

# «Система автоматизированного проектирования САТІА в мировой автомобильной промышленности»

Доклад на 7-й Международной автомобильной конференции  
«Двигатели для российских автомобилей»

Голдовский П.С., Котельников В.А., компания ГЕТНЕТ Консалтинг, Москва

В основу решений от DS(Dassault Systemes)/IBM по управлению жизненным циклом автомобилей в целом, и двигателей, в частности, составляют следующие принципы и технологии, заложенные в предлагаемую линейку продуктов:

1. Технология «Relation Design», параллельное проектирование и работа в контексте
2. Совместное проектирование и моделирование процессов на разных стадиях жизненного цикла
3. Методология проектирования и организация процессов на основе системы управления Знаниями

Ядро системы составляют программные продукты CATIA, ENOVIA, SMARTEAM, DELMIA, предназначенные как для творческой работы (проектирование, техническая подготовка производства), так и для поддержки принятия решений (рис. 1)



Рис. 1.

Где:

- **CATIA V5** – комплексная система для параллельной и совместной разработки, проектирования, модернизации изделия, проектирования технологической оснастки и содержащая в 3-хмерной модели изделия все необходимые конструкторские, технологические и производственные данные для реализации концепции цифрового предприятия. CATIA V5 - система, реализующая технологию «Relation Design».
- **SmarTeam** – система для поддержки работы с конструкторскими, технологическими и производственными данными, организации совместной работы, частичной реализации технологии «Relation Design», организации взаимодействия с поставщиками и заказчиками, взаимодействия с производственными подразделениями, организации логистической поддержки изделия, управления проектами, управления производственными спецификациями
- **Enovia** – поддержка процессов, совместной работы над многовариантным сложным цифровым макетом изделия, поддержка знаний, ресурсов технологических процессов, оценка сложных проектов, поддержка создания новых изделий с максимальным использованием имеющихся наработок, управление конструкторскими спецификациями, полной реализации технологии «Relation Design» и других инновационных технологий системы V5

Краеугольным камнем PLM-архитектуры составляют 3 HUBa:

- Инженерный HUB (Центр, Концентратор) для управления жизненным циклом конфигурируемого изделия
- Производственный HUB для управления жизненным циклом процессов и ресурсов
- HUB предприятия для работы с данными, хранящимися в определённых спецификациях, используемых на различных стадиях жизненного цикла

Приложения, составляющие ядро системы, посредством навигаторов, представляют собой связанные между собой объекты, объединенные на соответствующих рабочих местах в законченные решения, именуемые, как Инженерный HUB для технической подготовки производства, Производственный HUB для организации, планирования и моделирования производственных процессов.

В совокупности они составляют HUB Жизненного цикла, отвечающий на вопросы как спроектировано, как изготовлено, как обслуживается конкретное изделие (рис. 2).

