НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ МГТУ ИМ. Н. Э. БАУМАНА
НАУКА и ОБРАЗОВАНИЕ
Эл № ФС77 - 48211. Государственная регистрация №0421200025. ISSN 1994-0408
электронный научно-технический журнал

Совершенствование методики решения многокритериальных параметрических задач по заданным критериям качества и программного обеспечения как основы центра компетенции оптимального проектирования автотранспортной техники

06, июнь 2013
DOI: 10.7463/0613.0577818

Бахмутов С. В., Ахмедов А. А.

УДК 629.113. 075

ФГУП «НАМИ»
Россия, Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ),
Университет машиностроения
s.bakhmutov@nami.ru
akhm@bk.ru

Традиционный подход к проектированию автомобилей, даже с учетом современного уровня развития компьютерной техники и программного обеспечения, ориентирован на инженера-разработчика, так как именно им принимаются окончательные решения. Конечным результатом проектной стадии, как правило, является опытный образец, обладающий рядом свойств, уровень которых целиком зависит от опыта и мастерства конструктора. При этом заранее определить уровень закладываемых в конструкцию автомобиля свойств, в проектной стадии, можно весьма условно.

Следующий этап представляет собой доработку созданного прототипа за счет серии доводочных испытаний. Доводка представляет собой смещение акцентов свойств объекта в ту или иную сторону, в зависимости от требований, сформулированных заказчиком. На этой стадии используются как результаты объективных измерений, так и субъективные экспертные оценки, выставляемые группой инженеров-испытателей по результатам серии тестовых заездов. В связи с этим процесс доработки автомобиля также во многом зависит от профессиональной компетенции специалистов, задействованных на этом этапе. В результате, стадия доводки прототипа представляет собой длительный и дорогостоящий этап.

Необходим «инструмент», который, базируясь на объективных эксплуатационных показателях автомобиля, позволил бы уже на стадии проектирования закладывать в его конструкцию желаемый уровень рассматриваемых свойств и, тем самым, ускорить процесс проектирования (или доводки) за счет уменьшения объема доводочных испытаний.

В настоящее время в проектной стадии широко применяются проектные технологии, в основе которых заложены методы оптимального проектирования. Используемые оптимизационные методы, как правило, ориентированы на однокритериальный подход, либо используют интегральные критерии качества, представляющие собой свертку из локальных критериев, значимость которых определяется весовыми коэффициентами. Уровни значимости весовых коэффициентов, как правило, назначаются на основе субъективных оценок. В этом случае затрудняется коррекция задачи в процессе ее решения: в случае отсутствия удачных решений может потребоваться новая постановка задачи. В результате, эффективность используемых методик не всегда оказывается оправданной, что вызывает недоверие специалистов.

Поиск оптимальных параметров отдельных узлов и агрегатов автомобиля путем разбиения его на составляющие с целью упрощения задачи, согласно традиционному подходу, также не приводит к желаемому результату. Автомобиль, собранный из «автономно-оптимальных» систем и агрегатов, как правило, обладает некоторым резервом по реализации потенциальных возможностей выбранных конструктивных схем.

Разработка эффективной проектной технологии для получения высокого уровня эксплуатационных показателей автомобиля на стадии проектирования является актуальной задачей.

Известна проектная технология, основанная на объективных показателях управляемости и устойчивости, для решения многокритериальных параметрических оптимизационных задач, реализуемая в два этапа [1, 2]:

1. Оптимизация рабочих характеристик узлов и агрегатов автомобиля, представленных обобщенным описанием. Рабочие характеристики могут быть представлены полиномами и т.п.
2. Оптимизация конструктивных параметров узлов и агрегатов реальных конструкций. При этом рабочие характеристики узлов и агрегатов необходимо приблизить к «оптимальным», найденным на предыдущем этапе.

Преимуществами такого подхода являются:

- существенное сокращение числа варьируемых параметров на первом этапе;
- минимальные изменения общей математической модели АТС при изменении конструктивных схем отдельных агрегатов и систем;
- существенное сокращение общей длительности вычислений за счет параллельного решения задач второго этапа.

Проектная технология реализована применительно к управляемости и устойчивости автомобиля с использованием метода решения многокритериальных параметрических задач, разработанного Соболем И.М., Статниковым Р.Б. [3, 4].

