

БАЗА ЗНАНИЙ ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДВС

Р.Д. Еникеев, зав. кафедрой ДВС;

Уфимский государственный авиационный технический университет

Рассматриваются проблемы разработки базы знаний ДВС для проектирования систем газообмена и двигателя в целом. Обоснованы принципы построения базы знаний и взаимодействие ее основных компонентов. Дана классификация тепловых двигателей в контексте определения границ предметной области базы знаний. Разработана структура банка данных ДВС и представлены требования к остальным компонентам — системе имитационного моделирования и информационно-измерительной системе.

Основные принципы построения базы знаний ДВС

Проектные решения для удовлетворения требованиям, предъявляемым к системам газообмена и к двигателю в целом, могут быть выработаны в результате поиска и анализа готовых решений, моделирования функционирования двигателя, экспериментальных исследований или какой-либо комбинации этих методов. Качество проектных решений определяется структурой и полнотой банка проектных решений, адекватностью применяемых математических моделей, экспериментальной базой, способностью рационально варьировать методы исследования и интерпретировать результаты. Единая система программных и аппаратных средств банка данных, моделирования и испытаний представляет собой, строго говоря, базу знаний (БЗ), т. к. позволяет на любом этапе проектирования получить информацию для перехода к следующему этапу и, в конечном счете, для перехода к завершению проектирования в САД-САМ системах. Основные принципы построения БЗ ДВС можно сформулировать следующим образом.

➤ БЗ представляет собой информационную систему, обеспечивающую: размещение, хранение и доступ к информации в пределах выбранных границ предметной области; выработку информации, в явном виде в базе не имеющейся; сквозное автоматизированное проектирование объектов предметной области.

➤ БЗ содержит три основных компонента: банк данных ДВС (БД ДВС); систему имитационного моделирования рабочего процесса ДВС и процессов в смежных системах (СИМ ДВС); автоматизированную информационно-измерительную

систему исследований и испытаний ДВС (АИИС ДВС).

➤ БЗ строится на основе принципа иерархичности, позволяющего сформулировать иерархию технических заданий (ТЗ) на двигатель, его системы и элементы.

➤ БЗ строится как открытая, развивающаяся система.

Исходя из заявленных выше принципов, в работе поставлены следующие задачи:

➤ определение границ предметной области БЗ;

➤ разработка целей и принципов организации взаимодействия компонентов БЗ;

➤ декомпозиция предметной области БЗ, включая модели предметной области;

➤ систематизация языка предметной области.

Классификация тепловых двигателей¹

Построение БЗ в любой предметной области требует однозначного определения ее границ. ДВС относится к тепловым двигателям (ТД), поэтому необходимо выделить ДВС среди многообразия ТД и определить, какие типы ДВС составят предметную область БЗ.

ТД — двигатель, в котором осуществляется преобразование теплоты в механическую работу. Механическая работа представляет собой произведение силы, действующей в направлении перемещения тела, на перемещение. В соответствии с этими определениями ТД могут быть классифицированы по следующим признакам: по способу получения теплоты; по способу подвода теплоты к телу, занимающему рабочий объем; по способу возникновения силы; по способу перемещения поверхности, к которой приложена сила.

По способу получения теплоты ТД могут быть классифицированы на двигатели, в которых теплота образуется в результате горения топлива и двигатели, в которых теплота образуется иным, отличным от горения топлива, образом.

По способу подвода теплоты к телу, занимающему рабочий объем, ТД могут быть классифицированы на двигатели с внешним подводом теплоты, в которых тепло подводится к телу, занимающему рабочий объем, через поверхность, ограничивающую этот объем, и двигатели с внутренним с подводом теплоты непосредственно в рабочем объеме.

По способу возникновения силы ТД могут быть классифицированы на двигатели объемного действия, в которых сила возникает в ограничен-

¹⁾ Классификация ТД дана в авторской редакции.

