

Численное моделирование динамики автомобилей нового поколения

©2015 Siemens PLM Software

Многодисциплинарное моделирование в режиме реального времени и его роль в создании лучших в мире автомобилей

Компания *Daimler* первой среди автомобилестроительных корпораций внедрила процесс создания цифровых прототипов автомобилей, получивший название **DPT (Digital Prototyping)**. Это было в 2001 году. Сегодня разработка изделий с использованием цифровых моделей и цифровое совершенствование конструкции позволяют создавать всё большее число вариантов автомобилей на единой платформе. При этом каждый вариант обладает своими собственными ходовыми качествами и характеристиками управляемости.

Разработка платформ, двигателей, трансмиссий и мостов легковых автомобилей марки *Mercedes-Benz* ведется в технологических центрах в Зиндельфингене и Унтертуркхайме около Штутгарта.

“Мы нацелены занять ведущее положение на рынке автомобилей класса “люкс”. Создание и внедрение наилучшего и наиболее функционального процесса разработки позволит нам предложить рынку превосходные автомобили. Все наши усилия сконцентрированы на достижение одной цели: сделать лучший автомобиль в мире”, – отмечает профессор, доктор **Людгер Драгон**, старший руководитель отдела обеспечения плавности хода в технологическом центре компании *Mercedes* в Зиндельфингене.

Самые современные технологии и процессы

Воплощение передовых инженерно-конструкторских идей становится возможным только при условии применения самых лучших процессов, а это означает, что все характеристики этих процессов должны быть точно определены.

“Чтобы готовое изделие отвечало высочайшим стандартам качества, мы работаем в тесном сотрудничестве с нашими конструкторами, расчетчиками, технологами и инженерами-испытателями на протяжении всего цикла создания автомобиля – от начального замысла до производства”, – поясняет Людгер Драгон.

Цифровые технологии и цифровые прототипы становятся неотъемлемыми составляющими процесса разработки автомобилей. Компания *Daimler* задает тенденции развития автомобильной промышленности. Так, стандартный автоматизированный процесс разработки нынешнего поколения машин *Mercedes-Benz* класса C она внедрила еще в 2001 году и с тех пор полагается на цифровые прототипы (DPT). За последнее десятилетие инженеры в центре разработок компании *Daimler* в Зиндельфингене добились

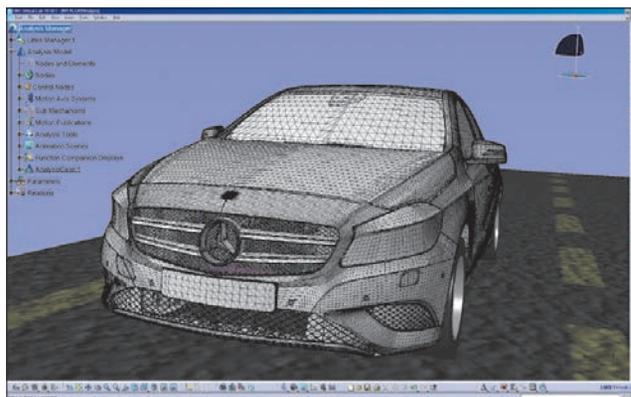


значительного улучшения методик и процессов численного моделирования (*simulation*).

“Это непрерывный поступательный процесс. Всё начинается с фиксированной конструкции шасси, под которую затем создаются различные варианты кузова на базе одной платформы. Цифровые технологии обеспечивают оптимизацию механических узлов и систем с программным управлением. Результаты цифрового моделирования применяются уже на ранних этапах разработки подобных вариантов”, – рассказывает **Теодор Гроссмманн**, руководитель группы численного моделирования ходовых качеств в технологическом центре *Mercedes*.

Проектирование на основе моделей – один из ключевых аспектов реализации концепции единой платформы автомобиля.

“Автомобили выпускаются во множестве различных исполнений для удовлетворения спроса потребителей”, – говорит доктор Драгон. – “Количество разрабатываемых нами платформ почти не изменилось,



Исследование средствами LMS Virtual.Lab Motion комфортности при езде по дорогам с разным покрытием

но вот число производных вариантов исполнений резко возросло. Если раньше мы производили только два варианта автомобилей А- и В-класса, то теперь – уже пять. Такая же ситуация и с автомобилями С- и Е-классов. Многие комплектации и исполнения разработаны с применением численного моделирования”.

Процесс автоматизированного проектирования и единое хранилище данных

Автоматизированное проектирование изделий должно выполняться в строго заданные сроки. Для каждого этапа процесса разработки установлены критерии контроля качества и заданы сроки исполнения.

