

# Моделирование системы термического управления автомобиля при совместном использовании различных программных пакетов.

**W. Puntigam and T. Hörmann**

VIF- Kompetenzzentrum - Das virtuelle Fahrzeug Forschungsgesellschaft mbH

**K. Schierl and B. Wiesler**

AVL List GmbH, Advanced Simulation Technologies

**J. Hager**

MAGNA STEYR Engineering Center Steyr

## КРАТКИЙ ОБЗОР

На сегодняшний день термическое управление становится все более и более важным вопросом при разработке автомобилей. Для снижения затрат и ускорения разработки необходимо использовать эффективные инструменты моделирования. В статье представлен метод точного и детального термического анализа двигателя, коробки передач и системы переработки отработавших газов, а так же управления климатической системой автомобиля на стационарных и переходных режимах движения.

Необходимо использовать разные инструменты моделирования с различными возможностями. При таком подходе возможно обеспечить полное термическое управление системами автомобиля, переходя от 0-мерных (0D) к 1-мерным (1D) и 3-мерным (3D) моделям. Однако, при использовании разных инструментов моделирования необходимо обеспечить связь между программными пакетами. Эта связь осуществляется посредством соответствующих интерфейсов, описание которых приводится в данной статье.

## ВВЕДЕНИЕ

В данной статье представлен метод моделирования в комбинации с измерениями на испытательном стенде, предназначенный для детального анализа тепловых потоков двигателя, коробки передач, а так же управления климатической системой автомобиля на стационарных и переходных режимах движения. Сокращение периода разработки автомобиля и растущее разнообразие современных автомобилей способствуют применению численного моделирования для обеспечения настоящих и будущих требований к системам термического управления. Комплексные модели необходимы для представления конструкции автомобиля, включая трансмиссию со всеми подсистемами, системы вентиляции, отопления и кондиционирования пассажирского салона.

Основным требованием к термическому управлению является охлаждение всех деталей двигателя при любых условиях движения. Температура деталей и самого двигателя не должна превышать пороговые значения при экстремальных условиях движения (переходных или стационарных). Кроме того, система должна контролировать температуру отработавших газов (ОГ) для обеспечения надежности работы системы переработки ОГ.

Достаточное выделение тепла для обогрева пассажирского салона и достаточная мощность охлаждения для понижения температуры в салоне должны обеспечиваться системой термического управления в экстремальных условиях зимы или лета соответственно.

## ПРИМЕНЕНИЕ ИНСТРУМЕНТОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Для моделирования используются различные программы с различными возможностями. Процесс моделирования начинается с 0D имитации модели трансмиссии, далее 1D модели системы охлаждения и 3D модели для расчета потоков под капотом автомобиля.

Для этих целей используются следующие пакеты программного обеспечения:

- Моделирование двигателя BOOST (AVL) 1D
- Система охлаждения KULI (ECS) 1D
- Поток под капотом SWIFT (AVL) 3D
- Привод трансмиссии CRUISE(AVL) 0D

## ТЕРМИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛО ВЫДЕЛЕНИЯ ДВИГАТЕЛЯ

Моделирование двигателя, которое включает расчет впускного и выпускного каналов, проводится с помощью программного обеспечения BOOST (AVL). BOOST позволяет моделировать 2-х и 4-х-тактные двигатели, дизельные и бензиновые двигатели.

Главный источник тепла в автомобиле – двигатель, и его рабочий процесс можно рассчитать с помощью пакета BOOST. Процессы горения и тепловыделения рассчитываются для бензиновых двигателей с использованием функции VIBE или двух зонной модели VIBE. Для дизельных двигателей можно использовать подход Woschni/Antisits [1]. С учетом этих предположений горение и тепловыделение двигателя рассчитываются как функция угла поворота коленчатого вала. Тепловыделение является одним из основных факторов, влияющих на температуру стенок камеры сгорания и теплоотдачу в детали двигателя.

Тепловой поток при конвективном теплообмене определяется следующим образом:

$$Q_{wi} = A_i \cdot \alpha_w \cdot (T_c - T_{wi})$$

$A_i$  - площадь (головки цилиндра, поршня)

$\alpha_w$  - коэффициент теплоотдачи

$T_c$  - температура газа в цилиндре

$T_{wi}$  - температура стенки (цилиндра, поршня )

Если коэффициент теплоотдачи и температура охладителя известны, то тепловой поток в детали двигателя (цилиндр, головка цилиндра) можно рассчитать с помощью уравнения теплопроводности. Здесь коэффициент теплоотдачи подбирается на основе опыта предыдущих проектов. Другим источником тепла является трение. Тепло, образующееся при трении, передается в систему охлаждения через детали двигателя.

Описание процесса тепловыделения в результате трения достаточно сложно. Есть только несколько моделей для описания этого процесса. Однако применять такие модели не возможно в качестве общих моделей для расчета трения в двигателе.

Часто используемые модели:

- Модель Паттона-Нитске-Хейвуда [7]
- Модель Резека-Хенина [8]
- Модель Тиеля-Кочановского [9]
- Начиная с FVV “среднее эффективное давление механических потерь в дизельных двигателях”

Наиболее пригодной моделью для двигателей малой размерности, которые устанавливаются на легковые автомобили, является модель Паттона-Нитске-Хейвуда. Эта модель была разработана для малых бензиновых двигателей (1.0-3.5 л). При моделировании учитываются наиболее важные рабочие параметры двигателя (частота вращения, скорость поршня, нагрузка двигателя) и конструктивные параметры

(диаметр цилиндра, геометрия кулачка и количество кулачков, ход клапана и количество клапанов). Позднее Шайлер улучшил модель, введя учет переменной вязкости масла при холодном пуске.

Таким образом, на основании вышеприведенных моделей BOOST рассчитывает тепловой поток в детали двигателя (головка блока цилиндров, гильза, поршень).

Теплоемкость конструкции и характеристика прогрева двигателя при холодном пуске не учитываются в данной модели. Температуры компонентов конструкции задаются в BOOST как граничные условия. Смоделированная термическая сеть двигателя с учетом теплопроводности и теплоемкости предназначена для того, чтобы можно было спрогнозировать тепловой поток от камеры сгорания через детали двигателя к контурам охлаждения. Эта модель разрабатывается в экспертном центре «Виртуальный Автомобиль» в Граце.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВОГО ПРИВОДА

Программа CRUISE предназначена для моделирования силового привода и компонентов (коробка передач, двигатель, дифференциал и др.). В CRUISE можно задавать различные ездовые циклы для минимизации расхода топлива и оптимизации ездовых характеристик. Сигнал нагрузки, генерируемый CRUISE, зависит от ездового цикла, от дистанции, от автомобиля (трансмиссии, водителя, шин и др.). Сигнал нагрузки передается в BOOST, где происходит расчет двигателя.