ном объеме, и двигатели динамического действия, в которых сила возникает в результате взаимодействия высокоскоростного потока с поверхностью.

По способу перемещения поверхности, к которой приложена сила, ТД могут быть классифицированы на двигатели поршневые — с возвратно-поступательным перемещением поверхности, роторные — с вращательным перемещением поверхности и реактивные — с поступательным перемещением поверхности.

Схематично классификация ТД представлена на рис. 1. Комбинация двигателей с образованием теплоты в результате горения с двигателями с внутренним подводом теплоты образует обширный класс ДВС. Комбинации двух типов ТД, различающихся по способу получения силы, с тремя типами ТД, различающихся по способу перемещения поверхности, образуют шесть основных типов двигателей этого класса. Комбинации каждого из шести основных типов двигателей с оставшимися, различающимися по способу перемещения поверхности или способу возникновения силы, образуют подкласс комбинированных ДВС. Так, к комбинированным следует относить двигатели, в которых осуществляется какая-либо комбинация принципов работы поршневого, роторного и реактивного двигателей, объединенных общим рабочим телом, при этом различные поверхности могут совершать различные простые виды движения (как в турбопоршневом двигателе) или одна поверхность может совершать сложный вид движения (как в РПД).

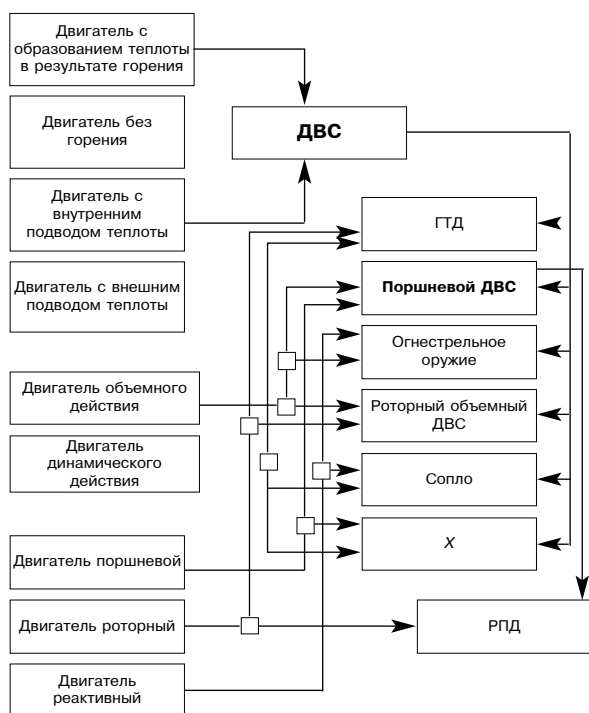


Рис. 1. Классификация тепловых двигателей

На этом классификация ДВС, базирующаяся на функциональном определении ТД, исчерпывается. Все многообразие видов ДВС возникает при дроблении двигателей основного класса или подкласса комбинированных двигателей в соответствии с иными классификационными признаками, такими, например, как наличие, вид, степень наддува и т. д.

Назначаем границы предметной области БЗ — поршневые и комбинированные поршневые ДВС.

Взаимодействие основных компонентов БЗ

Функции и границы применимости БД ДВС, СИМ ДВС и АИИС ДВС проектировщикам известны, и каждый из этих компонентов используется ими при проектировании. Разработка БЗ ДВС в виде единой системы этих компонентов имеет целью ускорение проектирования и организацию такого их взаимодействия, при котором возникает информация, недостижимая при использовании отдельных компонентов.