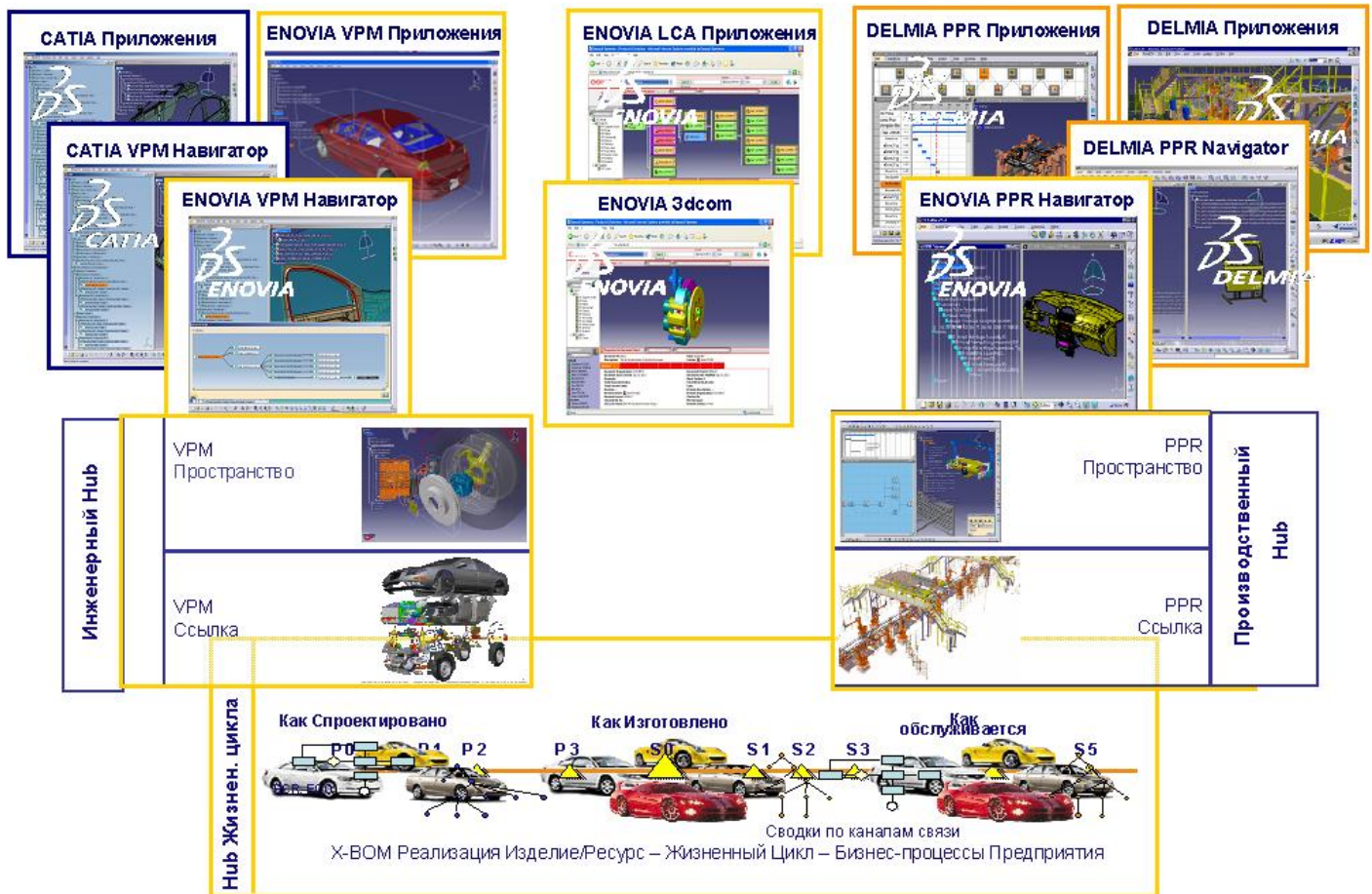


Рис. 2

Вся линейка PLM-решений направлена на текущие нужды предприятий, а именно, на увеличение роста доходов, на котором, по мнению аналитиков из [IBM's Global CEO Survey](#) будет сосредоточено внимание высших руководителей. Так считают четверо из пяти руководителей по результатам опроса.

В то же время, доходность будет зависеть в основном от выпуска на рынок новых и существенно модифицированных изделий с предоставлением соответствующего сервиса. Это, по данным того же источника, подтверждают 2/3 руководителей.

Более того,

- 80% рынка завоевывают первые две компании, вышедшие на рынок с новым изделием.
- А 70% стоимости продукции закладывается во время фазы разработки.

Предлагаемые нами PLM-решения от IBM/DS ориентированы на основные приоритеты предприятия, и самостоятельно или совместно с системами управления предприятием (ERP), системами взаимодействия с заказчиками (CRM) и системами взаимодействия с поставщиками (SCM) позволяют при надлежащем внедрении добиться:

- РОСТА ДОХОДОВ
- СОКРАЩЕНИЯ ИЗДЕРЖЕК
- СОКРАЩЕНИЯ ВРЕМЕНИ РАЗРАБОТКИ
- СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ
- ЗАХВАТА НОВЫХ РЫНКОВ
- СНИЖЕНИЯ РИСКОВ
- УДОВЛЕТВОРЕНИЯ НУЖД ЗАКАЗЧИКА

Объявленная в 1998 году программа поддержки управления жизненным циклом изделия, с каждым последующим релизом усиливает консолидацию участников всех процессов в рамках всего предприятия.

