

Програмное обеспечение для моделирования силовых агрегатов: Ноу-хау AVL в увеличении доли исследовательских работ на ранних стадиях проектирования

А. Скрипник,
ООО «АПС Консалтинг»
117216, РФ, Москва, Грина ул., 24, 86
Т/ф: +7 495 659 14 10
М: +7 916 697 26 73
www.aps-c.ru
info@aps-c.com

AVL Group (далее AVL) предлагает услуги по разработке силовых агрегатов в широком диапазоне применения, от двигателей для мотоциклов и легковых автомобилей до судовых двигателей или стационарных двигателей электростанций. Успех в решении таких многочисленных и разнообразных задач состоит в умелом использовании своих собственных разработок и ноу-хау, полученных в трех бизнес – департаментах: Разработки силовых агрегатов, Испытательного оборудования и измерительной аппаратуры и Передовых технологий моделирования (**Advanced Simulation Technologies**). Эти департаменты находятся в постоянном тесном взаимодействии, обмениваясь опытом экспертов, результатами испытаний и прогнозами с помощью методов численного моделирования. Такое взаимодействие ведет не просто к суммарному увеличению эффективности выполняемых проектов, но к качественно новому уровню разработки новой продукции или предоставления услуг.

Для достижения будущих требований к транспортным средствам необходимо снижать расход топлива, повышать экологию, безопасность и надежность транспортных средств. Автомобильные производители всего мира вынуждены вести постоянный поиск новых решений для сокращения времени разработки продукции, увеличения ассортимента продукции, основанного на ограниченном наборе платформ, усложнения систем, повышения безопасности.

Хорошо известно, что успеха при разработке нового сложного продукта в жестких временных рамках можно добиться только при принятии правильного решения на стадии концептуального проектирования. На этой ранней стадии стоимость изменения конструкции несоизмеримо меньше, чем при изготовлении прототипа. Для увеличения доли исследований на ранних этапах разработки AVL создала свое собственное программное обеспечение, а также использует программное обеспечение сторонних производителей.

Программное обеспечение AVL, разработанное департаментом передовых технологий моделирования (Advanced Simulation Technologies) можно условно разделить на два класса:

- Программы для моделирования динамики жидкости и газа в одномерной и трехмерной постановке. К ним относятся FIRE, BOOST и HYDSIM
- Программы для моделирования механических систем с помощью методов динамики многомассовых систем. К ним относятся пакет программ EXCITE и CRUISE

Области применения ПО AVL следующие:

- 1D / 3D CFD моделирование в двигателях
 - Потоки в форсунках
 - Смесеобразование и сгорание
 - Характеристики, токсичность и постобработка ОГ
- 3D CFD моделирование автомобиля
 - Внутренние и внешние потоки в автомобиле
 - Климат в салоне

- Размораживание и отпотевание ветрового стекла
- Загрязнение зеркал и остекления
- Аэроакустика
- Управление тепловыми потоками (совместно с Flowmaster. См. www.flowmaster.com и описание в заключительной части статьи)
- Интегральное моделирование силового привода
 - Вибрация и акустика силового привода
 - Прогнозирование усталостной прочности
 - Анализ трения
- Моделирование системы автомобиля
 - Моделирование ездовых характеристик и токсичности
 - Моделирование управляемости и автомобилей с гибридными силовыми установками

fire™ – признанный лидер среди расчетных комплексов для анализа двигателей внутреннего сгорания, специализирующийся на 3х мерном моделировании процессов газообмена, смесеобразования и горения, а также образования токсичных компонентов Отработавших Газов (ОГ) и постобработки ОГ. FIRE используются при проектировании двигателя для анализа и оптимизации геометрической формы впускных каналов и камеры сгорания, расчета вихревого числа и коэффициента наполнения, параметров закона топливоподачи и формирования рабочей смеси, процессов воспламенения, горения, и образования токсичных компонентов ОГ, моделирования процессов в системах постобработки ОГ и др. Кроме того, FIRE используется для моделирования кавитации в сопловых отверстиях форсунок и расчетов рубашек охлаждения ДВС.