Руководитель группы анализа систем управления в технологическом центре компании Mercedes Херст Браунер поясняет: “Сроки выполнения задач автоматизированного проектирования определяются различными границами качества, задаваемыми в рамках процесса DPT. Промежуточные результаты поступают на этап проектирования и своевременно доступны всем инженерам и субподрядчикам. А вот при изготовлении физических прототипов сроки отсчитываются от планируемой даты сборки первого экспериментального образца”.

Создание расчетной модели в соответствии с поставленной задачей требует привлечения большого количества геометрических данных и функциональных характеристик, а также точного моделирования поведения узлов конструкции. В компании Daimler все геометрические данные и функциональные характеристики разрабатываемого автомобиля – от эскизной компоновки до характеристик амортизаторов – поступают и хранятся в едином источнике. Доступ к этому хранилищу данных имеют все специалисты, работающие над созданием автомобиля. База данных постоянно обновляется и пополняется за счет поступления информации о результатах экспериментов, проводимых с цифровыми прототипами.

Скорость и точность

“В компании Daimler цифровые процессы всё в большей степени становятся равноправными партнерами натуральных испытаний”, – отмечает доктор Драгон. – “И мы ожидаем такого же подхода и от наших подрядчиков. На ранних этапах мы принимаем большое количество проектных решений, основываясь исключительно на результатах численного моделирования. Мы считаем, что руководитель проекта должен быть уверен в результатах симуляции, и принимать решения на основе этих результатов”.

Численное моделирование открывает новые возможности для процесса создания автомобилей. “Используя методики программно-аппаратного (*hardware-in-the-loop, HIL*) или чисто программного (*software-in-the-loop, SIL*) моделирования, мы можем

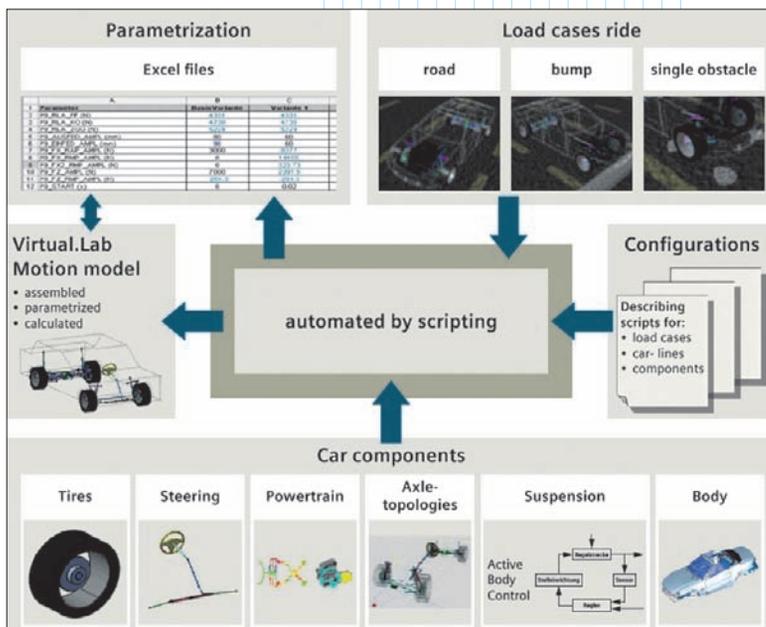
быстро и точно выявлять возможные проблемы и извещать о них соответствующего подрядчика. Таким образом, повышается уровень готовности первого физического прототипа платформы автомобиля. Наша концепция заключается в том, что высокое качество опытного образца должно быть обеспечено уже на начальном этапе его создания, чтобы инженеры-испытатели занимались только окончательной доводкой автомобиля, который должен соответствовать предъявляемым к нему требованиям по аэродинамическим характеристикам”, – добавляет г-н Браунер.

Передовые методики и процессы

Реализация этой концепции требует применения современных методик и процессов численного моделирования: ходовые качества физического прототипа и виртуальной модели должны соответствовать. Наиболее серьезной проверкой цифровых моделей служит сборка первого экспериментального образца автомобиля. Для сохранения нового дизайна в секрете прототипы выезжают на дорогу только в замумфлированном виде – покрытые тканью и клейкой лентой.