Основываясь на данных при моделировании движения автомобиля, BOOST рассчитывает передачу тепла от двигателя в контуры охлаждения. Программа позволяет моделировать различные виды коробок передач, испытательные циклы, движение на подъемах, а так же стационарные режимы движения с постоянной скоростью. Значения тепловых потоков от контуров охлаждения передаются при помощи интерфейса в KULI. Тепловой поток, рассчитанный в программе BOOST,

передается с помощью интерфейса BOOST-CRUISE в интерфейс CRUISE-KULI, который передает эти величины в контур охлаждения KULI. Таким образом, при этом методе моделирования CRUISE является главным связывающим интерфейсом.

Но данные необходимо передавать обратно в CRUISE из KULI. Моменты нагрузки от потребителей, например водяного насоса, вентилятора (в случае ременного привода) и компрессора климатической системы, являются входными величинами при моделировании движения автомобиля, т.к. эти потребители отбирают часть мощности двигателя. В зависимости от введенных значений для KULI и BOOST, CRUISE рассчитывает нагрузку на двигатель и частоту вращения, которые затем используются для расчета цикла двигателя. Нагрузка на двигатель зависит от данного ездового цикла, дистанции, а так же от окружающих условий. Кроме того, могут быть использованы различные критерии выбора момента переключения передач и модели водителя.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНТУРА СИСТЕМЫ ОХЛАЖДЕНИЯ И КОНТУРА КЛИМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Моделирование системы охлаждения выполняется программой для 1-мерного моделирования KULI. С помощью этой программы могут быть рассчитаны температуры в контурах охлаждения (воды, масла), а так же теплопередача со стороны воздуха. Важными исходными параметрами являются тепловые потоки во внутренние контуры (тепловой поток в водяной контур и тепловой поток в масляный контур), частота вращения двигателя, нагрузка, профиль скорости воздушного потока через теплообменник.

Значения количества теплоты, полученные водяным и масляным контурами, передаются в KULI. В KULI проводится детальное моделирование сети потоков (насос, теплообменник, трубы и трубки). Расход жидкости и теплопередача в теплообменниках рассчитываются на основании измеренных характеристик компонентов. В KULI могут быть

смоделированы произвольные сети потоков для построения системы охлаждения двигателя. Тем не менее, с помощью 1-мерного инструмента невозможно описать реальную трехмерную картину потока под капотом автомобиля. Для того, чтобы избежать больших затрат времени при 3D CFD моделировании на ранних этапах разработки применяется 1D модели.

Кроме контуров воды и масла с помощью KULI можно смоделировать и рассчитать характеристики впускного воздуха и климатической системы. В зависимости от полученных безразмерных параметров в сети потоков рассчитываются температуры воздуха и жидкостей.

Без 3D CFD расчета допускается гомогенное распределение скоростей воздуха через теплообменник. Это всего лишь допущение, так как распределение скоростей потока в теплообменнике реального автомобиля неоднородно. При низких скоростях движения, при остановке автомобиля и при критических режимах движения может образоваться обратный поток воздуха через теплообменник. Такие сложные течения могут быть проиллюстрированы только при помощи 3D расчетов. Неоднородное распределение скоростей потока через теплообменник, рассчитанное с помощью CFD, может также использоваться при расчете в KULI. Существуют две возможности использования результатов 3D расчетов в KULI. Первая возможность заключается в использовании матрицы сопротивлений. При этом данные приходится изменять вручную, останавливая расчет. Вторая возможность состоит в непосредственном подключении CFD (3D) пакета через интерфейс. При этом происходит непрерывный обмен данными, и эффекты учитываются в обоих направлениях.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕЧЕНИЯ ГАЗА В ПОДКАПОТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ

Теплообмен с воздушным потоком учитывается при моделировании потоков в подкапотном пространстве и вокруг автомобиля. Основной акцент делается на моделирование потоков в подкапотном пространстве и негомогенное

распределение скоростей перед радиатором. Поле скоростей перед теплообменником оказывает существенное влияние на характеристику охлаждения внутренних контуров. Моделирование течения газа производится с помощью программного обеспечения для решения задач расчетной газовой динамики SWIFT (AVL). Расчетное ядро этой программы основывается на решении системы уравнений Навье-Стокса с помощью метода контрольных объемов (МКО). Рассчитанное распределение локальных скоростей в подкапотном пространстве помогает спрогнозировать температуру (излучение тепла от впускного коллектора, локальные пятна тепла).

Для численного моделирования теплообменников в SWIFT должны быть активизированы специальные модули. Теплообменник в 3-х мерной постановке моделируется как пористая среда, за теплообменником рассчитываются потери давления. Другие направления течения, нормальные основному, перекрываются. Потери давления на толщине теплообменника рассчитываются в SWIFT так:

$$\frac{\Delta p}{\Delta l} = \xi \cdot \frac{\rho}{2} \cdot u^2 + \alpha \cdot \mu \cdot u$$

$\xi, \alpha$  - коэффициенты потери давления (предоставляются изготовителем)

$u$  - скорость потока перед теплообменником

$\rho$  - плотность среды

$\mu$  - кинематическая вязкость

Величины линейного и квадратичного коэффициентов потерь давления могут быть предоставлены производителем или получены из эксперимента. При моделировании SWIFT предполагает, что температуры внутри теплообменника постоянны. Среда внутри теплообменника (вода, масло, впускной воздух) не рассчитывается в SWIFT, внутренний контур охлаждения моделируется с помощью KULI. Результаты расчетов KULI используются в качестве исходных данных для SWIFT.

Вентилятор, установленный за радиатором, моделируется в SWIFT MFR (Multiple Frame of Reference). Модуль MFR не описывает реальное вращение (нет вращающихся сеток). Моделируются только силы, вызванные вращением вентилятора. Этот метод предусматривает расчет стационарного режима работы вентилятора. Преимуществом метода является значительное сокращение расчетного времени при моделировании сложной геометрии подкапотного пространства автомобиля.

