

Новый метод разработки двигателей - Концепция виртуального двигателя

Ханс Петер Блаховский

АВЛ ЛИСТ ГмБХ
Ханс Лист Плац 1
А-8020 Грац, Австрия
Телефон: +43(316)787-1222, Факс: +43(316)787-1462

В данном докладе коротко изложен комплексный подход (Концепция виртуального двигателя) для моделирования физических процессов в двигателях. Здесь же показано практическое применение программных средств виртуального двигателя и их вклад в методологию проектирования силового привода автомобиля.

Введение

Для того, чтобы продукция оставалась конкурентоспособной на мировом автомобильном рынке, необходимо радикально уменьшить время её разработки. Непременным условием разработки новых двигателей и автомобилей является уменьшение её стоимости и продолжительности. Сегодня достижение этого условия с одновременным сохранением стандартов высокого качества станет возможно только в том случае, если расчётные методы определения свойств изделия будут применяться во всём процессе проектирования. АВЛ объединила свои различные инструменты моделирования в полный комплект средств анализа, который интегрирован в среду CAD/CAE.

Процесс разработки силового привода

Типичный CAE - ориентированный процесс разработки силового привода, применяемый на этапе разработки двигателя, отличается от традиционного процесса проектирования (Рис.1), так как в нём применяются инструменты моделирования параллельно с методами быстрого макетирования как ключевые точки для улучшения скорости и качества разработки. В тесной связи с конструированием, новое поколение силовых приводов развивается за счёт одновременного применения множества различных инструментов анализа с моментальной обратной связью с конструкцией. Расчётные задачи выполняются сразу же, как только становятся доступными все необходимые данные

(определения геометрической формы, физические граничные условия).

Процесс принятия решения разработчиком может сейчас основываться на данных анализа, которые получены

- путём сходимости
- за счёт использования заданной методологии.

Новые концепции изделий могут быть подробно изучены до изготовления дорогостоящих образцов. Это ведёт к снижению ограничений при экспериментировании с нетрадиционными решениями, так как их применение может быть полностью осмыслено, и оценка риска может быть сделана на ранней стадии проектирования.

Новая информация о характеристиках изделия, которую трудно или невозможно получить экспериментальным путём, может быть получена в связи с возрастанием сложности методов моделирования. Примером этого является расчёт образования NOx и сажи в камере сгорания дизеля.

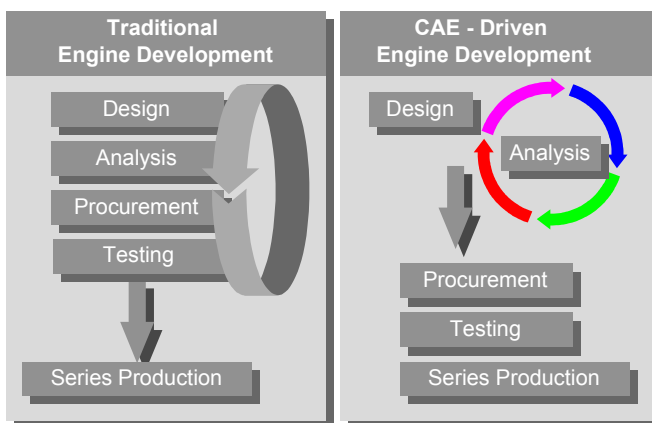


Рис.1 Различие между традиционной и CAE - управляемой разработкой двигателя.

Концепция виртуального силового привода

Многие различные физические свойства силовой установки требуют специализированных инструментов моделирования, которые могут быть собраны вместе, как показано на Рис. 2.

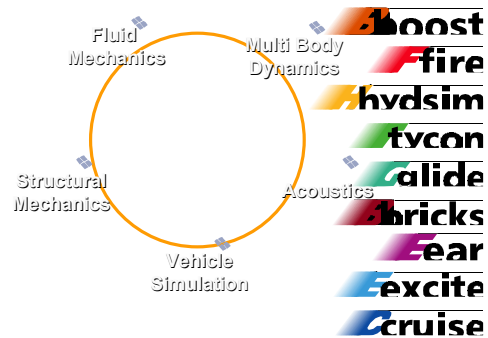


Рис. 2. Инструменты виртуального силового привода AVL.