“Как правило, первый физический прототип нового автомобиля изготавливается через шесть месяцев после выполнения расчетов и определения всех его технических характеристик. Когда первый образец готов, мы начинаем заниматься его доводкой. Этот процесс включает как субъективные оценки, так и объективные измерения. Численное моделирование помогает найти наилучшее решение”, – рассказывает г-н Браунер.

Доктор Драгон в этой связи отмечает: “Мы применяем методики численного моделирования на всех этапах процесса разработки. Кроме того, мы ищем способы улучшения существующих процессов. Уже



Автоматизированный процесс симуляции с применением общей базы данных LMS Virtual.Lab Motion

на ранних этапах проектирования мы выполняем огромные объемы вычислений для максимально точного моделирования поведения машины на дороге. К этой задаче мы подходим очень ответственно. Мы – единственный автопроизводитель, имеющий стенды для оценки и плавности хода, и управляемости автомобиля. Благодаря этому характеристики новой машины выявляются задолго до изготовления первого физического прототипа.

Управляемость и поведение автомобиля на дороге – весьма субъективные показатели, исследовать которые сложно. Взять, например, поведение автомобиля при боковом ветре – в ходе испытаний невозможно создать боковой ветер с четко заданными параметрами. Поэтому систематическая объективная оценка поведения реального автомобиля является очень трудной задачей: необходимо различать влияние разброса параметров бокового ветра и поведения самой машины.

При моделировании на стенде мы создаем боковой ветер с четко заданным разбросом параметров, что позволяет не только объективно оценивать поведение наших автомобилей, но и разрабатывать системы помощи водителю при боковом ветре”.

Численное моделирование на основе шаблонов

Важнейшим требованием к моделированию динамики системы многих тел, применяемому компаний *Daimler* для оценки ходовых качеств, является наличие общей базы данных шаблонов подсистем автомобиля. В ней хранятся наборы требований для различных вариантов нагрузок, действующих на автомобиль. Сначала выполняются испытания кинематики и оценивается соответствие нормативам на уровне подвески, а затем проверяется маневренность в различных ситуациях – например, при смене полосы движения (с соблюдением требований стандарта *ISO*), прохождении поворота постоянного радиуса, выполнении “полицейского разворота”, при движении по дорогам с различными видами покрытия, объезде отдельных препятствий и пр. Более того, для стендовых испытаний электронных блоков управления расчет многодисциплинарного моделирования должен проводиться в реальном масштабе времени.

Для решения этой задачи создаются модульные шаблоны автомобильных подсистем. При проведении расчета пользователь создает модель автомобиля, редактирует шаблон варианта нагрузки, вводит требуемые характеристики и затем запускает симуляцию и обрабатывает полученные результаты. Численное моделирование ходовых качеств в рамках *DPT*-процесса охватывает расчеты с более чем 100 различными комбинациями нагрузок для каждого варианта конструкции. Эти комбинации сконфигурированы заранее, и расчет может запускаться как в интерактивном режиме, так и полностью автоматически.

Высокая точность и надежность результатов системы *LMS Virtual.LabTM Motion*, а также наличие встроенных функций автоматизации с использованием языка программирования *Visual Basic* сделали её

незаменимой для моделирования ходовых качеств. Модель, рассчитываемая в системе *LMS Virtual.Lab Motion* в режиме реального времени, используется при имитации маневрирования автомобиля на специальном стенде.

Динамика автомобиля

Все программы разработки автомашин в компании *Daimler* нацелены на достижение наилучших результатов. Фирменная трехлучевая звезда – это символ совершенства и ответственности.

“Что касается динамики автомобиля, то используемые процессы проектирования должны обеспечивать достижение оптимальных результатов – к примеру, находить наилучшее решение при противоречивых требованиях к ходовым качествам и управляемости. Классические характеристики управляемости и плавности хода очень важны для потребителя. К сожалению, они предъявляют противоречивые требования к конструкции”, – поясняет доктор Драгон. – “Прежде всего, мы стремимся достичь наилучшего возможного результата. Но соотношение “управляемость – плавность хода” вынуждает идти на компромисс. Спортивные настройки обеспечивают высокую маневренность, а настройки для комфорта повышают плавность хода. Окончательный выбор делается в конструкции самого изделия. Модельно-ориентированный подход проектирования позволяет нам находить оптимальные решения этой сложной задачи, а также совершенствовать существующие проекты уже на самых ранних стадиях разработки. Цифровое моделирование лежит в основе натуральных испытаний. Кроме того, мы применяем специальные виды расчетов для проведения стендовых испытаний разрабатываемых узлов”.