## ИНТЕРФЕЙСЫ

Коммуникация внутри многосторонней модели между отдельными программами реализуется посредством интерфейсов, являющихся частями каждой из программ. Эти интерфейсы должны удовлетворять высоким требованиям процесса обмена данными. С помощью интерфейсов возможно организовать связь между различными отдельными программами на различных платформах. Интеграция отдельных программ во всесторонний метод моделирования является весьма существенным фактором, так как глобальная среда моделирования включает интеграцию и совместное выполнение алгоритмов.

В представленном методе используются интерфейсы, включенные в инструменты моделирования. Эти коммуникационные «мосты» основываются на .dll и COM для ОС Windows. Для Unix и Linux эти интерфейсы содержат в своей основе спецификацию CORBA. Применение различных интерфейсов между отдельными программами вызвано многообразием производителей программного обеспечения. Тем не менее, в экспериментальном центре «Виртуальный Автомобиль» разрабатываются стандартизованные интерфейсы, соединяющие различные программы, написанные на различных языках и для разных платформ.

На рис.1 приводятся интерфейсы, используемые в настоящее время. Интерфейс .dll для соединения BOOST и CRUISE. Только ограниченное и заранее заданное количество физических параметров может быть передано

таким образом. Пользователю не нужно думать о передаче данных через такое фиксированное соединение программ. Недостатком такого метода передачи данных является невозможность адаптации интерфейса.

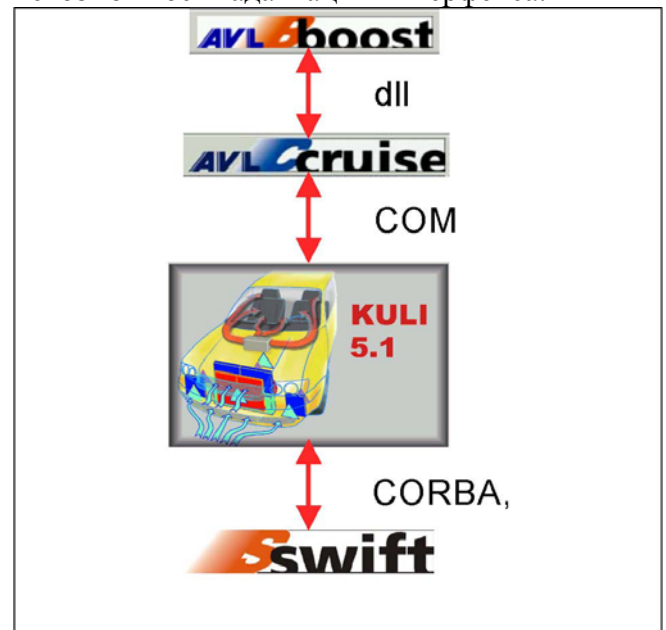


Рис.1 Интерфейсы, используемые для моделирования движения.

Интерфейс между CRUISE и KULI организован с помощью COM интерфейса. При использовании COM интерфейса все данные, передаваемые от одного инструмента моделирования к другому, должны быть заданы пользователем. Этот метод вносит высокий риск ошибок. Преимуществом данного метода является высокая гибкость передачи данных и практически ни чем не ограниченное число передаваемых данных.

Интерфейс между KULI и SWIFT основан на спецификации CORBA. Эта спецификация позволяет реализовать связь между моделями и программами независимо от платформ, операционной системы и языка программирования. Пользователь управляет процессом обмена данными с помощью пользовательской подпрограммы, входящей в состав SWIFT. Исходными данными для SWIFT является тепловой поток от внутренних контуров к воздуху, рассчитываемый с помощью KULI. Величины тепловыделения записываются непосредственно в составляющую энтальпии источника уравнения Навье-Стокса. В зависимости от количества теплоты,

переданного от охладителя, распределение скоростей воздуха перед охладителем передается в KULI. Обычно двумерная сетка KULI не соответствует дискретизации 3-х мерной сетки SWIFT, поэтому пользовательская процедура содержит алгоритм интерполяции, который распределяет физические величины по соответствующим участкам каждой расчетной области (рис.2). Алгоритм интерполяции не зависит от расположения, типа сетки (шестигранник, тетраэдр, многогранник) и угла поворота теплообменника в пространстве.

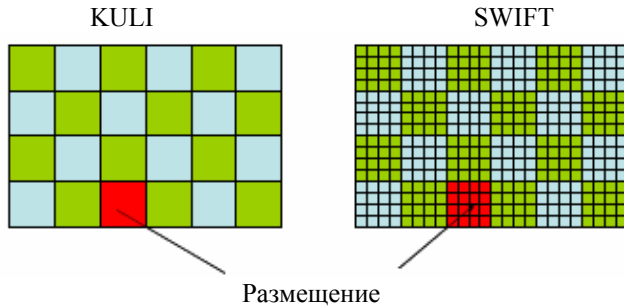


Рис.2 Распределение сетки в областях KULI-SWIFT.

На рис.3 приведены все необходимые входные и выходные величины различных программ и моделей. В настоящее время для обеспечения надежного обмена данными между моделями используются различные интерфейсы.

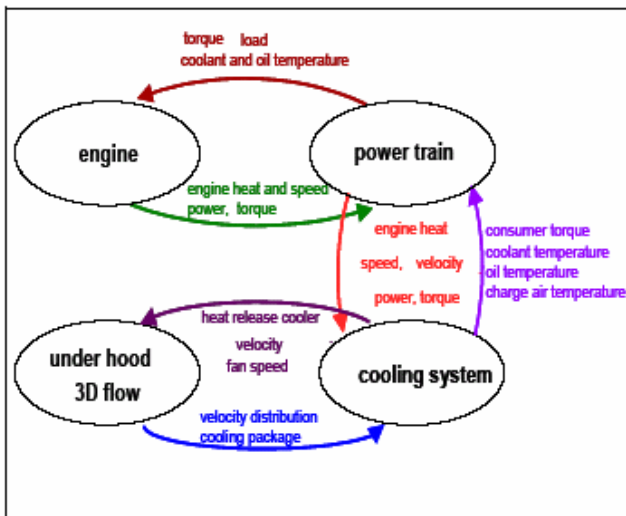


Рис.3 Обмен вводимых и выводимых параметров при моделировании.