В единой системе программных и аппаратных средств БД, моделирования и испытаний параметры декомпозиции объекта, параметры его математической модели, экспериментально определяемые параметры, должны быть унифицированы так же, как и структура данных, циркулирующих в системе. В этом случае представление готовых решений (какого-либо двигателя, его систем и элементов) в БД автоматически означает сборку структурной схемы модели этого двигателя или какой-либо из его систем в СИМ и задание значений параметров, находящихся в портах модулей и связей СИМ. При этом эвристический анализ решений БД дополняется или заменяется строго формальным расчетом причин и последствий этих решений с использованием всех возможностей СИМ. Возникающие при этом данные пополняют БД. При неприменимости решений БД, решения, достигнутые во взаимодействии СИМ и АИИС, также пополняют БД. Кроме того, возникает возможность совершенствования СИМ на основе выявления причин несовпадения значений параметров БД и расчетных параметров.

Взаимодействие СИМ и АИИС основано на единстве формализованных и содержательных методов исследования. Полная формализация в области ДВС не достигнута и невозможна. Формальное описание оказывается возможным при известном упрощении объекта исследования. Лишь после этого, на основании системы запретов в рамках законов логики, возможно выведение одних понятий из других — базовых. Жесткие правила дедукции не позволяют в границах данных рассуждений получать качественно новые понятия. Качественно новое существует потенциально и

проявляет себя лишь при соприкосновении с областью эмпирического знания. По этой причине исследование объекта на базе исследования поведения его модели ограничено. Но и содержательный метод исследования (испытания) ограничен без формального. Ограничения связаны с невозможностью испытания объекта на стадии, когда он еще не существует и невозможностью или сложностью измерения целого ряда его параметров. Таким образом, повышение объективности исследования связано не только с развитием моделей процессов, протекающих в ДВС, и развитием экспериментальной базы, но и в интеграции существующих программных комплексов с эмпирическими методами исследования. При этом возникает возможность определять все необходимые параметры рабочего процесса, механические потери поэлементно и в комплексе, напряженное и деформированное состояние элементов и на этой базе прогнозировать показатели надежности, ускорять процесс доводки рабочего процесса и конструкции на основе анализа причин несоответствия расчетных и измеренных параметров и т. д.

Реализация этого принципа требует проведения программной и аппаратной адаптации СИМ в измерительную систему испытательного стенда, проведения программной и аппаратной адаптации БЗ в целом в программную и аппаратную среду CAD-CAM систем, определения номенклатуры расчетных, измеряемых и передаваемых в CAD-CAM системы параметров, автоматизации процесса измерения параметров двигателя. Структурно выполнение принципа должно быть обеспечено техническим обеспечением в соответствии с задачами каждого этапа проектирования. В общем виде это: тормозная установка, исследовательские установки, система автоматизированного измерения, аппаратные средства первичной обработки результатов измерений и переадресации их в файлы исходных данных СИМ и CAD-CAM систем, аппаратные средства переадресации результатов расчета в СИМ в файлы исходных данных CAD-CAM систем, аппаратные средства, обеспечивающие работу СИМ и CAD-CAM систем.

Банк данных ДВС

Показатели качества БД, его взаимодействие с другими компонентами БЗ определяются способом декомпозиции предметной области. Каждый уровень декомпозиции предметной области представляет собой сочетание характеристик, т. е. количественных свойств этого уровня, с перечнем компонентов, обеспечивающих выполнение этих характеристик. Такой способ декомпозиции позволяет создать универсальный шаблон проектирования поршневых и комбинированных поршневых ДВС. Процесс проектиро-

вания двигателя в соответствии с конкретным ТЗ (а это не что иное, как характеристика верхнего уровня, т. е. двигателя в целом) представляет собой декомпозицию этого ТЗ на нижестоящие уровни и выбор такой структуры каждого уровня из набора, предоставляемого шаблоном, которая обеспечит выполнение ТЗ на каждом уровне.

Каждому уровню декомпозиции ДВС соответствует определенный набор математических моделей и испытаний. В плане ограничения предметного содержания БЗ задачей разработчика является определение нижнего уровня декомпозиции двигателя и математических моделей, а также перечня типов испытаний, которые целесообразно реализовать на каждом этапе.