fire™ GP (General Purpose) является программой для расчета трехмерных задач газовой динамики общего назначения и может использоваться для моделирования как несжимаемых, так и сжимаемых потоков с учётом теплообмена. FIRE GP обладает достаточно высокими характеристиками, что связано с высокой гибкостью по отношению к любому типу сетки, высокой точностью, быстрым расчетным ядром и низкими требованиями к оперативной памяти. Некоторыми применениями программы являются расчет внешней аэродинамики автомобиля, расчет вентиляции салона, размораживание и отпотевание ветрового стекла, исследование комфорта внутри салона и т.п.

Excite Power Unit является лидером в области расчетов динамики, прочности и акустики двигателей внутреннего сгорания, трансмиссий и силовых агрегатов. Используя передовые методы моделирования, AVL EXCITE Power Unit рассчитывает локальные вибрации и глобальные перемещения всех движущихся частей, включая физические характеристики подшипников скольжения. EXCITE предоставляет результаты расчета нелинейной динамики коленчатого вала и поршня, а также сложный анализ подшипников скольжения для оценки динамических напряжений, вибрации и акустики на всех рабочих режимах.

Excite Designer основан на аналитических методах и является инструментом для быстрого создания схемы КШМ на ранних стадиях разработки двигателя. Результаты моделирования включают гидродинамический анализ подшипников, крутильные колебания, нагрузки в подшипниках и расчеты на усталостную прочность коленчатых валов.

Excite Timing Drive обеспечивает оптимальные характеристики и надежные результаты для любой конструкции клапанного механизма. Весь процесс разработки, начиная с кинематического конструирования профилей кулачков и до детального моделирования динамических

характеристик отдельного клапана и приводов ГРМ (цепь, ремень или зубчатое колесо) может быть проведен с помощью программы.



является инструментом для конструирования цилиндро-поршневой группы. Результаты расчета включают вторичные перемещения поршня, контактные нагрузки и энергию для анализа шума и трения. Абсолютные значения давлений между поршневыми кольцами, перемещения колец и утечки могут быть определены с помощью модуля поршневых колец. Более того, программа предоставляет возможность прогнозирования расхода масла в системе смазки.



представляет собой инструмент для динамического анализа гидравлических и гидромеханических систем. Программа специально предназначена для моделирования систем впрыска высокого давления дизельных, бензиновых или работающих на альтернативных видах топлива двигателей. В основу HYDSIM заложены одномерные модели потока жидкости и двумерное представление механических частей.



– инструмент для моделирования газообмена и термодинамического цикла ДВС. Программа для одномерного моделирования имеет высокую точность, стабильность и частотную разрешающую способность. Использование программы приводит к улучшению характеристик двигателя и снижению аэродинамического шума на впуске и выпуске. BOOST может использоваться совместно с ПО FIRE для более детального анализа сложных потоков. Мощные пре- и постпроцессор спроектированы таким образом, чтобы иметь возможность ввода и вывода всех данных, необходимых для всех типов современных двигателей.



– инструмент для разработки и оптимизации двигателей с низкой токсичностью ОГ, надежных трансмиссий и сложных систем управления. Гибкая модульная концепция позволяет создать любую конфигурацию механических и электрических компонентов и систем управления. Основными задачами CRUISE являются:

- Оптимизация автомобиля и отдельных узлов автомобиля
- Топливная экономичность, прогнозирование токсичности ОГ, характеристики, влияние различных компонентов автомобиля, например шин, на топливную экономичность.
- Проектирование механики и электрики, обработки управляющих сигналов с помощью одного инструмента
- Оценка новых концепций автомобиля (гибридный силовой агрегат, топливный элемент)
- Подбор стратегии управления (управление энергетическими потоками автомобиля)
- Подбор двигателя и трансмиссии ещё на стадии концептуального проектирования автомобиля или двигателя, что существенно снижает затраты на исследования во время разработки и риск выбора неудачного соотношения.