## СТАЦИОНАРНЫЙ РЕЖИМ ДВИЖЕНИЯ – СОВМЕСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ KULI И SWIFT

Термическая характеристика автомобиля определяется стационарным режимом движения при постоянной скорости. На первом этапе используется упрощенная геометрия, иллюстрирующая потоки в подкапотном пространстве автомобиля с соответствующей системой охлаждения. Методы, используемые для этой упрощенной модели, должны так же использоваться для сложной модели всего автомобиля. При объединенном 1-но и 3-х мерном подходе рассматриваются только стационарные режимы движения и внутренние контуры охлаждения (вода, масло, впускной воздух, охладитель из кондиционера). В настоящее время нет необходимости расчета переходных процессов с использованием 3D CFD из-за возрастающего расчетного времени.

Внутренние контуры, вентилятор и теплообменник моделируются в KULI. Величины сопротивлений на входе и выходе системы охлаждения выбираются на основании ранее проведенных проектов. Вентилятор моделируется в SWIFT с помощью MFR, так как при моделировании реального автомобиля MFR будет использоваться для расчета вентилятора в CFD. Модель вентилятора создается для стационарного рабочего режима при 2000 1/мин. Только поток воздуха перед теплообменником рассчитывается для разных скоростных режимов. В CFD теплообменник описывается с помощью модуля пористых сред для учета потерь давления за охладителем.

На рис.4 приведена упрощенная модель KULI и упрощенная геометрическая сетка с вентилятором, охладитель размещен перед вентилятором. Отверстия для впуска воздуха упрощенно представлены прямоугольными сечениями.



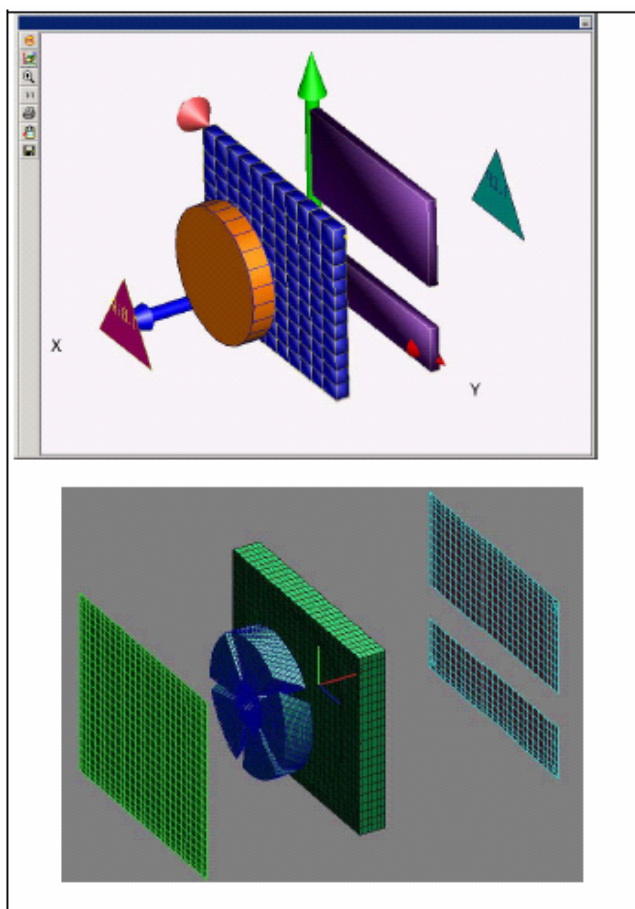


Рис.4 Модель вентилятора в KULI и SWIFT.

В начале процесса моделирования выполняется 3-х мерный CFD расчет. На каждой итерации газодинамического расчета SWIFT и KULI обмениваются данными. Поле скоростей через пакет охлаждения передается в KULI, а выделенное теплообменником тепло передается в SWIFT. В настоящий момент моделируются только стационарные режимы. Источники тепла, которые рассчитаны в KULI, добавляются непосредственно в составляющую для источника в пористой среде при CFD расчете. Двигатель в расчете KULI моделируется с учетом предварительно рассчитанных характеристик тепловыделения в зависимости от частоты вращения и нагрузки. С целью снижения расчетного времени предварительный расчет характеристик тепловыделения в охладитель выполняются в BOOST.

Расчет подкапотного пространства проводится для трех различных условий движения. Для проведения совместного 1D и 3D моделирования выбирают скорости потока 30 км/ч, 60км/ч и 90км/ч, для того чтобы проверить

последовательные переходы от 1D к 3D и от 3D к 1D. Результаты расчета течения в подкапотном пространстве с использованием упрощенной модели при скорости движения 60км/ч приведены на рис. 5. Заметно падение давления в теплообменнике. Граничные условия остаются постоянными для каждой скорости движения.

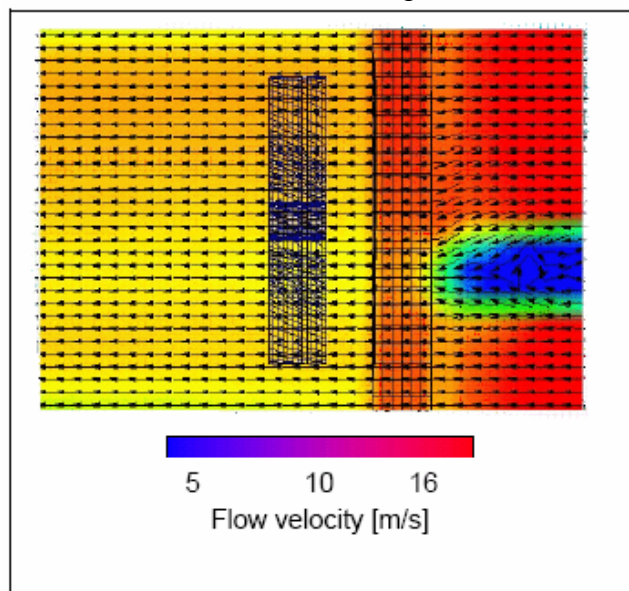


Рис.5 Результаты CFD расчета при скорости движения 60км/ч.

Пользовательская подпрограмма в SWIFT управляет непрерывным процессом обмена данными с программным обеспечением KULI для 1-но мерного моделирования.