Устранение противоречия между маневренностью и плавностью хода

Создание точной цифровой модели для описания плавности хода и маневренности автомобиля – задача непростая. Обе эти характеристики зависят от множества механических узлов: подвеска, амортизаторы, двигатель и его крепления, сиденья, рулевое управление, кузов, трансмиссия; влияет и аэродинамика. Крайне важно, чтобы базирующиеся на единой платформе модели автомобилей отличались не только по дизайну, но и по их поведению на дороге.

“Мы широко применяли численное моделирование для анализа плавности хода и управляемости в ходе разработки автомобилей нового *A*-класса, *B*-класса, а также моделей *CLA*, *GLA* и *CLA Shooking Brake*. Все эти модели имеют немало общих узлов, но их потребительские характеристики сильно отличаются как по дизайну, так и по ощущениям от вождения”, – отмечает Людгер Драгон.

На предприятии широко внедряются средства управления динамикой автомобиля. К ним относятся такие системы, как активная подвеска *Active Body Control (ABC)* и система динамического управления амортизаторами *Continuous Damping Control (CDC)*, система помощи при торможении, система защиты от

ухода с полосы движения и электрический усилитель руля.

Системы управления

“Наличие активных систем заметно расширяет наши возможности при разрешении конфликта между плавностью хода и маневренностью”, — отмечает г-н Браунер. — “Разработка таких систем идет параллельно разработке самого автомобиля. Активные системы позволяют заметно улучшить обе характеристики сразу. Мы создаем машину, поведение которой на дороге будет именно таким, как ожидает целевая группа потребителей. Поэтому наши инструменты симуляции должны быть способны реалистично моделировать динамику автомобиля. Разумеется, такой подход включает активные системы управления в *HIL*-среду. Встроенное ПО систем управления разрабатывается различными подрядчиками, поэтому нам необходимо не только моделировать и испытывать каждую систему по отдельности, но и изучать совместное поведение всех имеющихся систем помощи водителю. Все они систематически анализируются с помощью *HIL* и *SIL*”.

Наконец, чтобы подготовить виртуальную модель автомобиля к реальным испытаниям, требуется добавить к ней еще большее количество элементов, определяющих число пассажиров, различные стили вождения и дорожные условия.

Соответствие нормативным требованиям

Неотъемлемой частью процесса разработки в компании *Daimler* стало прототипирование на базе цифровых моделей. Инженеры создают точные и подробные цифровые модели автомобилей. Новые изделия всегда разрабатываются на основе проверенной модели уже выпускаемого автомобиля, в которую вносятся необходимые изменения. Трехмерные модели некоторых новых компонентов создаются на самых ранних этапах проектирования и материализуются с помощью технологий быстрого прототипирования — они служат и для демонстрации, и для проверки. Когда все компоненты и узлы собраны в готовую машину, она проходит стендовые испытания.

Сегодня рассчитываемые в режиме реального времени на основе моделей характеристики маневренности служат не только для постоянных испытаний на стенде и оптимизаций конструкций на всех этапах разработки, но и для подтверждения соответствия нормативным требованиям.

Новые рынки — новые требования

В каждой стране имеются свои требования к управляемости автомобиля и плавности его хода.

“Наша цель — разрабатывать каждый автомобиль по таким стандартам, которые позволят подстраивать его характеристики в соответствии с требованиями различных рынков”, — поясняет Людгер Драгон.

Возможность такой настройки — неотъемлемая часть *DPT*-процесса компании *Daimler*.

Доктор Драгон отмечает: “Точная настройка выполняется на местах в соответствии с пожеланиями



Освоение новых рынков, таких как Индия и Китай, требует увеличения в ходе разработки автомобиля количества расчетных сценариев с различными сочетаниями нагрузок

потребителей и дорожными условиями. Мы предлагаем индивидуальные настройки для каждой страны. Мы прислушиваемся к мнению потребителей. Например, американцы не ждут от нас еще один американский автомобиль. Они полагают, что *Mercedes-Benz* должен вести себя на дороге как европейская машина. Поэтому существует ряд особых настроек для американского рынка. В частности, отличается динамика поперечной устойчивости автомобиля”.

Аналогичный подход применяется и на новых рынках в Китае и в Индии: характеристики автомобилей выбираются в соответствии с пожеланиями потребителей. Например, в Китае автомобили *Mercedes-Benz* предлагаются и в варианте с удлиненной колесной базой. Необходимо учитывать и дорожные условия. Состояние китайских и индийских дорог сильно отличается от европейских. Выход на новые рынки вызывает еще большее разнообразие вариантов нагрузок, которые инженеры должны учитывать в процессе разработки, а технические требования еще более усложняются.