Решаемые задачи удобно разделить на три группы:

1. Оптимизация с фиксированными конструктивными параметрами. Выполняется поиск параметров, значения которых условно не меняются в процессе эксплуатации АТС.
2. Оптимизация с регулируемыми конструктивными параметрами в зависимости от условий эксплуатации.
3. Оптимизация рабочих характеристик систем активной безопасности.

Для решения задач первой группы модели и методики проработаны достаточно глубоко на примере двух- и трехосных объектов-прототипов автомобилей. Примеры приведены на рис. 1, 2. Примеры решения задач представлены в таблицах 1, 2. С целью проверки адекватности математического описания выполнены экспериментальные исследования на дорогах НИЦИАМТ (рис. 3-5).

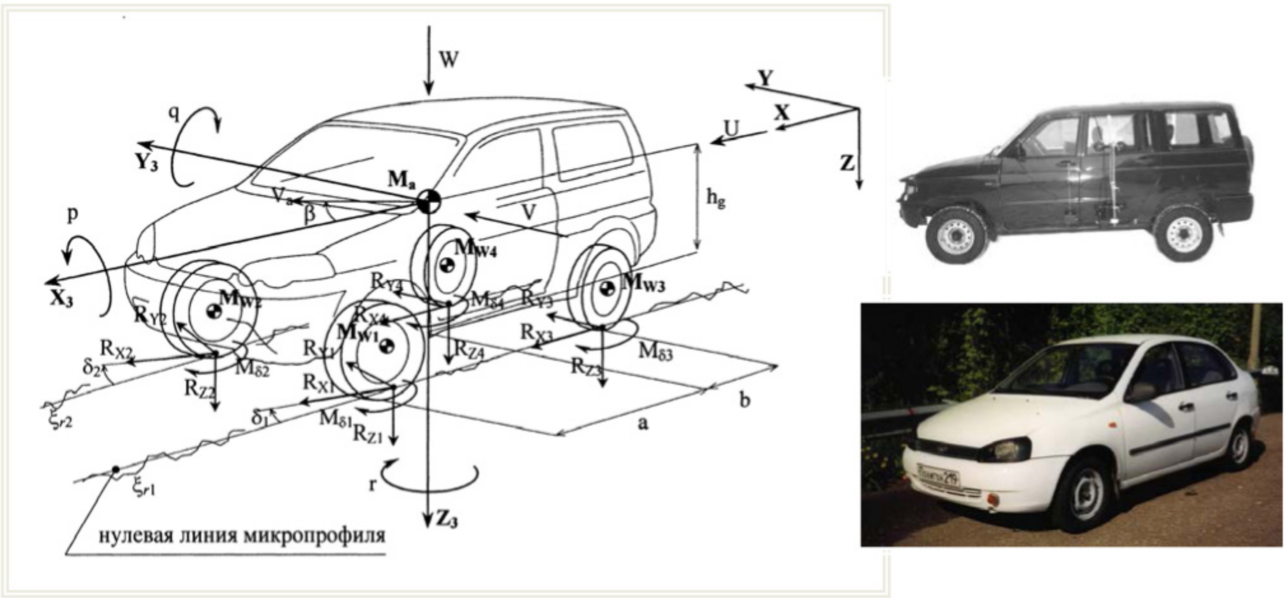

Рисунок 1 – Двухосные объекты исследований и их расчетная схема

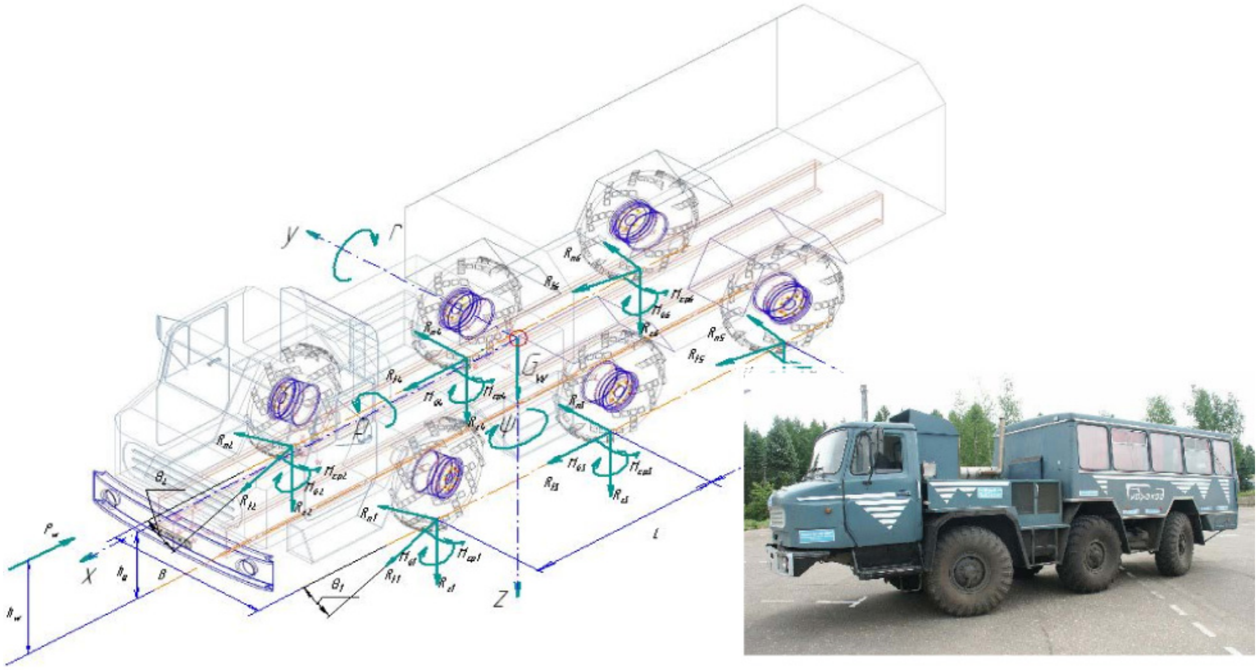

Рисунок 2 – Трехосный объект исследований и его расчетная схема