На рис.6 приведено распределение скоростей, считываемое KULI. Хорошо заметно влияние бампера и вентилятора. На рис.7 показаны результаты 3-х мерного CFD расчета.

При совместном моделировании три различные температурные характеристики для 3-х различных режимов движения передаются в KULI. На рис.8 приведены температуры на входе и выходе емкости системы охлаждения. Можно видеть предполагаемую температурную характеристику. При более низких скоростях движения температура выше, а при более высоких скоростях движения - ниже, если принимать во внимание постоянный отвод тепла в системе охлаждения. КПД теплообменника в первом приближении можно рассматривать стационарным. Например, на рис.9 приведено распределение температур охладителя и воздуха при скорости движения 60км/ч.

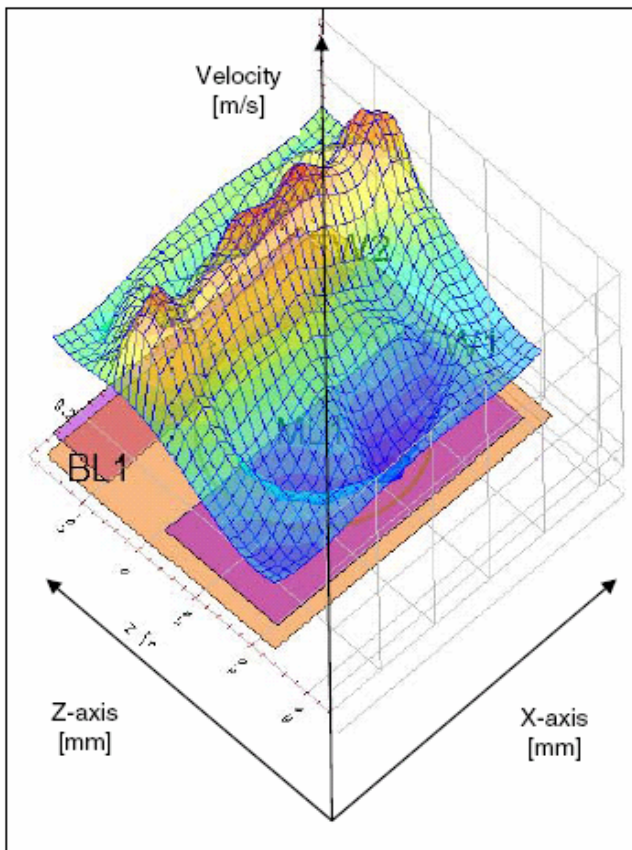


Рис.6 Распределение скоростей перед охладителем, рассчитанное в KULI.

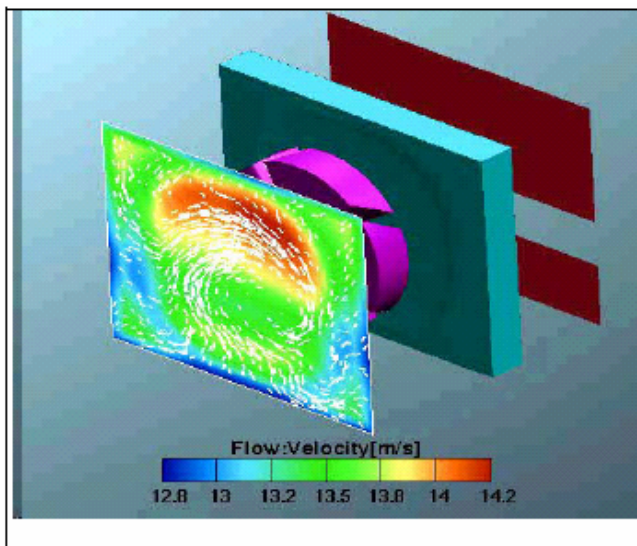


Рис.7 Результаты 3D CFD расчета.

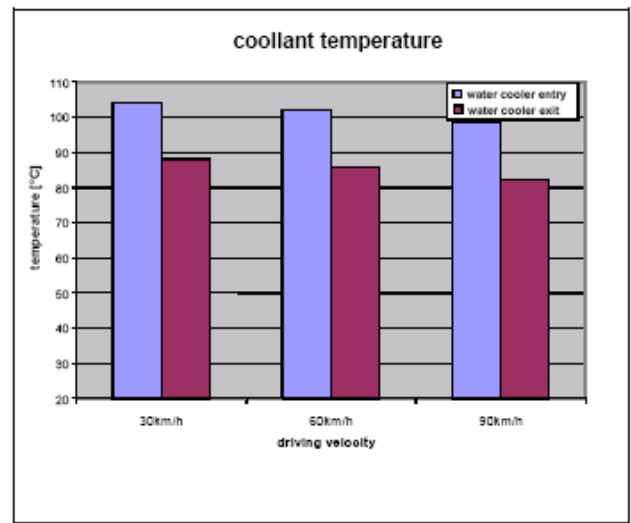


Рис.8 Распределение температур на входе и выходе ёмкости системы охлаждения.

### МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ – СОВМЕСТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ BOOST, CRUISE И KULI

Система термического управления обычного автомобиля может быть смоделирована с помощью объединения отдельных программных продуктов CRUISE, BOOST и KULI в комплексную модель автомобиля. Как упоминалось ранее, моделирование процессов происходящих под капотом автомобиля может производиться при помощи 3D CFD. Для простоты при моделировании переходных процессов 3-х мерностью потоков пренебрегают. В приведенной далее модели переходного процесса распределение скорости перед радиатором предполагается гомогенным. Для того чтобы получить негетогенное распределение скорости необходимо при расчетах учитывать различные поля потоков на стационарных режимах. Моделируя переходные процессы, необходимо проводить интерполяцию между установившимися полями течений для того, чтобы гарантировать обоснованные результаты и малые расчетные времена.