Каждый программный продукт применяется в нужный момент для решения определенного класса задач в процессе разработки

Для разработки отдельных компонентов используются, главным образом, методы трехмерного моделирования, отличающиеся наибольшей сложностью и детализацией с одной стороны, и достаточно большими временами расчета с другой. Тем не менее, с помощью программного обеспечения, построенного на методах трехмерного моделирования сплошных сред, получают информацию, которую крайне сложно и дорого или вообще невозможно получить экспериментально, а также проводят оптимизацию сложных геометрических форм и характеристик рабочего процесса. Основными представителями такого класса программ являются FIRE и EXCITE power unit.

Для разработки подсистем и систем используются более простые в применении программы, основанные, главным образом на одномерных и нульмерных моделях. Такие программы содержат большое число эмпирических моделей, но обладают краткими временами расчета, что позволяет использовать их на ранних этапах проектирования при анализе большого числа вариантов и в отсутствие технических деталей. Кроме того, эти программы широко используются для оптимизации и могут интегрироваться в испытательные стенды для расчетов на основании измерений в режиме реального времени. Этот класс представлен программами BOOST, EXCITE designer, EXCITE piston and rings, HYDSIM, CRUISE

При разработке подсистем и систем используются также комбинированные подходы, которые предусматривают совместное использование трехмерных и одномерных моделей, а также инструментов оптимизации. Например, для моделирования процессов смесеобразования и сгорания в двигателях с расслоением заряда используют программу FIRE трехмерного моделирования гидро-газодинамических процессов, а для расчетов процессов во впускных и выпускных системах используют BOOST. Обе программы имеют динамический интерфейс обмена данными, что позволяет передавать граничные условия из BOOST в FIRE и обратно. Таким образом, более точно описываются процессы смесеобразования и сгорания в двигателе, а суммарное время расчета сокращается по сравнению с использованием полностью трехмерной модели. Также в результате такого совместного расчета получают характеристики двигателя с новой или модифицированной организацией рабочего процесса.

Ниже приводится несколько примеров совместного моделирования.

Ухудшение климатических условий и ужесточение законодательных норм токсичности побуждает производителей двигателей искать пути снижения выбросов CO₂ и NO_x. Основные мероприятия для достижения этих целей можно разделить на несколько направлений:

- Улучшение процесса сгорания, использование альтернативных топлив и альтернативных источников энергии;
- Снижение размеров двигателя, применение гибридных установок и улучшение внешней аэродинамики автомобиля;
- Использование постобработки отработавших газов, рециркуляции ОГ, использование методов прогнозирования токсичности на переходных режимах работы.

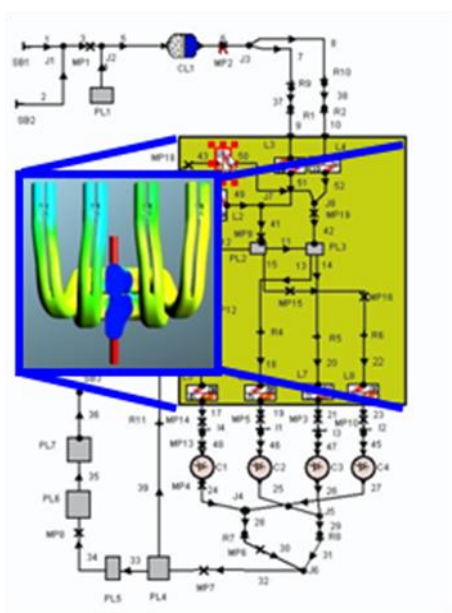


Рисунок 1. Модель BOOST четырехцилиндрового двигателя

На рис. 1 представлена типичная модель BOOST четырехцилиндрового двигателя с системами впуска и выпуска, в которой часть впускного коллектора с клапанами рециркуляции ОГ может быть заменена трехмерной моделью FIRE для учета межцилиндровой неравномерности распределения ОГ и уточнения модели BOOST.

