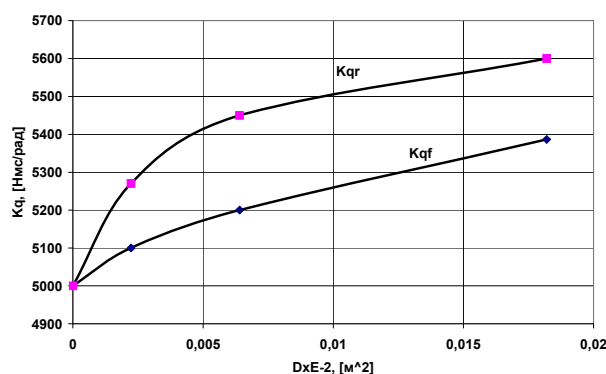


Рисунок 7 – Законы регулирования коэффициентами демпфирования передней K_{qf} и задней K_{qr} подвесок при продольном крене кузова

Итоги сопоставления результатов, полученных тремя способами решения задачи, представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты анализа решения задачи оптимизации

№ п/п	Параметр	Разброс результатов, %	Вывод		
			Методика пошагового решения задачи	Методика непрерывного решения задачи	Методика комбинированного решения задачи
1	C_z	12	Скорый процесс постановки. Длительный и трудоемкий процесс решения. Требуется аппроксимация результатов.	Длительный и трудоемкий процесс постановки. Длительный и трудоемкий процесс решения. Не требуется аппроксимации результатов.	Скорый процесс постановки. Длительный и трудоемкий процесс решения. Не требуется аппроксимации результатов.
2	C_{pfl}	9			
3	C_{pr1}	6			
4	C_{qf1}	8			
5	C_{qr1}	12			
6	K_w	13			
7	K_{pf}	14			
8	K_{pr}	9			

Выводы

Анализ характеристик регулирования показал, что с ухудшением дорожных условий для исследованного автомобиля класса В требуются следующие изменения:

- уменьшение до 26% линейной (вертикальной) жесткости подвесок;
- увеличение до 3% коэффициента 1 жесткости передней подвески при боковом крене кузова;
- уменьшение до 4.5% коэффициента 1 жесткости задней подвески при боковом крене кузова;
- увеличение до 1.5% коэффициента 1 жесткости передней подвески при продольном крене кузова;
- увеличение до 7% коэффициента 1 жесткости задней подвески при продольном крене кузова;
- увеличение до 7.5% коэффициента демпфирования подвесок при вертикальном перемещении кузова;
- увеличение до 8.5% коэффициента демпфирования передней подвески при боковом крене кузова;
- увеличение до 8% коэффициента демпфирования задней подвески при боковом крене кузова;
- увеличение до 7.7% коэффициента демпфирования передней подвески при продольном крене кузова;
- увеличение до 12% коэффициента демпфирования задней подвески при продольном крене кузова.

По результатам реализации методики на примере подвески легкового автомобиля класса В установлено следующее.

- Использование методики пошагового решения уменьшает трудоемкость постановочного этапа решения задачи при длительном и трудоемком процессе решения; при этом требуется аппроксимация результатов.
- Использование методики непрерывного решения требует длительного и трудоемкого постановочного этапа решения задачи, а также длительного и трудоемкого процесса решения. Дальнейшая аппроксимация результатов не требуется.
- Использование методики комбинированного решения уменьшает трудоемкость постановочного этапа решения задачи при длительном и трудоемком процессе решения. Дальнейшая аппроксимация результатов не требуется.
- Для задач данного класса наиболее приемлемыми, с учетом длительности вычислений, являются методики пошагового и комбинированного решения.

Литература

1. Бахмутов С.В., Богомоллов С.В., Висич Р.Б. Технология двухэтапной оптимизации эксплуатационных свойств автомобиля. // Автомобильная промышленность. 1998, №12, с. 18-21.
2. 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.
3. Бахмутов С.В., Ахмедов А.А., Орлов А.Б., Мальцев П.А. Прикладной программный комплекс для проектирования и доводки автомобильной техники методами многокритериальной параметрической оптимизации. //«Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. – М., МГТУ «МАМИ», № 2 (10) 2010 г.
4. Соболев И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями – М.: Дрофа, 2006. с. 175.
5. <http://www.psi-movi.com/>