Учитывая, что БД определяет не только структуру проектирования, но и служит цели организации поиска, каждый уровень декомпозиции содержит, наряду с характеристиками и конструкцией, его классификацию. Классификация в рамках разработанной БД, строго говоря, не нужна, т. к. любая классификация есть не что иное, как набор характеристик и конструктивных признаков, представленных на разных уровнях декомпозиции. Однако введение классификаций на каждом уровне облегчает составление запросов и поиск в БД, позволяет формулировать запросы в соответствии со сложившимся традиционным делением поршневых ДВС, используя цельные «макросы», представляющие собой композицию признаков, часто весьма объемную.

Нижний уровень декомпозиции, т. е. элементная база поршневых и комбинированных поршневых ДВС, не содержит перечня компонентов, т. к. элементная база не дробится по определению. Проектирование на этом уровне заключается в выборе элементов в соответствии с заданными вышестоящим уровнем характеристиками. На этом уровне реализуется заявленный выше принцип открытости, т. е. стыковка с другими БД, например БД турбин, БД генераторов, БД зубчатых ремней и т. д. Если элементная база БД ДВС не позволит выбрать необходимый объект, его придется проектировать.

На рис. 2 представлен фрагмент декомпозиции поршневых ДВС. Рисунок не представляет законченный элемент декомпозиции, а лишь иллюстрирует заявленный подход.

Система имитационного моделирования

В настоящее время в мире существует лишь несколько CAE систем, осуществляющих моделирование газообмена и параметров двигателя в целом [1]. На кафедре ДВС Уфимского государственного авиационного технического университета разработана СИМ «Альбея» [2, 3] структура, принципы построения и возможности которой наиболее приемлемы для использования в БЗ ДВС.