Работа системы постобработки ОГ должна быть эффективной в большинстве режимов работы двигателя в составе транспортного средства. Для прогнозирования условий работы системы необходимо задать граничные условия (нагрузка, частота вращения) со стороны транспортного средства двигателю. Такая сложная задача, в которой должны быть учтены переходные процессы при движении автомобиля в соответствии с нормативными ездовыми циклами, рабочий процесс двигателя в условиях переходных режимов работы и химические процессы в системах постобработки ОГ во всех вышеперечисленных условиях, может быть решена с помощью совместного моделирования CRUISE, BOOST и

FIRE. CRUISE моделирует поведение автомобиля в реальном ездовом цикле, используя модель двигателя BOOST в виде динамической библиотеки. В BOOST встроена модель системы обработки ОГ с учетом термохимических реакций. С помощью BOOST производится начальная настройка кинетической схемы, а FIRE выполняет трехмерный расчет для учета геометрических и термофизических деталей.

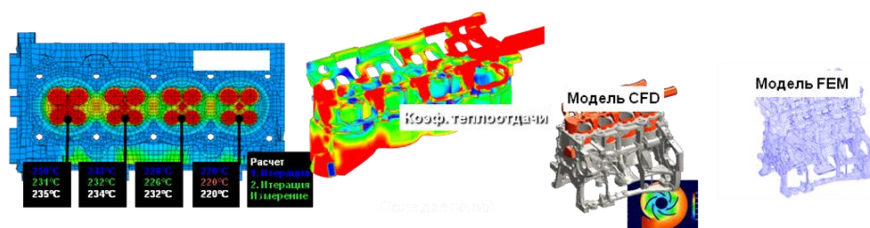


Рисунок 2 Исследование термомеханической усталости системы головка-блок цилиндров.

Еще одним примером совместного моделирования является исследование термомеханической усталости системы головка-блок цилиндров. Для задания тепловых граничных условий со стороны камеры сгорания и рубашки охлаждения используется FIRE и BOOST, а для расчета теплового и напряженно-деформированного состояния деталей на различных режимах работы используется ABAQUS. Затем для анализа усталости и определения областей с минимальным временем жизни применяют специальное программное обеспечение производства третьих сторон.

BOOST может использоваться как на испытательном стенде с системой PUMA для расчета скорости тепловыделения, коэффициента остаточных газов и КПД на основании данных индицирования, так и в офисе в составе программного обеспечения CONCERTO для анализа индикаторной диаграммы. Таким образом, и во время испытаний и при анализе результатов испытаний используется один универсальный подход, позволяющий рассчитывать величины, которые невозможно измерить. Кроме того инженер-испытатель получает возможность ознакомления с программой BOOST для моделирования термодинамического цикла.

Для повышения топливной экономичности, снижения размеров двигателя, улучшения работы двигателя на переходных режимах, таких как трогание, переключение передач, прогрев, а также для снижения шума и вибрации и прогнозирования долговечности деталей двигателя используются программы EXCITE и CRUISE.

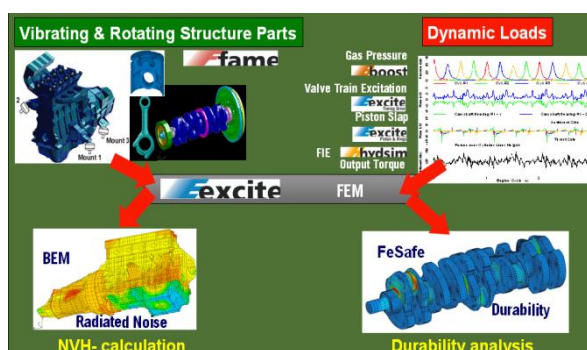


Рисунок 3 Анализ структурного шума и вибрации с помощью EXCITE power unit

Получая информацию о силах давления со стороны газа, силах инерции вращающихся и поступательно движущихся деталей, реакциях опор, а также высокочастотных нагрузках со стороны топливной аппаратуры, EXCITE power unit проводит анализ структурного шума и вибрации. EXCITE используется для расчетов на прочность элементов трансмиссии и коленчатых валов, а также для прогнозирования долговечности деталей с помощью специального программного модуля FeSafe.