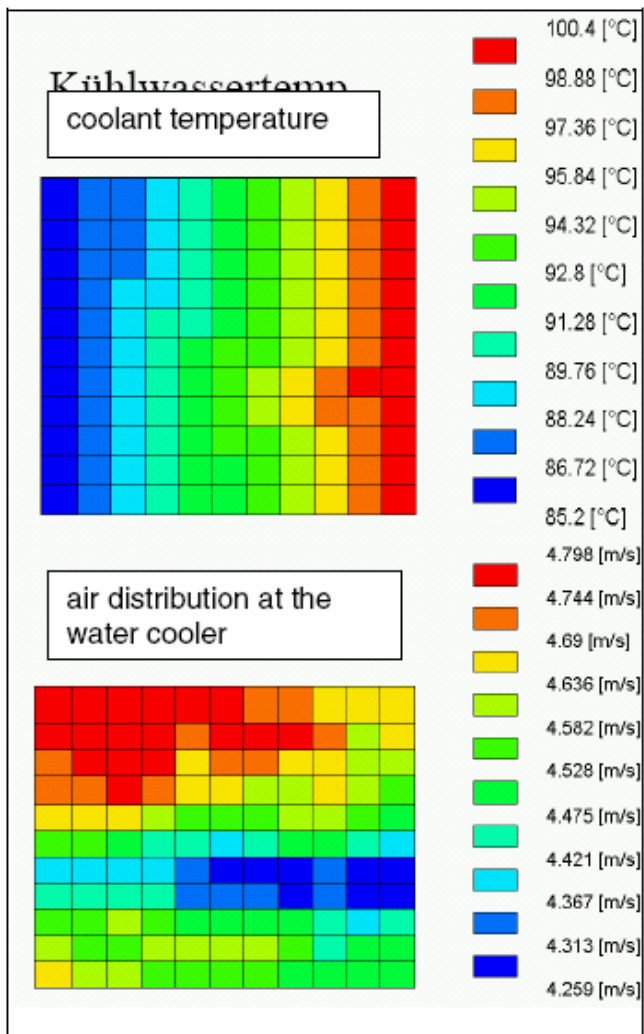


Рис.9 Распределение температур охладителя и воздуха.

В дальнейшем для расчета переходных процессов системы термического управления используется ездовой цикл FTP75. Для того чтобы расчетное время было приемлемым для реального процесса разработки (необходимо приблизительно 7 часов для 6 мин реального движения), рассчитывают только 360 секунд цикла FTP75.

#### Упрощения и допущения

- Пуск прогретого двигателя
- Все тепло передается в охладитель
- Тепловые потоки рассчитываются постоянной осредненной температурой двигателя
- Стационарные условия окружающей среды:  $25\text{ C}^0$ , относительная влажность 65%
- Ограниченная инертность деталей двигателя (точечная масса в KULI)

Данные для моделирования получены для переднеприводного автомобиля среднего класса. Характеристика полной нагрузки представлена на рис. 10.

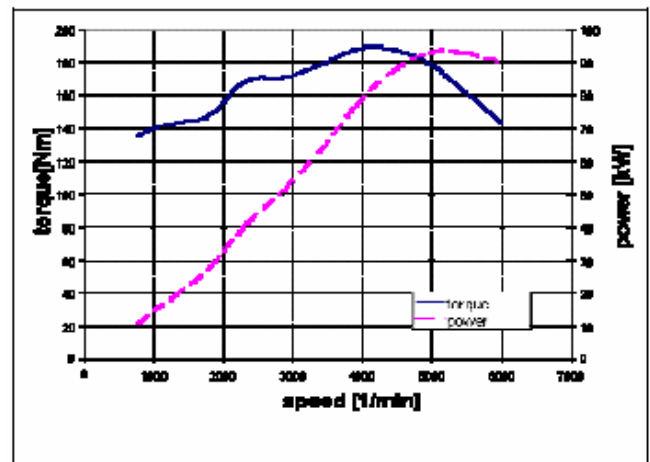


Рис.10 Характеристика полной нагрузки автомобиля.

Основные технические характеристики автомобиля:

- максимальная мощность  $94\text{kw}@5200\text{ min}^{-1}$
- максимальный крутящий момент  $188\text{Nm}@4100\text{ min}^{-1}$
- диаметр цилиндра / ход поршня  $86\text{mm}/86\text{mm}$
- количество цилиндров 4
- количество клапанов / цилиндр 2
- пятиступенчатая коробка передач
- масса автомобиля  $1450\text{ kg}$
- колесная база  $2650\text{ mm}$

Ездовой цикл FTP75 (федеральная процедура испытаний, рис. 11) это Американский стандартный ездовой цикл контроля токсичности отработавших газов легковых автомобилей. Цикл разделяется на три фазы: холодный пуск (505 секунд), переходный процесс прогрева (870 секунд) и пуск прогретого двигателя. Между второй и третьей фазами двигатель останавливают на 10 минут. На рис. 12 представлена модель двигателя в BOOST. Она включает в себя впускные и

выпускные каналы, а также систему выпуска с каталитическим конвертером.

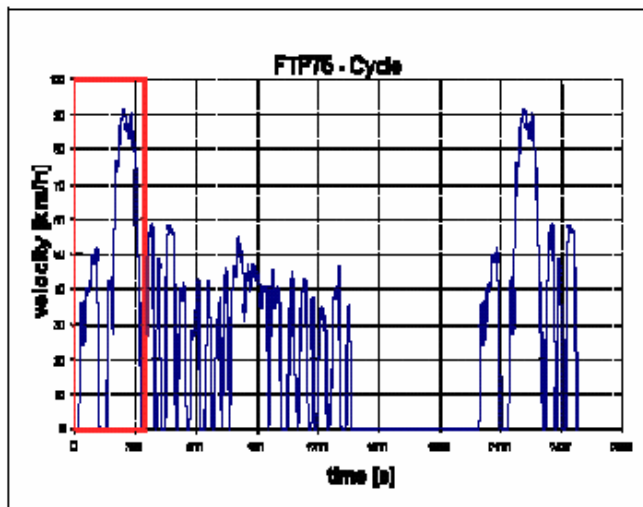


Рис.11 Ездовой цикл FTP75.