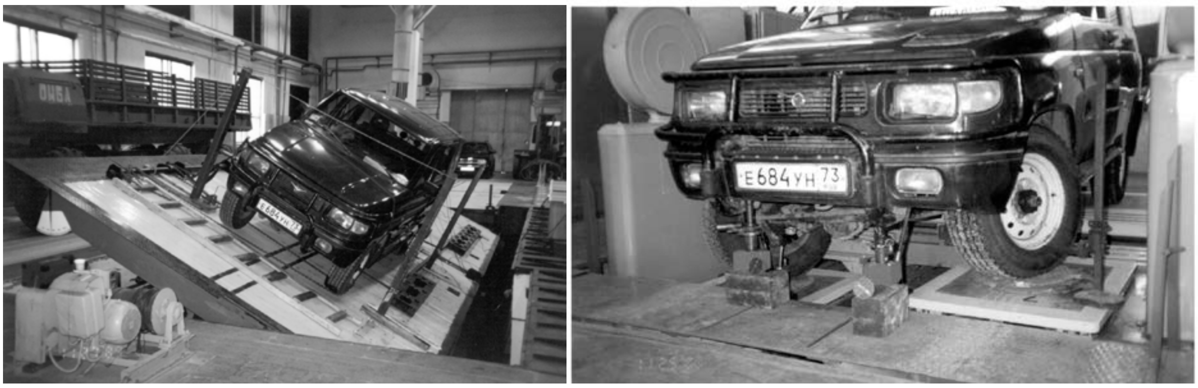

Рисунок 3 – Испытания прототипа УАЗ в условиях НИЦИАМТ

Рисунок 4 – Испытания прототипа ВАЗ в условиях НИЦИАМТ

Рисунок 5 – Испытания прототипа ЗиЛ-Гидроход в условиях НИЦИАМТ

Таблица 1 – Результаты решения задач первой группы. Ровная дорога

Объект оптимизации	**Прототип ВАЗ-1119 2000 г.**	**Прототип УАЗ-3160 2000 г.**	**Прототип ВАЗ-1118 2004 г.**	**Прототип 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 параметров	45	45	45	21
Количество пробных точек (в цикле)	2048	2048	2048	4000
Среднее улучшение по всем критериям, %.	26	27	33	11

Таблица 2 – Результаты решения задач первой группы. Неровная дорога

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 параметров	16	14	17	15
Количество пробных точек (в цикле)	1024	1024	1024	1024
Среднее улучшение по всем критериям, %.	9	12	12	13

Таблица 2 – Результаты решения задач первой группы. Неровная дорога (продолжение)