Совсем недавно вышла 15-я версия линейки PLM-решений, которая направлена на предоставление расширенных возможностей для параллельной и совместной работы в надежной PLM-среде непосредственно со своего рабочего стола. Значительно расширены возможности интеграции, как внутри предприятия, так и при работе с поставщиками (рис 3).

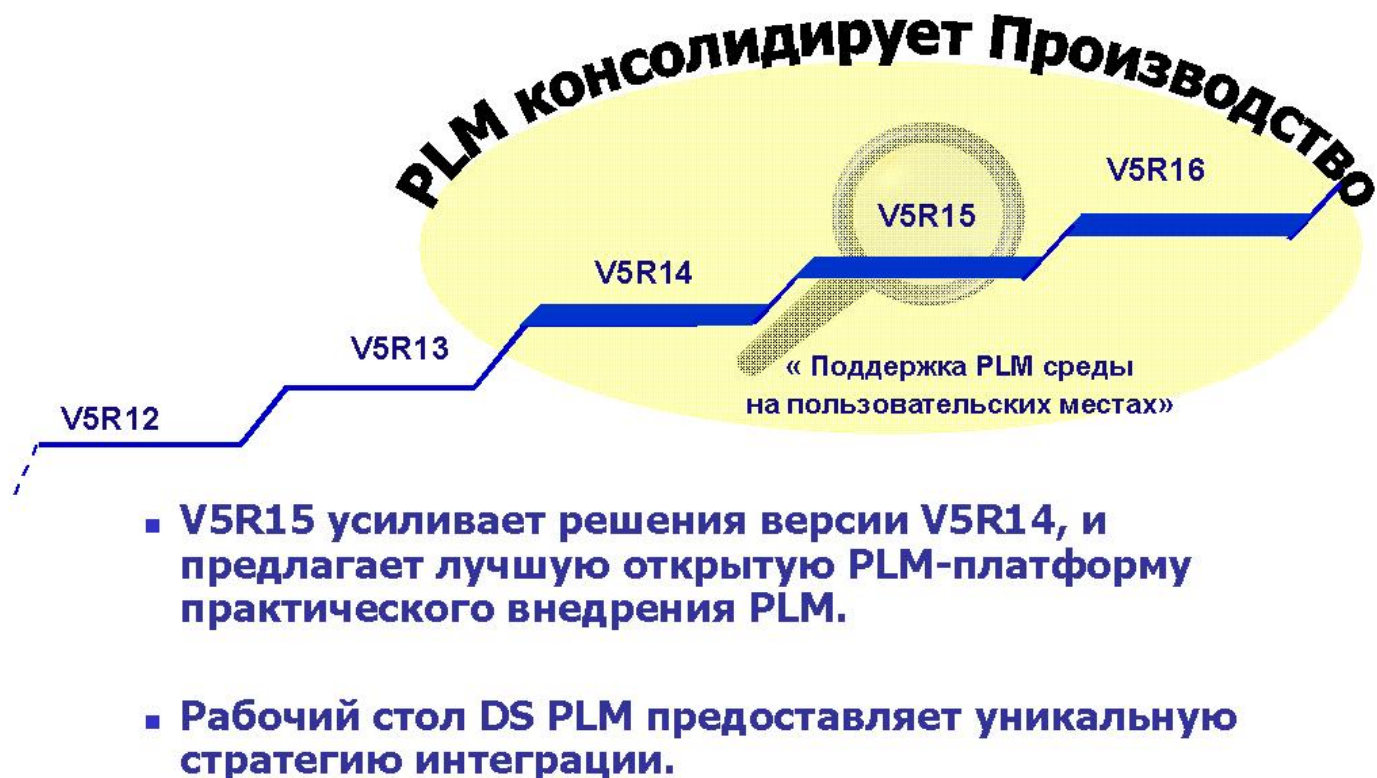


Рис.3

Версия V5R15 предоставляет новую функциональность и возможность при:

- Работе с поставщиками
- По обмену информацией с помощью нового формата 3D XML
- По увеличению доходов от инвестиций (ROI) для компаний разных размеров
- По поддержке процессов масштаба предприятия
- Новые возможности, благодаря открытости.