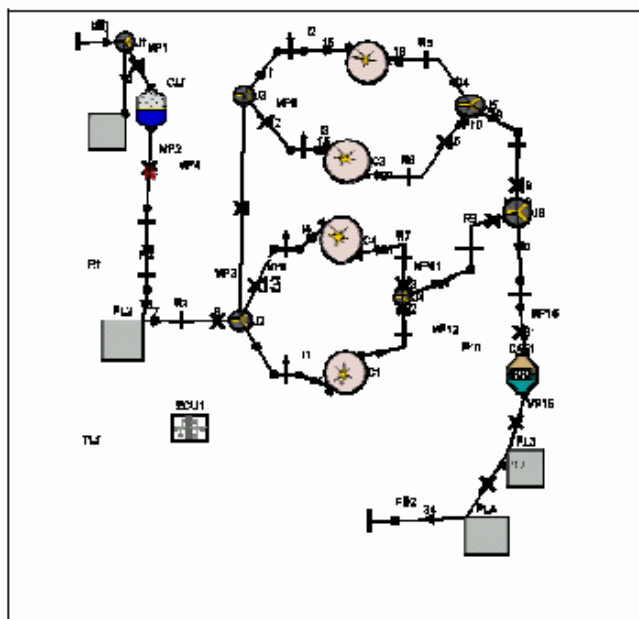


Рис.12 Модель двигателя в BOOST.

Для моделирования рабочего процесса двигателя необходимо задать геометрию двигателя, впускного и выпускного каналов. Также необходимо вводить в программу кривые подъема клапана для того, чтобы обеспечивать результаты с необходимой точностью. Модель двигателя контролируется электронной системой управления двигателем (ЭСУД). ЭСУД получает сигнал нагрузки и частоту вращения из CRUISE. Связь между CRUISE и KULI обеспечивается с помощью интерфейса COM.

На рис. 13 представлена модель силового привода в CRUISE. Нагрузка двигателя и частота вращения рассчитывается в зависимости от предварительно заданной испытательным циклом скорости, характеристик автомобиля, и окружающих условий.

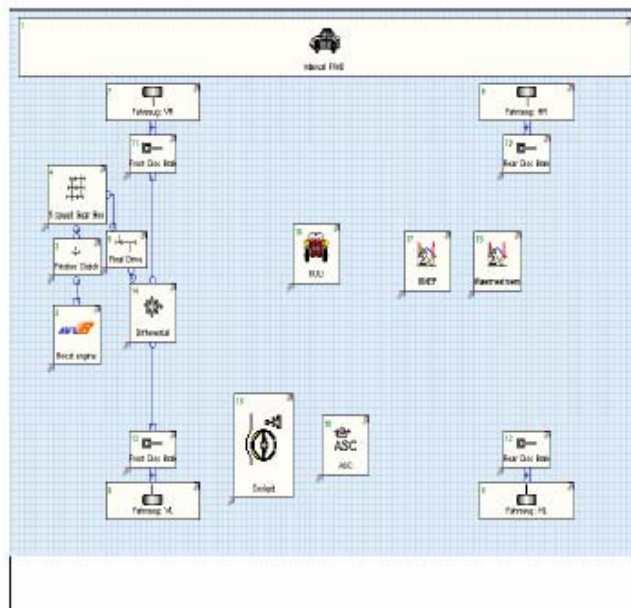


Рис.13 Модель силового привода в CRUISE.

Обмен данными нагрузки двигателя и частотой вращения между CRUISE и KULI производится за счет COM интерфейса. Выбор CRUISE для управления обменом данными обоснован тем, что в BOOST и KULI используются различные временные шаги. Алгоритм управления временным шагом и метод синхронизации временных шагов подробнее приводятся ниже, т. к. эти механизмы используются в каждой индивидуальной программе. Можно изменять только временные шаги между различными программами.

Модель KULI представлена на рис. 14. Это упрощенная модель. Температура рассчитывается в KULI на каждом временном шаге. Этот расчет происходит постоянно во время совместного моделирования с CRUISE. Основные изменения в температуре внутренних контуров вызваны переносом тепла в охлаждающую жидкость.

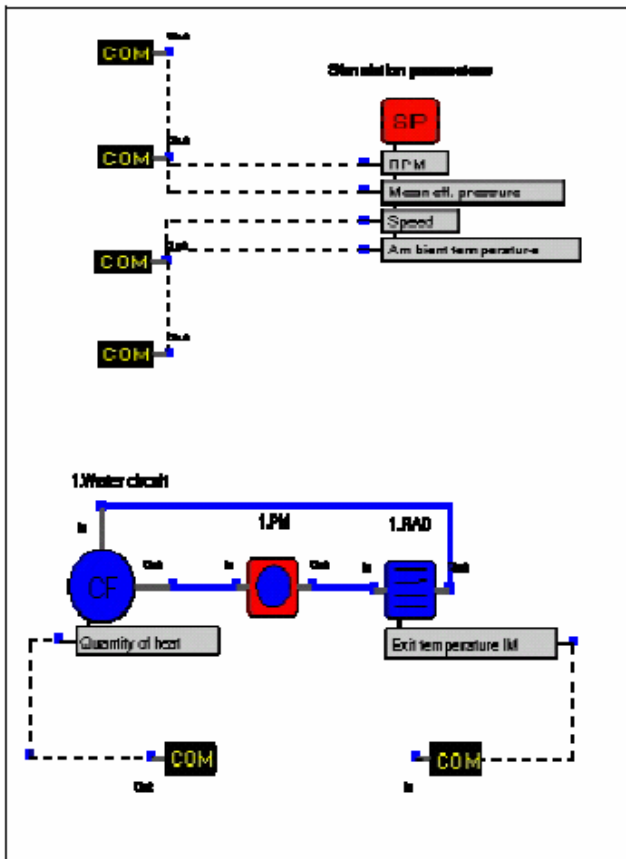


Рис.14 Модель контура охлаждения в KULI.

Точечные массы 20 кг задаются в KULI для моделирования поведения температуры охлаждающей жидкости с целью сглаживания пиков температуры.

На рис. 15 показаны скорость движения и температура охладителя за 360 секунд. Четко виден быстрый прогрев охладителя на фазах ускорения. На рис. 16 представлен отвод тепла от двигателя в охлаждающую жидкость.

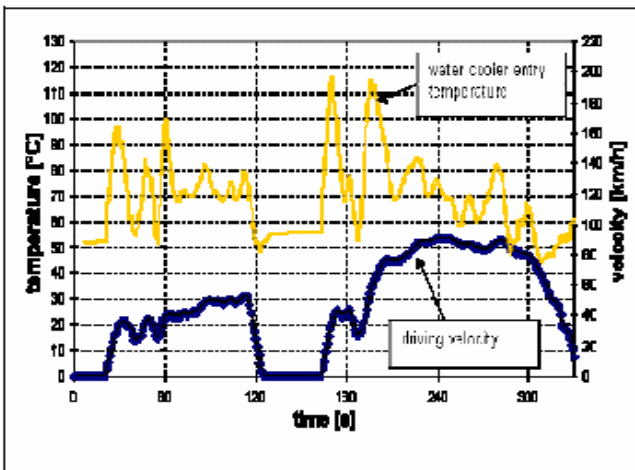


Рис.15 Скорость движения и температура охладителя за цикл.