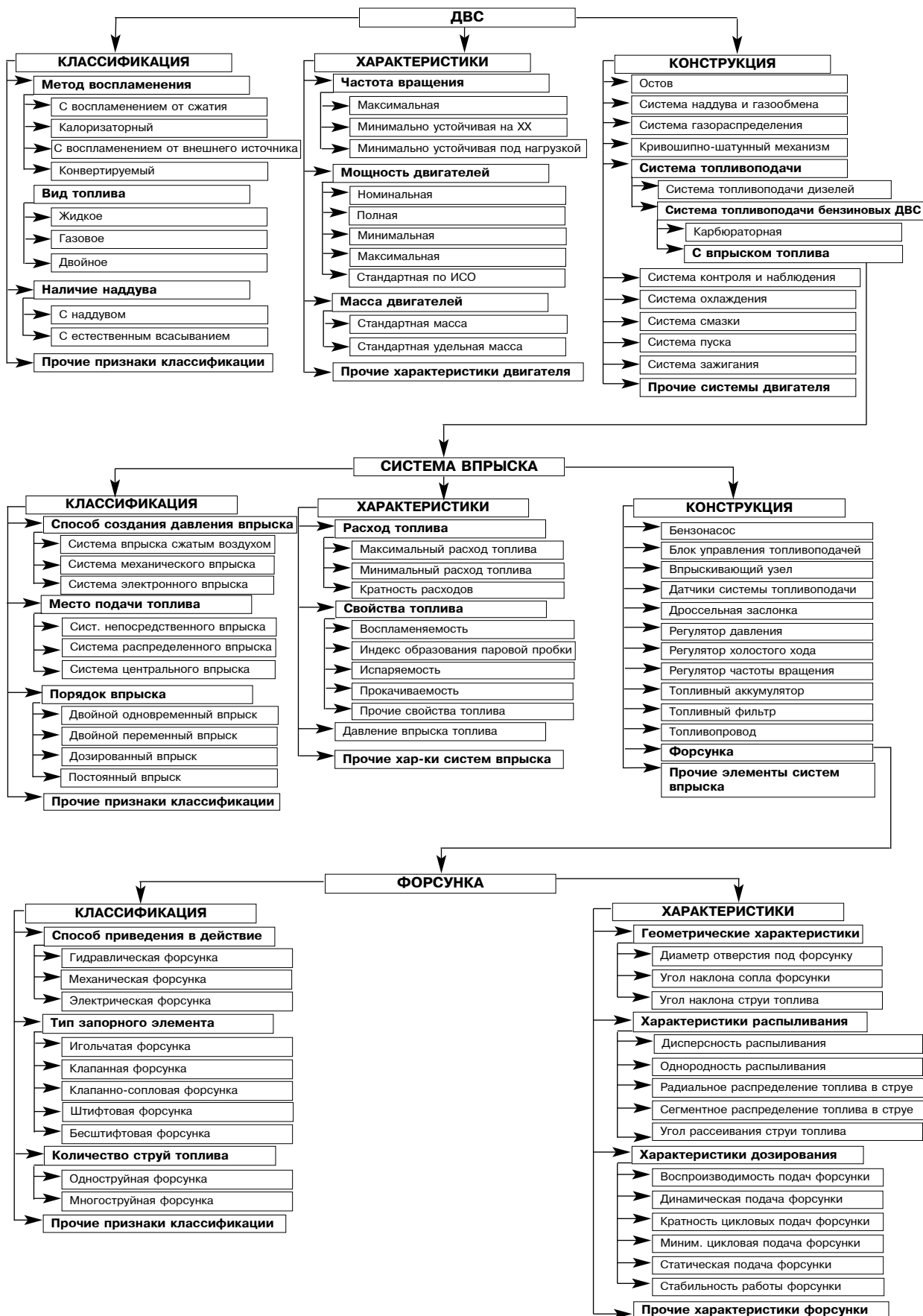


Рис. 2. Фрагмент декомпозиции поршневых ДВС

Система «Альбея» предназначена для автоматизированного имитационного моделирования процессов, протекающих в поршневых и комбинированных поршневых двигателях внутреннего сгорания. В состав системы входит ядро, предназначенное для манипулирования программными модулями и обеспечивающее интерфейс с пользователем. Ядро системы способно манипулировать модулями любой предметной области. Настройка системы на конкретную предметную область производится регистрацией в ее библиотеке базового типового набора элементарных моделей (шаблонов) различных объектов этой предметной области в виде программных процессов. Из этих элементов пользователь может строить более сложные модели уже с помощью интерактивных средств самой системы. Базовые модели системы учитывают волновой характер газодинамических процессов и теплообмен. Разработав программные модели отдельных узлов двигателя, пользователь может прямо на экране дисплея скомпоновать из них модель двигателя в целом или какой-либо из его подсистем. На рис. 3 в качестве примера представлена модель четырехцилиндрового двигателя.

Модель включает модули-элементы: «цилиндр», «поршень», «кривошипно-шатунный механизм», «труба», «ресивер», «атмосфера», «потребитель»; и модули-связи: «окно», «клапан», «механическая связь». Прикладные газодинамические модули базируются на уравнениях Эйлера для гладких течений. В частности, модуль «труба» рассчитывает неустановившееся течение газа по трубопроводу

переменного сечения с трением и теплообменом, модуль «ресивер» рассчитывает состояние газа в замкнутом объеме с учетом теплообмена, модуль «клапан» рассчитывает течение газа в местных сопротивлениях (скачок сечения, диафрагма, тарельчатый клапан и т. п.), модуль «окно» — истечение газа из отверстий, модуль «атмосфера» служит для хранения параметров окружающей среды. Модель процессов в рабочей камере, реализованная в модуле «цилиндр», рассчитывает внутрицилиндровые процессы ДВС, включая сгорание по модели Вибе и теплообмен при переменном объеме. Механические модули «кривошипно-шатунный механизм» и «поршень» рассчитывают кинематику и динамику двигателя с учетом сил трения в подшипниках и трущихся парах. Модуль «потребитель» моделирует нагрузку двигателя. Модуль «механическая связь» рассчитывает мощностной баланс между механическими модулями.