Объект оптимизации	**Прототип Гидроход-49061 (2009 г.)**			**Прототип ВАЗ-1118 (2010 г.)**		
Дорожные условия	Асфальт	Булыжная дорога удовлетворительного качества	Булыжная дорога низкого качества	Асфальт	Булыжная дорога удовл. качества	"Бельгийская мостовая"
Математическая модель автомобиля	7-ти массовая с у четом динамики неподрессоренных масс по одной степени свободы. Кинематика неподрессоренных масс учитывается по 5-ти степеням свободы.			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			Комплексная оптимизация конструктивных параметров подвески, рулевого управления и шины		
Количество критериев	**20**			**20**		
Количество регулируемых параметров	**6**			**4**		
Количество пробных точек (в цикле)	**4096**			**2048**		
Среднее улучшение по всем критериям, %.	**14**			**12**		

В процессе совершенствования методики появилась возможность выполнять поиск законов регулирования параметров агрегатов и систем автомобиля с учетом условий эксплуатации (задачи второй группы). Примеры решения задач представлены в табл. 3.

Таблица 3 - Результаты решения задач второй группы. Неровная дорога

Объект оптимизации	**Прототип ВАЗ-1119 (2010 г.)**	**Прототип ВАЗ-1118 (2011 г.)**
Дорожные условия	Ровная дорога, асфальт, «Бельгийская мостовая»	Ровная дорога, асфальт, Булыжная дорога удовлетворительного качества
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	
Количество критериев	21	21
Количество параметров	4	10
Количество пробных точек (в цикле)	2048	4096
Среднее улучшение по всем критериям, %.	7	9

В настоящее время идет доработка алгоритмов и моделей для решения задач третей группы, с учетом систем активной безопасности. При этом, посредством методики, предполагается получение требуемых рабочих характеристик системы (на промере ESP) с учетом конструктивных особенностей проектируемого автомобиля. В итоге длительный процесс «обучения» и настройки системы под конкретный автомобиль становится неактуальным.

Поводя итог можно утверждать, что три группы задач, с сохранением двухэтапного подхода, являются единой методикой оптимального проектирования современных автомобилей, обеспечивающей их высокие эксплуатационные характеристики еще в проектной стадии.

Созданные методики и математические модели были реализованы в прикладном программном комплексе STABCON (ПК STABCON) [5]. Последняя версия обозначена как ПК STABCON 2.0. Окна работы ПК STABCON 2.0 представлены на рис. 6-8.