Для испытаний коробок передач и трансмиссий с различными двигателями не обязательно использовать для стендовых испытаний несколько различных двигателей. Достаточно установить испытуемую коробку передач и две системы AVL PrimeMover со стороны двигателя и трансмиссии. Системы AVL PrimeMover обладают низкой инерционностью и могут работать в большом диапазоне частот вращения, моделируя не только средний крутящий момент двигателя, но и колебания крутящего момента, вызванные, например, крутильными колебаниями коленчатого вала.

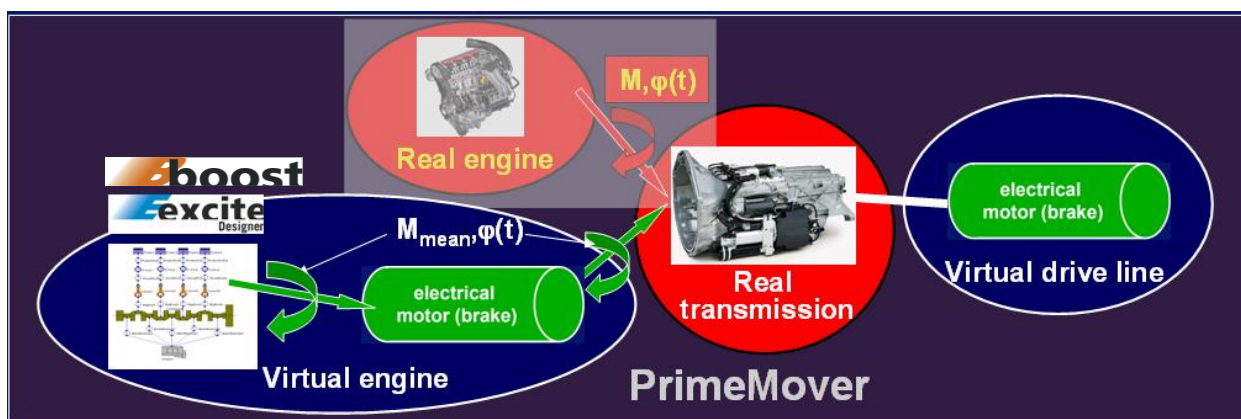


Рисунок 4 Виртуальный испытательный стенд с системой PrimeMover

Для управления системой PrimeMover со стороны двигателя используется комбинация программ BOOST и EXCITE. BOOST рассчитывает средний крутящий момент двигателя, а EXCITE прогнозирует крутильные колебания коленчатого вала и накладывает колебания крутящего момента на средний крутящий момент. Полученный в результате расчета сигнал крутящего момента передается в систему управления PrimeMover, обладающую малым временем реакции, и ротор электродвигателя PrimeMover передает коробке передач крутящий момент, сходный с крутящим моментом реального двигателя.