Полнота, функциональность и открытость решений позволяет системе CATIA занимать лидирующие позиции в автомобилестроении. Система CATIA в большинстве сегментов работ, связанных с проектированием автомобиля, как то: кузов, оснастка, интерьер, шасси, электрика и т.д. занимает лидирующие позиции.

Лидеры автомобильной индустрии используют решения CATIA и технологию PLM при выполнении проектных и конструкторских работ автомобилей и двигателей; кузова и шасси; технологической подготовки производства штампов, оснастки, литья иковки, вплоть до организации цифрового производства.

Решения от DS применяют такие известные производители двигателей, как Daimler Chrysler, BMW, Porsche, Volvo, Man и др.

Применяя решения от DS, пользователи дополняют возможности системы, благодаря ее открытости и инструментария работы со знаниями, своими приложениями и достигают нового качества, как в области организации сквозного автоматизированного проектирования и производства (Daimler Chrysler), так и для организации цифрового макетирования и цифрового производства в рамках принципов, заложенных в систему для Изделий, Процессов и Ресурсов (Renault). При этом данные разделяются не только в рамках технической подготовки производства между конструкторами, технологами, но и всеми службами, вовлеченными в процесс производства двигателей (Nissan Diesel).

Пользователи создают совместное 3D-пространство для совершенствования процессов разработки, как самого двигателя, так и технологической оснастки и инструмента, организации процессов планирования (Scania), в том числе и для моделирования производственных процессов (Toyota). При этом значительно сокращаются затраты времени при разработке продукции (Volvo).

Поддержка имеющихся пользователей в области двигателестроения, нацеленность на расширение их круга за счет новых пользователей, способность к взаимодействию и партнерству, работа со стратегическими заказчиками, позволяет постоянно расширять ассортимент предлагаемых продуктов и совершенствовать



# Имитационное моделирование



Рис. 5.

Линейка продуктов имитационного моделирования направлена на создание «Открытой научной платформы» для всестороннего исследования и анализа, как линейных, так и нелинейных процессов.

Эта линейка продуктов будет носить общее название SIMULIA, и помимо продуктов анализа, ранее встраиваемых в инженерный HUB, дополнена системой ABAQUS для исследования нелинейных процессов (рис. 6).

## В направлении к реалистичному имитационному моделированию



Рис. 6

Используя все многообразие инструментов анализа и имитационного моделирования можно выполнять линейный и нелинейный анализ и исследовать поведения изделия, как в условиях малых деформаций, так и в условиях необратимых преобразований.

Из всего многообразия продуктов для анализа остановимся несколько подробнее на продуктах фирмы LMS, и сосредоточимся только на некоторых возможностях, которые применяются при проектировании и испытании двигателей.

Так пакет Virtual.Lab Motion предоставляет собой законченное решение для численного моделирования реалистичных движений и нагрузок в двигателях до начала тестирования физического прототипа.

Пакет LMS Virtual.Lab реализует уникальный гибридный подход к численному моделированию, при котором модели и нагрузки, полученные по результатам испытаний, объединяются с виртуальными моделями и синтезированными нагрузками. Такое объединение ускоряет процесс конструирования и делает его более точным и устойчивым, т.к. обладает встроенными средствами проверки достоверности модели на основании результатов испытаний.

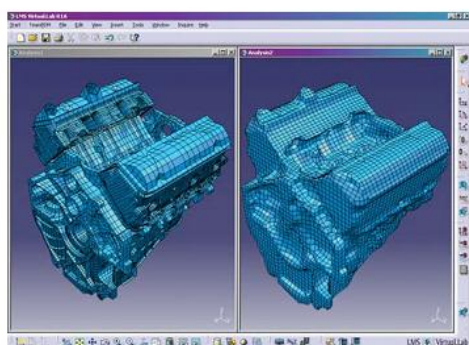
Жесткое законодательство по шумовому воздействию, требования потребителей к уровню шумов, конкуренция требуют проведения анализа параметров и доводки конструкции до приемлемых показателей. Поскольку даже для эксперта из-за временных и стоимостных ограничений процесс прогнозирования акустических полей и доводки конструкции является невыполнимым в одиночку, то единственной альтернативой было проведение испытаний в конце цикла разработки, когда гибкость проекта уже утрачена.