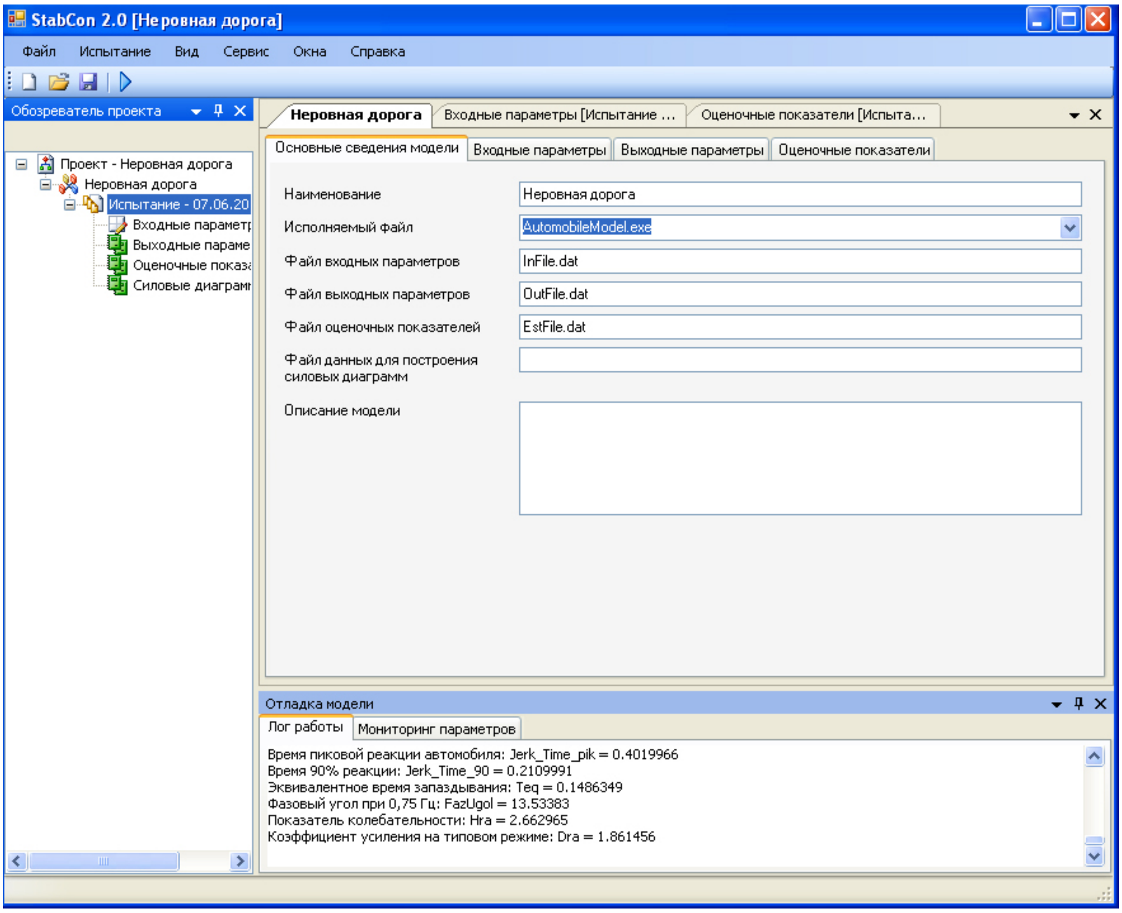

Рисунок 6 – ПК STABCON 2.0 Окно редактирования проекта

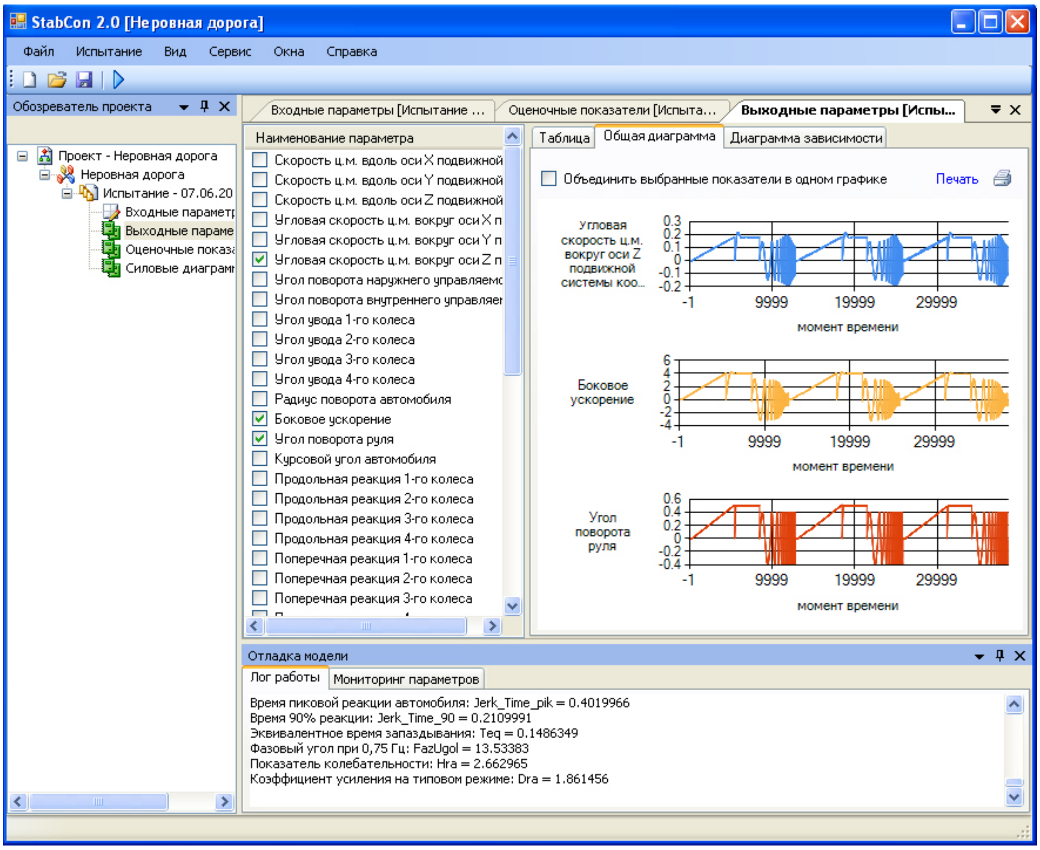

Рисунок 7 – ПК STABCON 2.0 Окно просмотра результатов по решению

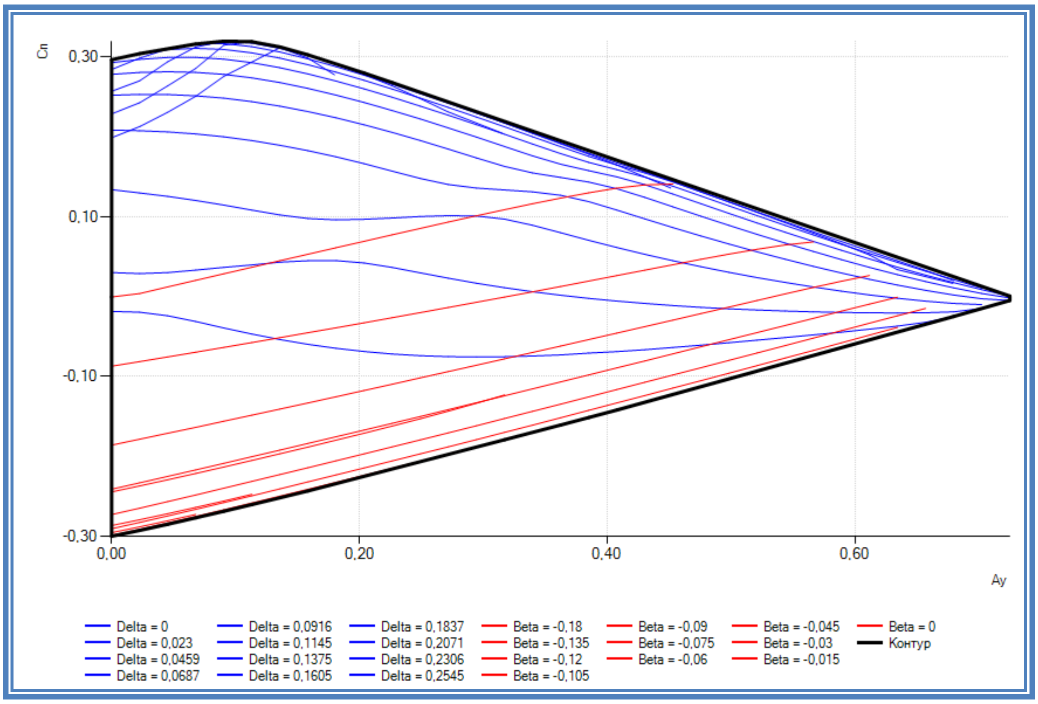

Рисунок 8 – ПК STABCON 2.0 Окно результатов построения силовой диаграммы

<u>Возможности ПК STABCON 2.0:</u>

- Проведение расчета параметров движения автомобиля (его кинематических и силовых реакций) как на установившихся, так и на переходных режимах.

- Расчет кинематических и силовых характеристик автомобиля при движении в различных условиях.
- Оценка показателей управляемости и устойчивости автомобиля.
- Построение силовых диаграмм управляемости и устойчивости с целью анализа результатов.
- Определение степени влияния различных конструктивных параметров автомобиля на его управляемость и устойчивость.
- Постановка и решение задач многокритериальной оптимизации конструкции автомобиля, его отдельных систем и узлов по выбранному блоку критериев управляемости и устойчивости (с возможностью параллельного решения задачи в компьютерной сети).

ПК STABCON отличается универсальностью и может быть адаптирован для решения проектных задач в области автомобильной техники, не ограниченной только свойствами управляемости и устойчивости. При этом конструктор может использовать ранее созданные модели.

Предполагается дальнейшая доработка ПК STABCON для решения задач третей группы, то есть с учетом систем активной безопасности.

Для эффективного использования проектной технологии, а также успешного ее совершенствования, необходим соответствующий Центр компетенции, на базе которого будет создан отраслевой научно-прикладной центр (ОНПЦ). В задачи ОНПЦ будут входить:

- оказание содействия в решении технических задач в области проектирования и доводки автотранспортных средств;
- проведение обучения специалистов отрасли решению инженерных и исследовательских задач в области проектирования и доводки автотранспортных средств.

Выводы:

Имеется научный задел для создания специализированного прикладного программного комплекса (СППК), объединяющего в себе проектную технологию решения задач оптимального проектирования по заданным критериям качества. Технология, содержащая три группы задач с сохранением двухэтапного подхода, являются единой методикой оптимального проектирования современных автомобилей, обеспечивающей их высокие эксплуатационные характеристики еще в проектной стадии.