Механика жидкости и газа

- BOOST Моделирование цикла двигателя
- HVDSIM Контур высокого давления впрыска
- FIRE Универсальный инструмент расчётов динамики жидкости

Динамика систем

- TYCON Программа, моделирующая газораспределительный механизм
- GLIDE Движение поршня и динамика поршневых колец
- EXCITE Динамика коленчатого вала

Акустика

- EXCITE Нелинейные вибрации поверхности двигателя
- EAR Психоакустическая оценка шума

Структурная механика

- EXCITE Переменные напряжения коленчатого вала
- BRICKS Конструкторский анализ КШМ

Моделирование автомобиля

- CRUISE Инструмент моделирования автомобиля

Способность интеграции инструментов моделирования с общепринятой средой CAE является решающим фактором успеха. AVL расширила эту концепцию за счёт интеграции инструментов виртуального силового привода между собой везде, где необходимо. Многие возможные связи показаны на Рис. 3.



Рис. 3. Обмен данными между инструментами моделирования концепции виртуального автомобиля.

Таким образом обеспечена общая платформа инструментов моделирования. На следующих нескольких примерах показаны решения проблем проектирования с помощью применяющейся интерактивно концепции виртуального силового привода.

Примеры решения проблем

Продувка

Продувка через управляемое окно или клапан в двухтактном двигателе играет значительную роль в достижении заданных характеристик двигателя. Кроме проведения экспериментов на

продувочном стенде трёхмерный анализ течения жидкости переменного динамического потока в настоящее время является стандартной процедурой в отраслях промышленности, использующих программу FIRE AVL.

Применение рабочего цикла CFD , состоящего из шагов:

- ввод данных поверхности
- установка расчетных сеток
- определение функций движения сетки
- определение граничных условий
- расчёт полной CFD модели
- анализ результатов

ведёт к новому пониманию свойств сложной динамики продувки.

Задаётся подробная информация об эффектах, влияющих на продувку и свойствах форм окон, фаз газораспределения, о взаимодействии с поршнем и форме камеры сгорания. На Рис.4 показан образец сложного трехмерного течения в определенный момент продувочного процесса. Использование передовых методов визуализации потока существенно улучшает оценку свойств потока.

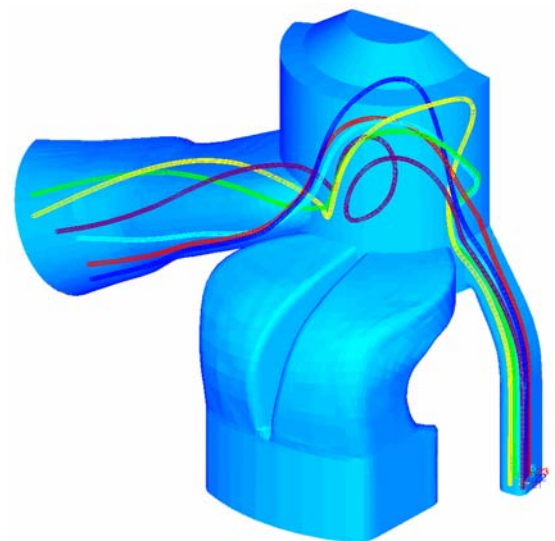


Рис. 4 Направление потока в 2^х-тактном двигателе.

Смесеобразование

Концепции современных двигателей основываются на детальном управлении процессом формирования топливоздушной смеси. Такие концепции включают непосредственный и распределенный впрыск бензина, которые имеют явное преимущество в уменьшении расхода топлива и снижении эмиссии загрязняющих веществ. Передовые CFD- расчёты с помощью программы FIRE АВЛ позволяют проводить подробные исследования многих конструктивных параметров, таких как момент впрыска, расположение форсунки, свойств впрыска, таких как распределение размеров капель, угол раскрытия факела, начальные скорости капель и т.д., используя специализированные расчётные модели:

- модель турбулентного сгорания
- модель распыливания жидкости
- модель образования плёнки жидкости на стенках

На Рис. 5 показано распределение топлива и воздуха в 2^x-тактном двигателе, включающем окончательную концепцию системы выпуска.