“Сегодня при выполнении моделирования ходовых качеств используется порядка десяти различных типов дорожного покрытия. В будущем же нам придется рассматривать от 20-ти до 50-ти различных вариантов состояния дороги. Количество численных экспериментов значительно возрастает, поскольку ходовые качества на каждом виде дороги необходимо исследовать при различных скоростях, загрузках, ветровых условиях и т.д.”, — добавляет г-н Гроссманн.

LMS Virtual.Lab Motion

Чем больше сценариев рассматривается, тем больше объем получаемых результатов.

“Мы генерируем огромные объемы данных, выполняя полностью автоматические исследования с использованием функций автоматизации, предусмотренных в *LMS Virtual.Lab Motion*. Получить



Ячейка стенда исследования маневренности оборудована экраном с круговым обзором. Шесть её ног управляются мощными электродвигателями, а возможность перемещения по 12-метровому рельсу обеспечивает имитацию перестроения с одной полосы на другую



такой объем данных легко, но их анализ и оценка являются весьма трудоемкой задачей”, – рассказывает Людгер Драгон. – “Трудность заключается в выборе наиболее важных сведений из огромного массива. Для ускорения работ мы автоматизировали процесс отбора данных. Автоматизированные расчеты выполняются каждые выходные. Для их проведения необходимо подготовить все необходимые данные по каждому варианту нагрузки, а решатель должен функционировать исключительно стабильно и предоставлять возможность проверки получаемых результатов. Разработка автомобиля без применения численного моделирования стала практически невозможной. *LMS Virtual.Lab Motion* – мощное средство оценки плавности хода и маневренности машины. Решатель работает стабильно, выдавая достоверные результаты отличного качества. *LMS Virtual.Lab Motion* – основной инструмент для количественной оценки и описания ходовых качеств автомобиля на частотах до 30 Hz. Существенным преимуществом для процесса разработки является возможность встраивания конечноэлементных сеток в модель и их объединения с, например, моделями систем управления или характеристиками работы шин”.

Доктор Драгон высказал и ряд пожеланий: “В будущем в автомобилях будет применяться всё больше и больше систем управления, поэтому возрастает роль программно-аппаратного моделирования (*HIL*). Мы бы хотели использовать для таких видов моделирования решатель *LMS Virtual.Lab*. Он должен рассчитывать модели автомобилей *Daimler* в реальном времени без упрощения их геометрии. Тогда мы сможем применять одни и те же модели и для определения маневренности автомобиля, и для расчета характеристик плавности хода. Мы хотели бы добиться бесшовной интеграции инструментов симуляции с нашей системой управления данными, чтобы можно было более прямым путем воздействовать на процесс разработки документации на детали и узлы. Подобный обмен данными становится всё более важным аспектом”.

Современные стенды для оценки плавности хода и маневренности

Стенды программно-аппаратного моделирования плавности хода и маневренности, имеющиеся в Технологическом центре *Mercedes* (гор. Зиндельфинген), позволяют разработчикам получать объективную оценку систем и узлов будущих моделей автомобилей *Mercedes* уже на самых ранних этапах проектирования. При этом качество такой оценки близко к идеальному, а исследования можно выполнять задолго до изготовления первых опытных образцов.

Автомобиль *Mercedes-Benz*, в котором находится водитель, подключается к центру управления стенда при помощи канала прямой передачи данных. Информация об ускорении, торможении и работе рулевого управления считывается с датчиков и передается непосредственно в компьютер управляющего центра, где она и сохраняется. Компьютер вычисляет ходовые характеристики (более тысячи раз в секунду) и, с помощью электродвигателей, преобразует их в движение стенда, имитируя положение автомобиля на дороге – например, при быстром прохождении поворота кузов наклоняется. Смена полосы движения имитируется перемещением ячейки по рельсу длиной 12 метров. При этом на экране с углом обзора 360 градусов отображаются дорога, окружающий ландшафт и соседние транспортные средства.

В том же здании расположен стенд для проверки плавности хода – с его помощью изучается ускорение, то есть перегрузка, испытываемая водителем и пассажирами. Стенд способен работать с частотами до 30 Hz.

Результаты испытаний на симуляторах сравниваются с ходовыми качествами реальных машин, в том числе и автомобилей конкурирующих компаний. Совместное использование двух стендов позволяет объективно оценивать две противоречащие друг другу характеристики: маневренность и плавность хода. 🤖