Решения LMS позволяют создавать акустическую сетку за часы, спрогнозировать результаты испытаний двигателя. Решения для внутренних и внешних акустических полей предназначены как для типовых приложений, так и для конкретных задач акустического проектирования, таких, как акустическая доводка двигателя (рис.7).

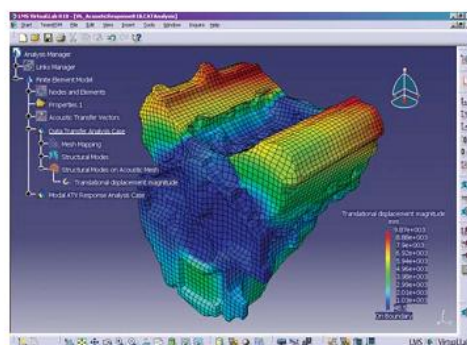
При этом обеспечивается:

- Получение полной информации об акустических проблемах
- Точное и быстрое прогнозирование влияние изменений конструкции
- Минимизации стоимости и массы средств шумозащиты
- Соответствие требованиям по уровню шума до проведения испытаний физического прототипа.

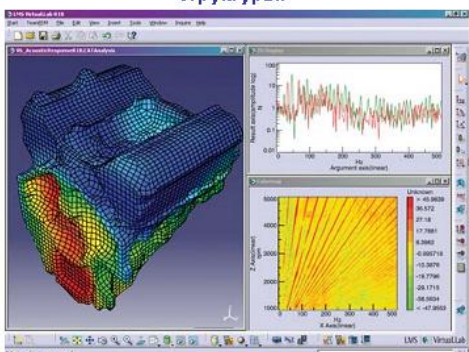
## Быстрое принятие решений в акустике



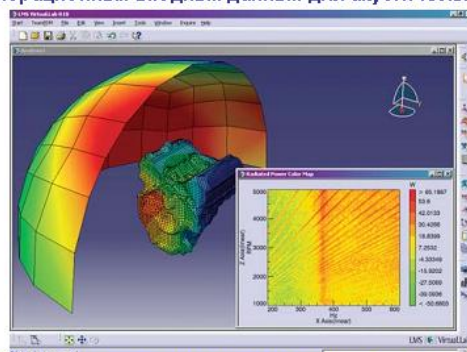
Преобразование структурной сетки (слева) в акустическую сетку (справа). Отверстия заполняются, ребра удаляются, новая частотно-зависимая сетка оборачивается вокруг структуры.



Можно воспользоваться конечно-элементным решателем для расчета собственных форм колебаний двигателя. В LMS Virtual.Lab формы отображаются на акустической сетке и служат в качестве вибрационных входных данных для акустических расчетов.



Экспериментальные данные о возбуждении, в виде порядкового частотного спектра или частотного спектра с учетом изменяющейся частоты вращения, приложенные к двигателю. Результаты, показывающие вибрацию двигателя в процессе работы, нанесены на акустическую сетку.



Общая излучаемая акустическая мощность двигателя представлена при помощи легко интерпретируемых цветowych диаграмм, с учетом условия нагрузки двигателя в режиме изменяющейся частоты вращения.

Рис.7

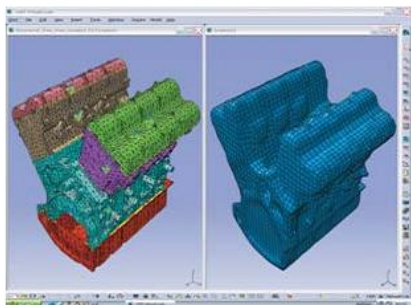
Для прогнозирования и улучшения характеристик звука и шума имеется инструмент начального уровня - Приложение LMS Virtual.Lab Boundary Element Acoustics: метод граничных элементов. При помощи понятных моделей и встроенной технологии решателей результаты можно получить быстрее, не теряя, при этом, точности. Приложение позволяет точно моделировать взаимосвязь между конструкцией и акустическим объемом. Например, установить зависимость влияния сильных колебаний давления в двигателе на дополнительное шумовое излучение за счет вибрации впускного коллектора.