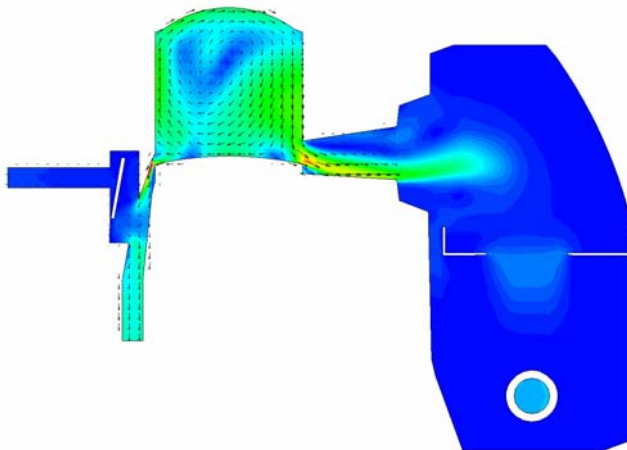


Рис. 5. 2^x-тактный двигатель с выпускной системой, распределение топлива и воздуха.

Цвет указывает смесь топлива и воздуха в определенный момент во время процесса продувки. Явно видно сильное взаимодействие между впускными и выпускными окнами. Для того, чтобы рассчитать сложную конфигурацию двигателя, даются специальные требования на гибкость перемещений сетки, нужные для физических моделей, таких как сгорание и двухфазные потоки. Программа FIRE АВЛ специально создана для этих случаев и показывает очень высокие характеристики и функциональность.

Динамика клапанов, поршня и коленчатого вала

Исследования конструкционной прочности деталей двигателя должны проводиться параллельно с фактическим проектированием деталей. Для этого должен применяться быстрый и надёжный метод. Инструменты КЭМ были эффективно включены в процесс проектирования несколько лет назад. Повышенные требования к точности ведут к более тесной интеграции различных инструментов, и для обеспечения этого к конструкционным моделям применяются подходящие граничные условия.

Примерами таких интегрированных задач является изучение влияния

- тепловых нагрузок в поршне, где получают коэффициенты нестационарной теплопередачи;
- тепловых нагрузок в блоке цилиндров, при объединении с CFD анализом потока охлаждающей воды;
- переменных напряжений кривошипа, где действительные деформации коленчатого вала в рабочих

условиях служат основой для анализа.

На Рис.6. изображено распределение тепловых напряжений в поршне. Расчётная сетка в этом примере была получена при использовании автоматического генератора сеток FAME АВЛ, распределение температуры определено с использованием МКЭ программы MSC-NASTRAN.

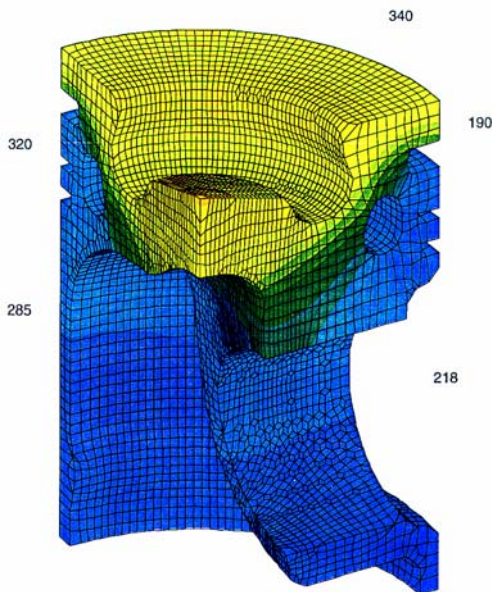


Рис. 6: Распределение температур в поршне.

Анализ акустики двигателя

Для достижения уровня комфорта, который требует сегодня потребитель от автомобиля, выполняются специальные работы, направленные на оптимизацию акустических свойств, таких как:

- установка двигателя;
- вибрация поверхности двигателя;
- шум механизмов;
- шум впускной и выпускной системы.