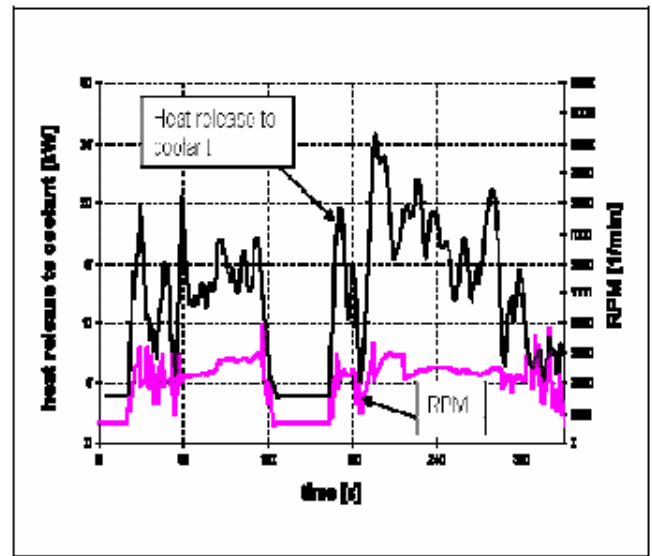


Рис.16. Отвод тепла от двигателя в охлаждающую жидкость.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При помощи приведенных интерфейсов и с использованием всесторонней модели проводится моделирование переходного ездового цикла.

Интерфейс COM, используемый для передачи данных между KULI и CRUISE, очень гибок. Интерфейс .dll между BOOST и CRUISE жесток и статичен. Кроме того, интерфейс .dll не может быть произвольно расширен. Интерфейс KULI и SWIFT также очень гибок и основан на спецификации CORBA, предоставляющей возможность обмена данными между различными платформами и операционными системами. В будущем планируется объединить все эти интерфейсы в независимую коммуникационную платформу, которая предназначена для объединения программных пакетов, написанных на различных языках программирования, для различных платформ с различными операционными системами. Эта новая стратегия объединения позволит разрабатывать всесторонние модели для полного моделирования автомобиля. Реалистичная характеристика системы охлаждения может быть получена с помощью упрощенной модели.

В дальнейшем планируется провести сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными, полученными на испытательном стенде. Для моделирования тепловых потоков в

двигателе основной акцент сделан на разработку термической сети.

В настоящее время эта разработка является ключевой задачей для центра «виртуального автомобиля».

#### ЛИТЕРАТУРА

1. AVL; BOOST Theory; Version 3.1
2. MAGNA ECS; KULI Manual; Version 5.1
3. AVL; CRUISE Theory; Version 2.21
4. AVL; SWIFT; Version 3.22
5. Patton, Nitschke, Heywood; Development of a Friction Model for Spark-Ignition Engines; SAE-890836
6. Arsie, Pianese, Rizzo, Flora; Serra; Development and Validation of a Model for Mechanical Efficiency in a Spark Ignition Engine; SAE-99P-284
7. Shayler ; A Model for the Investigation of Temperature, Heat Flow and Friction Characteristics During Engine Warm-Up; SAE-931153
8. Arsie, Pianese, Rizzo, Flora; Serra; Development and Validation of a Model for Mechanical Efficiency in a Spark Ignition Engine; SAE-99P-284
9. Thiele; MTZ 1982
10. [Regner G., Loibner E.; Krammer J.; Analyses of Transient Drive Cycles using CRUISE-BOOST Co-Simulation Techniques; SAE 2002-01-0627
11. Regner G.; Optimised Cooling Systems; FVV Projekt, 2000
12. Baehr H.D., Stephan K.; Wärme und Stoffübertragung; Springer Verlag 1994, ISBN 3-540-55086-0
13. Eichelseder W., Raab G., Hager J.; Einsatz von Simulationswerkzeugen mit integrierter Kühlmittelströmungsberechnung zur Auslegung von Kühlsystemen; Motorsymposium Wien 1997
14. LSTM Erlangen; NUMET 2004; April 2004
15. Gaberscik G.; Kolben und Verbrennungskraftmaschinen; Skriptum FH - Fahrzeugtechnik Graz 2000
16. Bosch; Kraftfahrtechnisches Taschenbuch; Bosch Verlag 1995, ISBN 3-540-62219-5
17. Grohe H.; Otto- und Dieselmotoren; Vogel Verlag 1992, ISBN 3-8023-1446-8
18. Norbert Dreußen; Wärmemanagement des Kraftfahrzeugs III; Expert Verlag 2002
19. Betz J.; Optimierung von NT-Kühlsystemen durch numerische Simulation – Beispiel der Wasser-Ladeluftkühler des A8 V8 TDI; Wärmemanagementtagung 2000 Haus der Technik Essen
20. Reitbauer R.; Anforderungen an Kühlung beim SUV und deren Behandlung in der Entwicklung; Grazer Allradkongress 200
21. Samhaber C, Wimmer A.; Loibner E.; Mahmoud K.; Analysis of the Vehicle Performance Using Transient Co-Simulation Techniques; 2002-5354
22. Pischinger; Thermodynamik Skriptum TU-Graz, 1989
23. Hager J., Gumpoldsberger T., Marzy R., Messdatenunterstützte Motormodelle zur Simulation der Wärmeströme in Kraftfahrzeugen; FH-Graz 2001
24. Getto C., Rizzo L., Renault Espace IV under floor HVAC – a radical new architecture; IMech 2003
25. Tripolt W.; Skriptum Fahrprüfstand und Fahrversuch; FH-Joanneum Graz 1999
26. Magna ECS; KULI Usermeeting Steyr Juni 2003
27. Johannes Reichelt; PKW-Klimatisierung Technik-Entwicklung-Trends; Verlag C.F. Müller, Karlsruhe 1992
28. Schuster M.; Einsatz der numerischen Simulation als effizientes Analysewerkzeug bei der experimentellen Untersuchung von Motorraumdurch- und ahrzeugunterbodenumströmung; VDI Tagung Würzburg 2002