Приложение LMS Virtual.Lab Numerical Engine Acoustics является эффективным инструментом для прогнозирования излучения шума в течение всего цикла разгонных испытаний двигателя и получения достоверной информации о причинах шума. С помощью этого приложения можно моделировать и оптимизировать конструкцию двигателя с точки зрения акустических характеристик.

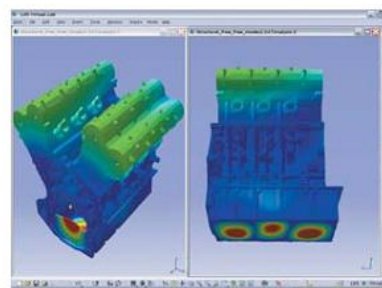
В данном приложении используются значения возбуждающих сил, полученные из динамического многокомпонентного анализа с применением LMS Virtual.Lab Motion, из внешних расчетов или путем измерений. На основании этих данных о динамических нагрузках и конструктивных режимах производится оценка поверхностных вибраций в мультирежимных условиях, на основании которой прогнозируется акустическое излучение.

Особенностью является то, что создание характерных акустических сеток производится натягиванием на структурную сетку. В качестве решателя применяется уникальная и эффективная технология ATV-вектор передачи акустических колебаний, которая осуществляет высокоскоростные прогоны в разных режимах и ускоряет повторные расчеты при анализе вариантов конструкций. На основе поверхностных вибраций осуществляется прогнозирование полного распространения шума и уровней звукового давления в определенных зонах, при этом продолжительность процесса оценки шума двигателя сокращается с нескольких месяцев до одного дня (рис.8).

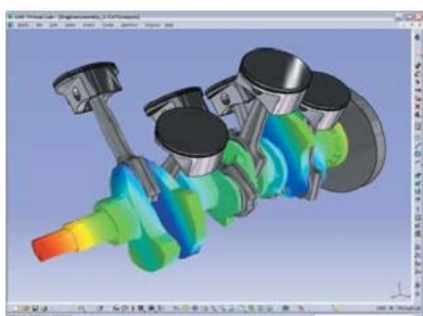
## **Приложение: Акустика двигателя**



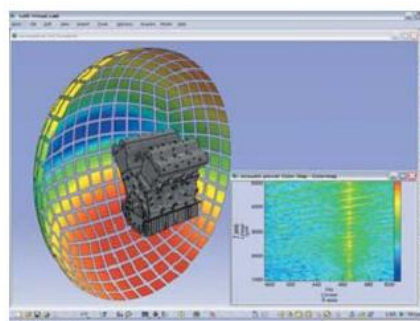
Акустическая модель на основе метода граничных элементов (справа) очень эффективно создается из структурной модели (слева).



У двигателя большое число основных узлов излучения шума.



Определяется влияние упругости коленчатого вала на акустические характеристики двигателя.



Усовершенствование конструкции для получения пониженного уровня излучения шума в условиях полного цикла прогона двигателя.

Рис. 8

Улучшение технических характеристик механических конструкций традиционным способом, основанном на проведении испытаний, уходит в прошлое. Единственной допустимой альтернативой становится оценка эксплуатационных свойств на виртуальных моделях.

По-прежнему, одной из самых сложных задач является обеспечение соответствия динамических характеристик спецификациям, когда взаимодействует большое число компонентов в реальных условиях с учетом гравитации и силы трения. Задачей виртуального моделирования является дать правильные ответы с требуемой степенью точности, а также достаточно своевременно, чтобы в процессе разработки оставалась возможность вносить коррективы. Ответы должны учитывать все требования к системам, включая долговечность, уровень шума и вибрации. Пакет LMS Virtual.Lab Motion предлагает возможности, обеспечивающие формирование специализированной среды для эффективного моделирования, испытаний и усовершенствования элементов подвески, трансмиссии, частей кузова, отделки салона и других сложных механизмов автомобилей.

С самых ранних этапов разработки концепции имеется возможность настраивать и оптимизировать элементы подвески, чтобы они соответствовали заданным характеристикам движения и управляемости, анализировать динамические свойства новых конструкций двигателей и прогнозировать усталостные нагрузки на компоненты и системы или оценивать уровень шума и вибрации (рис. 9).