Из вышеупомянутых источников шума, вибрации поверхности двигателя, также называемые структурным шумом, представляют особый интерес, так как они включают в себя

интегрированный эффект от всех движущихся частей внутри двигателя. Пример распределения структурной вибрации двигателя показан на рис. 7.

block - aluminium

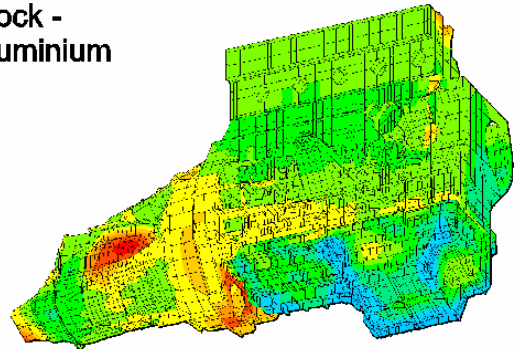


Рис. 7. Интегральное распределение уровня шума в передаточном механизме двигателя.

Рассматривая абсолютные уровни шума, излучаемого поверхностью двигателя, необходимо рассчитывать возмущающие усилия от поршня и привода одновременно с нелинейной динамикой движения коленчатого вала. Передовая методика анализа подшипников программы EXCITE АВЛ позволяет рассчитывать совместные эласто-гидродинамические эффекты радиальных подшипников скольжения. На рис. 8 приведено несколько примеров самых значительных возмущающих сил. Это:

- рассчитанные силы давления газов при сгорании
- усилия в газораспределительном механизме, такие как силы, передающиеся через седла клапанов при посадке клапанов или результирующие усилия в подшипниках распредвала
- усилия от перекладки поршня, появляющиеся из-за движения поршня второго порядка
- неравномерность крутящего момента, снимаемого с коленчатого вала двигателя

Переменные газовые силы в камере сгорания также измеряются на

исследовательском стенде с использованием оборудования для индцирования высоких давлений или рассчитываются, используя программу моделирования цикла двигателя BOOST AVL.

Силы газораспределительного механизма одиночного клапана являются результатом работы всего механизма, состоящего из распредвалов, приводных ремней, зубчатых колес или цепей, определяются при использовании программы TYCON AVL, моделирующей ГРМ.

Вторичное движение поршня и результирующие усилия от перекадки поршня рассчитываются по программе GLIDE AVL.

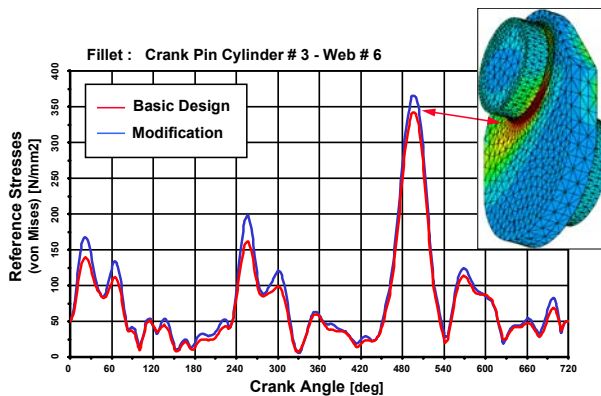


Рис. 8 Возмущающие силы двигателя.

Расчет зависящих от времени крутильных колебаний коленчатого вала, или моделируемых с помощью объёмной сетки или посредством приведения движущихся масс, является необходимым первым шагом для успешного расчета переменных напряжений коленчатого вала. На рис. 9 показано распределение напряжений ван Мизеса в щеке коленчатого вала 3-х цилиндрического двигателя.

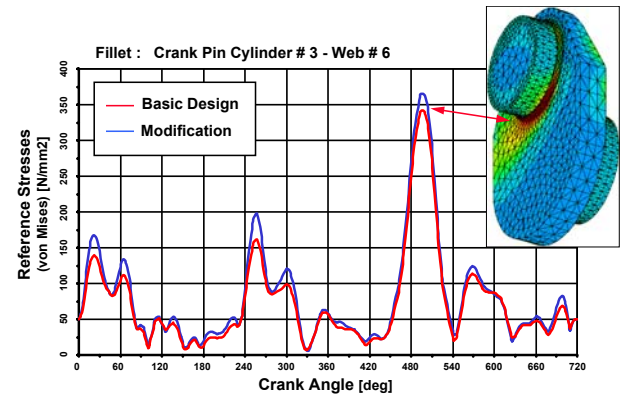


Рис. 9. Переменные напряжения в кривошипе.