Предусмотрена возможность расширения моделирующей системы, т. е. дополнения к имеющемуся в ее распоряжении множеству элементарных прикладных моделей новых базовых элементов. Более чем двадцатилетний опыт эксплуатации системы «Альбея» подтвердил достоверность моделирования работы двигателя на любых режимах работы.

Система исследований и испытаний ДВС

В отличие от СИМ, программные и аппаратные средства экспериментальных исследований многообразны и доступны, что позволяет выстроить АИИС как компонент БЗ для решения задач лю-

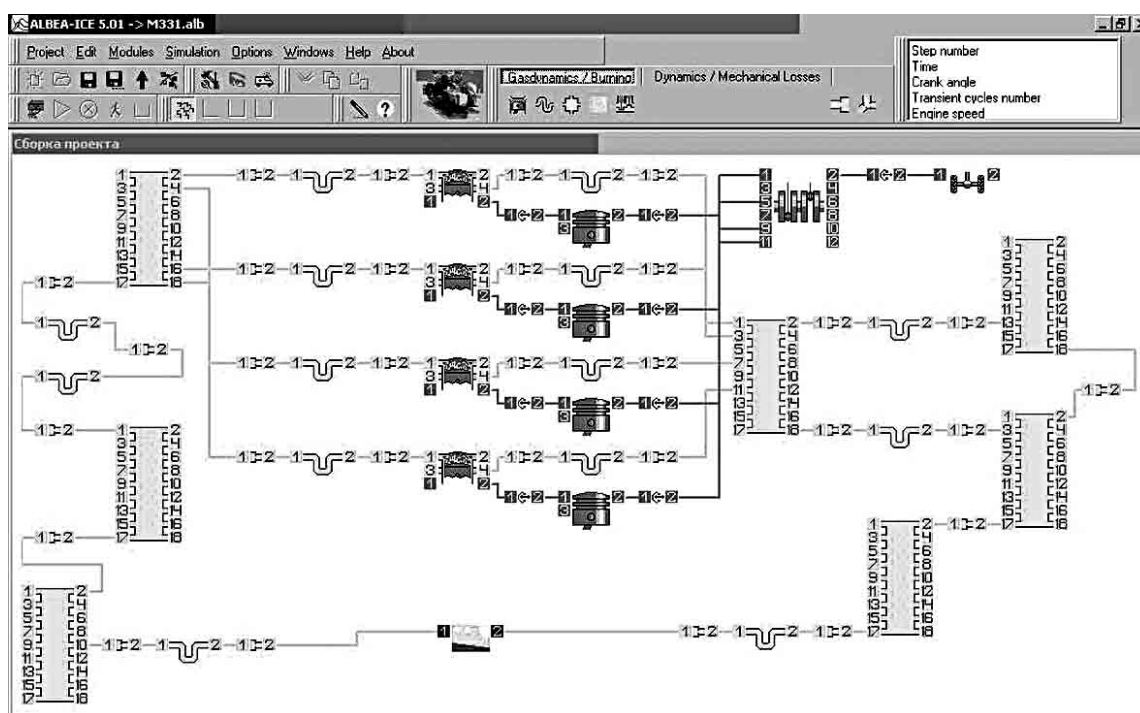


Рис. 3. Модель четырехцилиндрового двигателя в СИМ «Альбея»

бого этапа проектирования двигателя. Общие требования к структуре технического обеспечения даны при описании взаимодействия компонентов БЗ.

Язык предметной области

Каждый термин декомпозиции объекта, описания параметров его математической модели и экспериментально определяемых параметров должен быть однозначно определен. Терминология в области поршневых двигателей внутреннего сгорания систематизирована в работе [4], которая содержит более 5000 терминов классификации, устройства, работы и жизненного цикла ДВС.

Заключение

Таким образом, в работе сформулированы принципы построения БЗ ДВС, определена и структурирована предметная область. К настоящему времени создана и эксплуатируется СИМ ДВС, разработан язык предметной области. Все

это может служить основой разработки БЗ ДВС, ее алгоритмов и программных средств.