# Оптимизация функциональных характеристик механических систем

## Пакет LMS Virtual.Lab Motion

- Оценка поведения сложных механических систем в реальных условиях
- Определение точных значений нагрузок для расчета конструкций, долговечности, а также для изучения уровня шума и вибраций
- Проведение анализа и оптимизация механических систем в реальных условиях до проведения испытаний прототипа

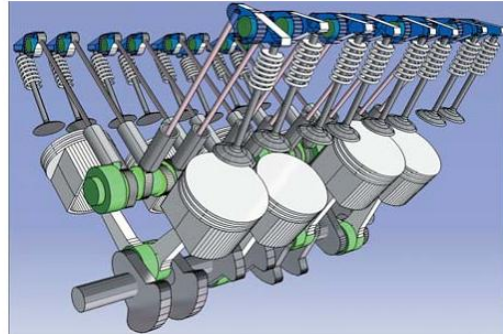


Рис. 9

При разработке новых усовершенствованных двигателей часто возникают противоречия в заданных параметрах конструкции. Например, ставится задача снизить выбросы двигателя и потребление топлива, создавая при этом двигатели большей мощности, снизить вибрацию, обеспечить бесшумную работу и функционирование без обслуживания. Приложение LMS Virtual.Lab Powertrain Motion представляет собой полное интегрированное решение для моделирования сложных динамических характеристик двигателей и точного прогнозирования внутренних нагрузок. Значения этих нагрузок необходимы для определения усталостной долговечности, вибрации и акустических шумов двигателя. Используя виртуальные модели можно выделить наиболее перспективные идеи в создании двигателей, таких как изменяемые фазы газораспределения, регулируемая величина подъема клапанов и двигателя с изменяемой степенью сжатия. Этот же модуль также может помочь специалистам, исследующим вращение осей, шум цепей, стук зубчатых передач и крутильные колебания, в оптимизации динамических характеристик трансмиссии.

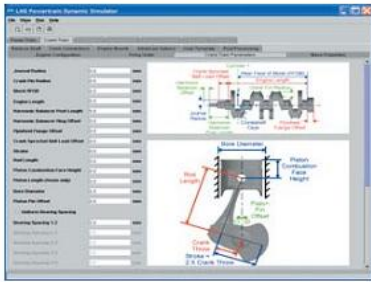
Предлагаются специализированные шаблоны моделирования, позволяющие быстро построить детализированные модели двигателя в сборе или отдельных его узлов, таких как механизм газораспределения, кривошипно-шатунный механизм, трансмиссия, элементы цепных и зубчато-ременных приводов.

После построения виртуальной модели решатель Virtual.Lab Motion Solver управляет множеством приложений для анализа двигателя (рис. 10):

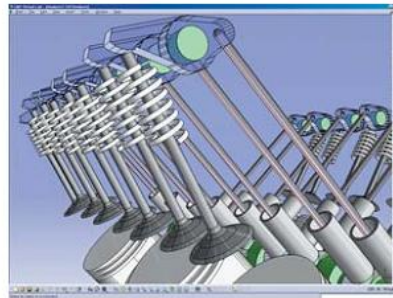
- Модель механизма газораспределения позволяет моделировать эффекты высокого порядка и высокой скорости, в том числе колебания витков клапанной пружины, взаимодействие в кулачковом механизме, процесс посадки клапанов.
- Модель кривошипно-шатунного механизма позволяет проводить анализ взаимодействия коленчатого вала и блока цилиндров двигателя, нагрузки в подшипниках, колебания коленчатого вала и динамические напряжения
- Модель трансмиссии позволяет анализировать изгиб и кручение валопроводов, удары и лязг при трогании и переключении передач, а также гудение трансмиссии
- Модель цепного привода: быстрая разработка и построение динамической модели сложных зубчатых звездочек, направляющих, а также конфигураций цепей

# Моделирование силовой установки

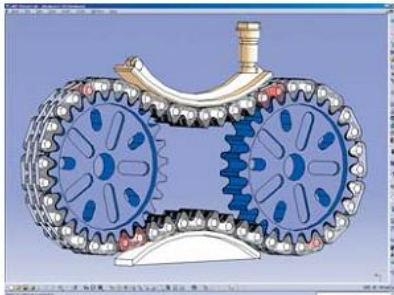
## LMS Virtual.Lab Powertrain Motion:



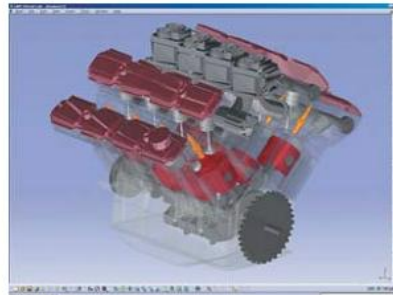
Шаблоны ускоряют процесс моделирования кривошипно-шатунного механизма, механизма газораспределения и механизмов различных приводов.



Имитация высокоскоростных динамических эффектов в системах газораспределения.



Изучение динамики ремней и цепей и связанной с ними работы подсистем силовой установки.



Шаблон двигательной установки позволяет создавать полностью параметризованные модели, обеспечивающие их быстрое изменение и ускоренный анализ.

Рис. 10

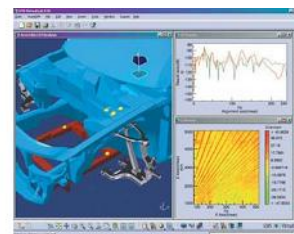
Как показывают результаты практического применения совместного применения продуктов DS и LMS, время затрачиваемое на построение и решение расчетной модели сокращается с месяцев до дней, а при повторном применении до часов.

Из всего разнообразия инструментов анализа от LMS рассказано только о их малой части (рис.11).

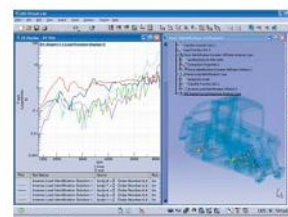
Дополнительно можно отметить такие приложения, как:

- LMS Virtual.Lab Structural Noise Radiation: излучение шума конструкцией
- Aero-Acoustic Modeling: АЭРОАКУСТИКА
- Inverse Numerical Acoustics: РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ АКУСТИКИ
- LMS Virtual.Lab Noise and Vibration: АНАЛИЗ ШУМА И ВИБРАЦИИ
- LMS Virtual.Lab Load Analysis and Contribution Analysis: АНАЛИЗ НАГРУЗОК И ПАРЦИАЛЬНЫХ ВКЛАДОВ В РЕАКЦИЮ
- LMS Virtual.Lab Vehicle Motion : ПОЛНАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА
- LMS Virtual.Lab Suspension Motion: МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ПОДВЕСКИ
- LMS Virtual.Lab Gear Motion : МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ
- LMS Virtual.Lab Component Fatigue: УСТАЛОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОНЕНТОВ

**ПРИЛОЖЕНИЕ: LMS Virtual.Lab Noise and Vibration:  
АНАЛИЗ ШУМА И ВИБРАЦИИ**



**ПРИЛОЖЕНИЕ: LMS Virtual.Lab Load Analysis  
and Contribution Analysis :  
АНАЛИЗ НАГРУЗОК И ПАРЦИАЛЬНЫХ  
ВКЛАДОВ В РЕАКЦИЮ**



**ПРИЛОЖЕНИЕ: LMS Virtual.Lab Vehicle Motion:  
ПОЛНАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНОГО  
СРЕДСТВА**



Рис. 11

Отдельно можно рассказывать об интегрированной среде для проведения испытаний, но это тема отдельного доклада.

Еще несколько слов о системе моделирования производственных процессов – DELMIA, которая позволяет как моделировать производственные процессы, так и оценивать временные характеристики, проводить календарное планирование и весь комплекс работ, связанных с подготовкой производства вплоть до проектирования производственных участков и моделирования процессов ручной сборки (рис. 12).

**DELMIA**



Рис. 12

Более подробно со всей линейкой решения, предлагаемой для поддержки полного жизненного цикла изделий можно ознакомиться непосредственно на нашей фирме ГЕТНЕТ Консалтинг. Внедрение программного обеспечения для проектирования двигателей позволяет предприятию выпускать качественную продукцию, значительно повышать эффективность производства и просто переходить от одного проекта к другому, повышать конкурентоспособность своей продукции.