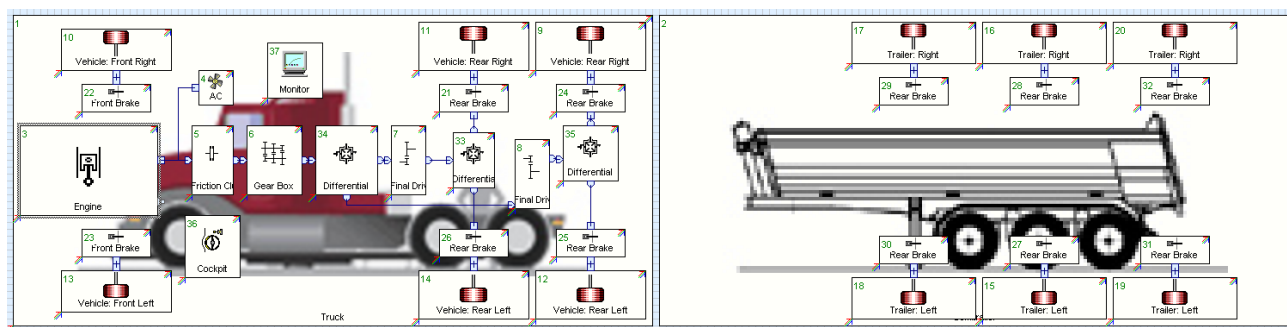


Рисунок 5 Типичная модель автомобиля с прицепом, созданная в CRUISE

Примером оценки и улучшения ездовых характеристик автомобиля служит разработка КПП с двойным сцеплением. Модель Автомобиля, созданная в CRUISE, включает детальную модель двигателя BOOST, а управление переключением передач осуществляется с помощью внешнего пользовательского алгоритма, реализованного с помощью C, FORTRAN или Matlab. Для оценки качества переключения передач с использованием различных конструкций сцепления применяется система AVL-DRIVE, которая получает сигналы от виртуальных датчиков ускорения, скорости автомобиля, температуры двигателя и частоты вращения коленчатого вала, положения сцепления и текущей передачи, и др. из CRUISE. На основании полученных сигналов система AVL-DRIVE рассчитывает индекс управляемости транспортным средством, который является интегральной величиной, зависящей от множества характеристик. Далее из нескольких вариантов сцепления выбирают тот, у которого выше индекс. Используя базу данных, индекс управляемости

можно сравнить также с индексами управляемости автомобилей большинства мировых производителей.

Разработка гибридных силовых агрегатов является многосторонней задачей, для решения которой используются совместно сразу несколько программных продуктов:

- Для интеграции всех электронных систем автомобиля используются CRUISE и Matlab,
- Для прогнозирования экономичности, токсичности и ездовых характеристик используется связка CRUISE-BOOST
- Для оценки управляемости используется CRUISE и AVL-Drive
- Для разработки термодинамического цикла ДВС используются FIRE и BOOST
- Для расчетов прочности, долговечности шума и вибрации, а также анализа трения используется EXCITE,
- Для анализа энергетического баланса автомобиля в целом используются CRUISE, BOOST, Flowmaster и FIRE.

Группы разработки и поддержки программного обеспечения AVL AST расположены близко к любому производителю автомобилей и двигателей.

Не является исключением и Россия. ООО «АПС Консалтинг» работает на российском рынке с 2004г. Основная цель деятельности ООО «АПС Консалтинг» состоит в предоставлении компетентных инжиниринговых и исследовательских услуг промышленным предприятиям и научно-исследовательским организациям в различных областях экспериментальной и вычислительной гидродинамики и моделирования процессов горения. Фирма предлагает широкий спектр услуг Российским и международным заказчикам:

- Продажа программного обеспечения AVL и Flowmaster
- Выполнение расчетных работ для промышленности
- Создание новых и модернизация существующих математических моделей
- Адаптация программного обеспечения в соответствии с заданием Заказчика
- Поддержка пользователей
- Предоставление консультаций по использованию программных продуктов
- Проведение семинаров для представителей промышленности, НИИ и ВУЗов
- Организация тренингов на AVL в Австрии для Российских заказчиков

В распоряжении ООО «АПС Консалтинг» имеются самые современные версии программного обеспечения. По запросу Заказчика предоставляются демонстрационные версии и соответствующие консультации по использованию программ.

ООО «АПС Консалтинг» приглашает к сотрудничеству промышленные производства и научно-исследовательские организации.