Работа по шумности автомобиля имеет целью не только уменьшение абсолютного уровня звукового давления, но также приспособление характеристик излучаемого шума в соответствии с положительным субъективным восприятием звука пассажиром (потребителем). При наличии программы EAR AVL инженеры имеют простой в использовании инструмент, который даёт оценку объективно возникающего шума.

Гибрид одномерной и трехмерной моделей

При расчете термодинамических характеристик двигателя с помощью программы BOOST AVL, его сложная геометрическая форма должна быть представлена одномерными элементами. Преимущество этого шага в быстром получении результатов расчёта, но подразумевается, что существующие трёхмерные эффекты не будут учитываться. Необходимое расширение одномерного подхода состоит в трёхмерном расчёте критических участков, используя программу FIRE AVL, и тесном взаимодействии этих программ. На рис. 10 изображена гибридная модель BOOST четырёхцилиндрового двигателя, связанная с FIRE.

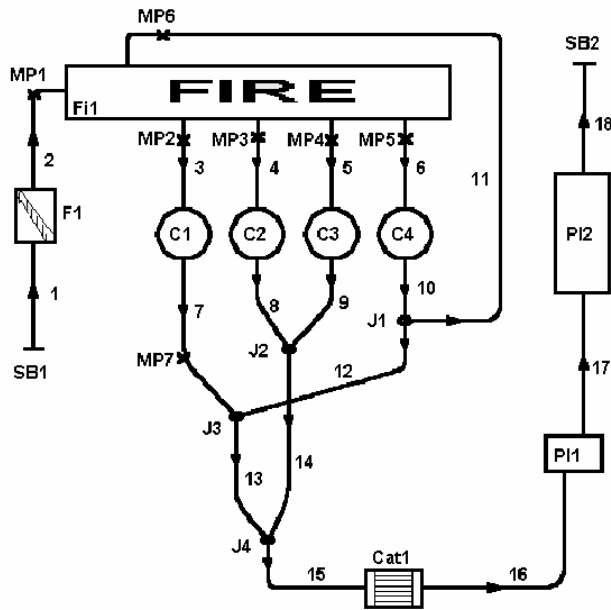


Рис. 10 Гибридная модель BOOST и её связь с FIRE

Производится обмен данными в областях после каждого расчётного временного шага, и таким образом учитываются точные вычисления распределения рециркуляционных выхлопных газов внутри впускного трубопровода, как показано на рис. 11.

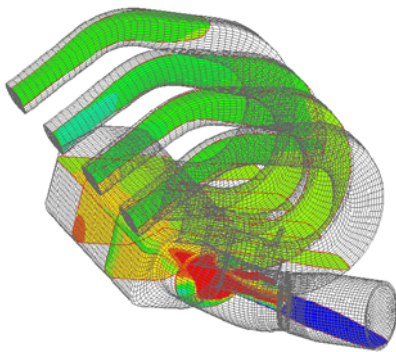


Рис. 11 Гибридный расчет BOOST и FIRE, распределение рециркуляции выхлопных газов во впускном трубопроводе.

Моделирование автомобиля

Для достижения требований автомобильной индустрии во время разработок должно быть уделено особое внимание обеспечению соответствия энергоустановки и автомобиля.

AVL своей программой CRUISE предоставляет инструмент моделирования, который используется именно в этом направлении. Двигатель определяется с помощью универсальных характеристик, полученных при испытаниях двигателей, где имеется мощность, расход топлива, эмиссия загрязняющих веществ, где как автомобиль так и контур силового привода моделируется, используя большой комплект заранее определенных элементов.

На рис. 12 приведен образец модели автомобиля. Рисунок показывает моментальный снимок экрана компьютера во время процесса построения модели.

Развитая модульная структура программы была выбрана так, чтобы можно было представить любую комбинацию автомобиля и силового привода.

На втором этапе после представления автомобиля и контура силового привода должны быть определены условия применения, такие как ездовые циклы или профиль дороги. В программе CRUISE заложены все основные ездовые циклы. Профили дорог, заданные пользователем, могут быть легко добавлены им в базу данных задач. После того как определение модели завершится CRUISE будет рассчитывать характеристики силового привода и автомобиля. Простой в использовании модуль программы для представления результатов расчётов позволяет пользователю впоследствии заниматься детальным анализом модели.