Для эффективного использования проектной технологии, а также успешного ее совершенствования, необходим Центр компетенции, на базе которого будет создан отраслевой научно-прикладной центр по оказанию содействия в решении технических задач в области проектирования и доводки автотранспортных средств, а также обучению специалистов работе в СППК.

Список литературы

1. Бахмутов С.В., Богомолов 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». 2007. № 2 (4). С. 19-30.
3. Соболь И.М., Статников Р.Б. Выбор оптимальных параметров в задачах со многими критериями. М.: Дрофа, 2006. 175 с.
4. Statnikov R., Statnikov A. The Parameter Space Investigation Method Toolkit. Boston/London: Artech House, 2011. Available at: http://www.psi-movi.com/ , accessed 30.05.2013.
5. 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». 2010. № 2 (10). С. 95-97.

SCIENTIFIC PERIODICAL OF THE BAUMAN MSTU
SCIENCE and EDUCATION
EL № FS77 - 48211. №0421200025. ISSN 1994-0408
electronic scientific and technical journal

Improved methods for solving multi-criteria parametric tasks according to specified quality and software criteria as the basis of the center of competence of an optimum design of vehicles

06, June 2013
DOI: 10.7463/0613.0577818

Bakhmutov S.V., Akhmedov A.A.

Federal State Unitary Enterprise «Central Scientific Research Automobile and Engine Institute»
Russia, Moscow State University of Mechanical Engineering (MAMI)
University of Mechanical Engineering
s.bakhmutov@nami.ru
akhm@bk.ru

Publications with keywords: automotive engineering, multicriteria parametric optimization, handling and stability, competence center
Publications with words: automotive engineering, multicriteria parametric optimization, handling and stability, competence center

The authors describe a project technology of solving multi-criteria parametric optimization problems in the field of motor transport. This technology is based on a two-stage approach. Stage 1 is optimization of performances of units and devices of a car, presented as a generalized description. Stage 2 is optimization of design parameters of units and devices of real designs. Performances of units and devices should be moved close to “optimal” ones obtained at the previous stage. Test items (two- and tri-axial cars) used for verification of the mathematical description are presented in the article. Application software STABCON 2.0 was developed for solving design and finishing tasks in the field of automotive industry. The software system is flexible and can be adjusted for solving design problems in the field of automotive technology beyond limits of controllability and stability properties. A designer can use previously created models. The authors draw a conclusion on the need for setting up a competence center for training industry experts and assisting them in solving optimal design tasks.

References

1. Bakhmutov S.V., Bogomolov S.V., Visich R.B. Tekhnologiia dvukhetapnoi optimizatsii ekspluatatsionnykh svoistv avtomobilia [The technology of two-stage optimization of operational characteristics of the car]. *Avtomobil'naia promyshlennost'* [The automotive industry], 1998, no. 12, pp. 18-21.

2. Bakhmutov S.V., Akhmedov A.A. Mnogokriterial'naia parametricheskaia optimizatsiia v zadachakh sovershenstvovaniia kharakteristik upravliaemosti i ustoichivosti avtotransportnykh sredstv [Multicriteria parametrical optimization in the tasks of improving the characteristics of handling and stability of vehicles]. *Izvestiia MGTU «MAMI»* [Izvestiya MSTU «MAMI»], 2007, no. 2 (4), pp. 19-30.

3. Sobol' I.M., Statnikov R.B. *Vybor optimal'nykh parametrov v zadachakh so mnogimi kriteriiami* [Choice of optimal parameters in problems with many of the criteria]. Moscow, Drofa, 2006. 175 p.

4. Statnikov R., Statnikov A. *The Parameter Space Investigation Method Toolkit*. Boston/London, Artech House, 2011. Available at: http://www.psi-movi.com/ , accessed 30.05.2013.

5. Bakhmutov S.V., Akhmedov A.A., Orlov A.B., Mal'tsev P.A. Prikladnoi programmnyi kompleks dlia proektirovaniia i dovodki avtomobil'noi tekhniki metodami mnogokriterial'noi parametricheskoi optimizatsii [Applied software for design and development of automotive engineering methods of multi-criteria of parametric optimization]. *Izvestiia MGTU «MAMI»* [Izvestiya MSTU «MAMI»], 2010, no. 2 (10), pp. 95-97.