Flowmaster – программное обеспечение для моделирования тепловых гидродинамических систем, используемое аналитиками и инженерами для проектирования сложных гидравлических систем. Flowmaster производится

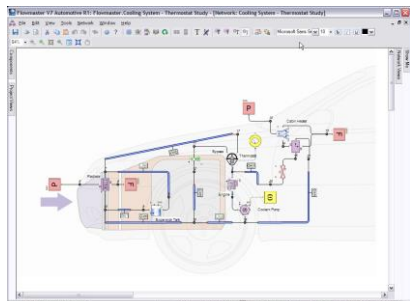
компанией Flowmaster Group с центральным офисом в Великобритании.

Flowmaster V7 построен на основании 20 летнего опыта применения CAE технологий в области моделирования Гидравлических и Тепловых систем.

Flowmaster предлагает большой и быстро расширяющийся ассортимент аналитических модулей для множества областей применения, таких как системы смазки и охлаждения двигателей автомобилей и кондиционирования пассажирских салонов, гидравлических систем

испытательного оборудования, систем отопления, охлаждения, водоснабжения и подачи газа для испытательных и производственных помещений, авиационных гидравлических систем, гидравлических систем предприятий энергетического комплекса.

Новый пользовательский интерфейс версии V7 существенно упростил процесс создания модели, конфигурирования и запуска расчета.

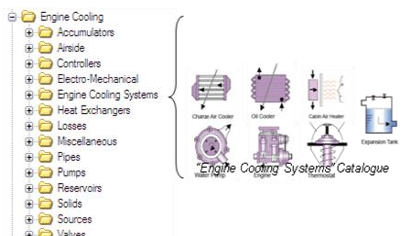


Flowmaster V7 Automotive позволяет моделировать системы охлаждения и смазки двигателя, отопления и кондиционирования салона, системы выпуска и системы топливоподачи.

Уже на ранних стадиях разработки Flowmaster позволяет проводить предварительные оценки, используя ограниченный набор исходных данных (например, на стадии разработки концепции, во время проведения тендера или оценки объема работ). Такие упрощенные модели могут постепенно усложняться и корректироваться в соответствии с появляющимися исходными данными, достигая в результате высокой степени детализации проекта.

Функциональное, стабильное и быстрое расчетное ядро дает возможность инженеру прогнозировать характеристики моделируемой системы в широком диапазоне рабочих режимов при запуске большого числа вариационных расчетов даже до изготовления системы или отдельных компонентов.

Гибкость и конфигурируемость Flowmaster под условия Заказчика связана с наличием множества интерфейсов, таких как (COM, .NET, XML, MrCCi), а также интерфейсов с программными комплексами вычислительной гидродинамики (CFD) и MatLab/Simulink.



Для моделирования систем охлаждения Flowmaster использует широкий ассортимент компонентов систем охлаждения, компонентов общего применения и контроллеров. Расчет может проводиться как для установившихся, так и для переходных режимов течений жидкости и потоков воздуха. Возможность моделирования ездового цикла позволяет

проверить работоспособность системы охлаждения в условиях, максимально приближенных к реальным, и при необходимости, проверить характеристики системы при движении по законодательному ездовому циклу, записанному в базу данных. Flowmaster легко интегрируется в среду для моделирования теплового баланса автомобиля.

В результате, ещё не имея трехмерной геометрии, инженер быстро получает информацию о времени прогрева, срабатывании термостата, расширении охлаждающей жидкости, тепловых потоках в двигателе, системе охлаждения, подкапотном пространстве. В результате расчета различных вариантов определяются влияющие факторы, производится оптимизация характеристик системы охлаждения, определяются пределы надежной работы.

Для моделирования систем смазки используется специальный набор компонентов, материалы и характеристики, а также, компоненты общего назначения. Кроме расчетов теплообмена и взаимодействия деталей, модуль смазки позволяет моделировать волновые эффекты с учетом содержания газа в масле.

Flowmaster позволяет проектировать системы кондиционирования с учетом теплового баланса всего автомобиля. Полный набор компонентов, хладагентов и карт характеристик, а также контроллеров, позволяет проводить оценку и отбор компонентов разных поставщиков. Время разработки систем сокращается.