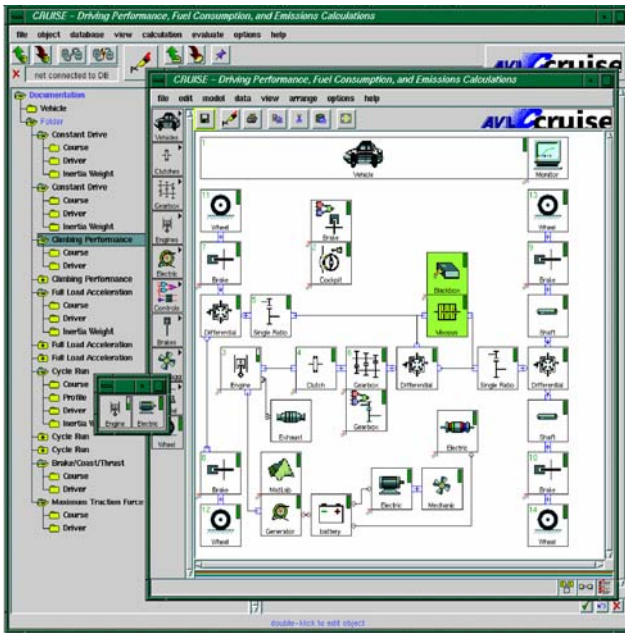


Рис. 12. Интерактивный редактор автомобиля.

На рис. 13 показано, как пример, распределение времени движения по универсальной характеристике двигателя для данного ездового цикла.

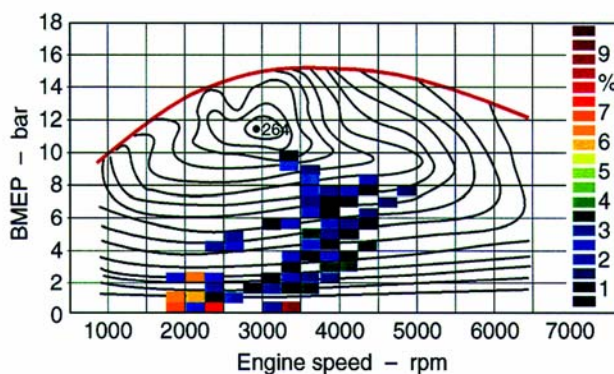


Рис. 13. Распределение времени движения

Ограничения

Интенсивное применение компьютерных методов влечёт за собой проблему, состоящую в том, что полученные результаты не оцениваются тщательно пользователем на точность и принимаются неверные конструкторские решения.

В следующих нескольких аспектах обрисованы возможные области возникновения проблем:

- Допущения, сделанные во время математического моделирования физических явлений, естественно ограничиваются способностями прогнозирования инструментов CAE. Не рассматривая основные ограничения, пользователь (инженер) может ошибочно интерпретировать результаты расчёта.
- Граничные условия определяют любую сложную модель, и они должны быть заданы с максимальной тщательностью.
- Упрощения геометрии модели должны вводиться на этапе подготовки модели и их смысл должен учитываться.

Мощность компьютера ограничивает практическое использование математических моделей, так как должны соблюдаться временные рамки для разработок.

Заключение

Рассматривая широкий диапазон технических программных пакетов AVL становится ясно, что концепция виртуального силового привода стала реальностью, которая доступна каждому инженеру.

Можно добиться полного преимущества использования инструментов моделирования во время процесса разработки только тогда, когда достигается интеграция моделирования в проектную и испытательную среду.

Несмотря на то, что применение отдельных инструментов моделирования достаточно для понимания физических явлений, интегрированное использование

различных инструментов моделирования, интеграция их со средой CAD и методами быстрого макетирования даёт более точное

понимание управляющих процессов в силовых установках.

Благодарность

Я хотел бы выразить признательность моим коллегам, которые предоставили мне результаты расчётов, представленных в этой публикации.

Используемые сокращения

CFD..... Расчетная динамика жидкости
CAD..... Конструирование с помощью компьютера
МКЭ.....Метод конечных элементов
CAE.....Технологии, поддерживаемые компьютером

Литература

1. P. Prenninger, P. Bartsch, "Application of AVL-BOOST-FIRE Hybrid Calculation in Engine Optimisation", AVL Proc. 3rd Int. FIRE User Meeting, June 16th/17th, 1997.