Литература

1. *Suffa, M., Cartellieri, P.*: CFD Software Quality Assurance at AVL (Das Testen der CFD Softwareprodukte AVL FIRE und AVL SWIFT NAFEMS). Niederhausen bei Wiesbaden, Germany, May 2–3, 2004.
2. *Rudoy, B.P., Vakhitov Y.R. and Enikeev R.D.* Improving engine performance and noise level, using the ALBEA simulation technique. Proc. Instn Mech. Engrs, Part D: J. Automobile Engineering, 2004, 218 (D12), 1447–1453.
3. *Рудой Б.П., Горбачев В.Г.* Система имитационного моделирования «Альбея». Руководство пользователя. Руководство программиста. Уфа: УГАТУ, 1995. — 112 с.
4. *Еникеев Р.Д., Рудой Б.П.* Двигатели внутреннего сгорания. Основные термины и русско-английские соответствия: учебное пособие. — М.: Машиностроение, 2004. — 384 с.

НОВОСТИ ОАО РУМО

Производство коленчатых валов для двигателей МАК-Caterpillar

ОАО РУМО начинает производство коленчатых валов для двигателей серии M43, M32, M34 из заготовок, поставляемых Groditzger Kurbelwelle. ОАО РУМО также рассматривает возможность агрегатирования своего нового газового компрессора 6ПК32 с газовым двигателем M34 производства МАК-Caterpillar.

Италийно-российское сотрудничество

В январе 2007 г. завершились переговоры о подписании контракта ОАО РУМО с Enigma SRL о совместной работе по строительству в Италии тепловых электростанций на базе дизель-генераторов мощностью 1000 кВт, производимых ОАО РУМО. Первая станция должна войти в эксплуатацию в середине 2007 г.

www.rumo.ru

НОВОСТИ ОАО ВДМ

Управление береговой охраны организационного департамента ПС ФСБ России планирует использовать судовые агрегаты производства ОАО ВДМ на катерах проекта 1496 м.

В январе состоялось рабочее совещание специалистов ОАО «Волжский дизель им. Маминых» и сотрудников пограничной службы ФСБ России, в ходе которого обсуждалась возможность применения продукции ОАО ВДМ (дизель-реверс-редукторных агрегатов ДРРА 390/1000-2 и ДРРА 550/1000) в интересах

НА ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДАХ РОССИИ

Пограничной службы ФСБ России. Кроме того, сотрудники ПС ФСБ были ознакомлены с перспективными разработками ОАО ВДМ. На совещании принято решение о заключении договора о научно-техническом сотрудничестве между ОАО «Волжский дизель им. Маминых» и ВВЯЦ ФСБ России.

www.vdm-plant.ru

НОВОСТИ ОАО «АВТОДИЗЕЛЬ»

В июне 2006 г. было подписано соглашение о стратегическом партнерстве между «Группой ГАЗ» и «Renault Trucks» в области производства тяжелых дизельных двигателей. Согласно ему, на базе ОАО «Автодизель» в 2007 г. будет развернуто серийное производство лицензионных двигателей «Renault Trucks» (в России им присвоено обозначение ЯМЗ-650.10), соответствующих требованиям норм Euro-3, а в перспективе и Euro-4, мощностью до 420 л. с. Производственная программа по двигателям ЯМЗ-650.10 рассчитана на выпуск 20 тыс. двигателей в год. В настоящий момент на «Автодизеле» ведется полномасштабная подготовка производства.

В феврале специалисты ярославского моторного завода «Автодизель» «Группы ГАЗ» и компании «Renault Trucks» посетили автомобильный завод МАЗ в Белоруссии, где были проведены переговоры по решению технических вопросов в рамках масштабной программы по адаптации на автомобилях «МАЗ» рядных дизельных двигателей ЯМЗ-650.10.

www.avtodizel-yamz.ru