

УДК 621.43+004.9

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ CAE/CAD-СИСТЕМ В ПРОЦЕССЕ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И РАСЧЁТА РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

© 2012 В. В. Бирюк, Д. А. Угланов, С. С. Каюков, А. А. Горшкалёв,
А. А. Вакарчук, А. М. Бурданов

Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва
(национальный исследовательский университет)

В качестве прототипа использован двигатель Mitsubishi 4G63. Представлены расчёты тепловых процессов, протекающих в нём. По размерам прототипа создана 3D-модель двигателя в программном комплексе SolidWorks. Предлагаемая методика позволяет экспортировать данные в программы: ADAMS - для кинематических и динамических расчётов, ANSYS - для прочностного расчёта, ANSYS Fluent - для газодинамических расчётов, а также спроектировать систему охлаждения двигателя.

Проектирование ДВС, CAE/CAD - системы, конечно-элементная сетка, граничные условия, тепловой расчёт, газодинамический расчёт.

В настоящее время современные условия проектирования двигателей внутреннего сгорания требуют минимальных расходов времени и материальных средств, вследствие чего для расчёта и конструирования двигателей внутреннего сгорания необходимо использовать современные компьютерные технологии, которые позволяют обеспечить моделирование процессов, протекающих в цилиндре ДВС.

Предлагаемая технология проектирования ДВС производится в несколько этапов. Вначале создаётся 3D - модель проектируемого двигателя. Для этого выполняется построение деталей кривошипно-шатунного, газораспределительного механизмов и основных корпусных деталей двигателя. Затем производится их сборка и проверка работоспособности в едином комплексе. Продольный и поперечный разрезы сборки двигателя представлены на рис. 1.

Производятся кинематический и динамический расчёты созданной модели двигателя, представленной на рис. 2, с учётом действия всех сил.

Для кинематического и динамического расчётов обычно используется трёхмерная модель двигателя с заданными массо-габаритными характеристиками. Результатами данного процесса являются графики зависимостей перемещения, скорости и ускорения поршня от угла поворота коленчатого вала, после чего находятся силы давления газов,

силы инерции, суммарные силы и моменты, действующие в кривошипно-шатунном механизме (рис. 3). Дополнительно оцениваются силы, действующие на шатунные и коренные шейки коленчатого вала.

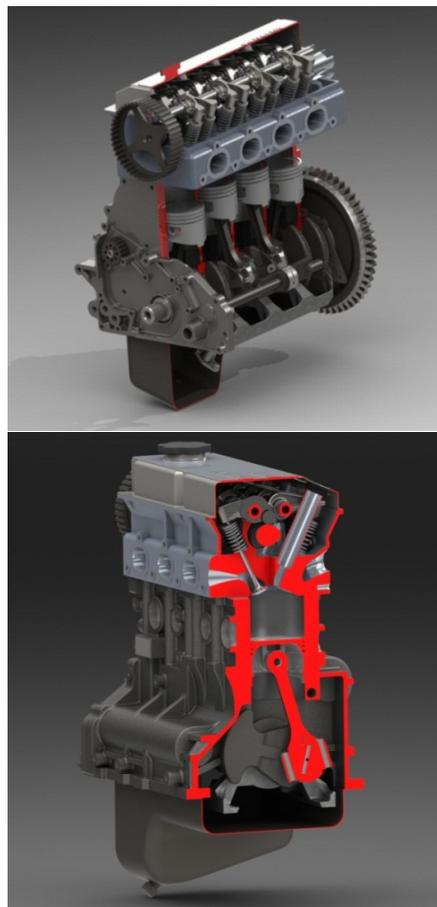


Рис. 1. Продольный и поперечный разрезы двигателя

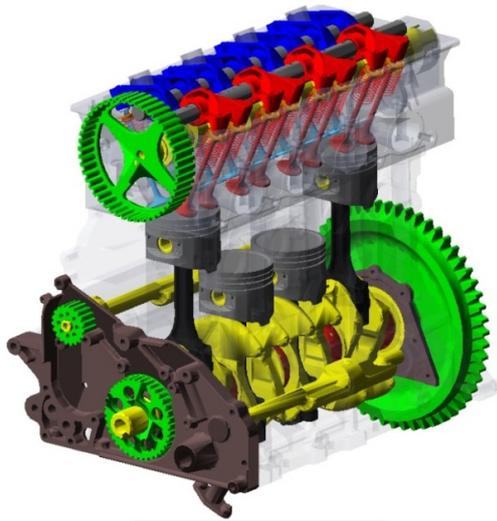


Рис. 2. Модель двигателя для кинематического и динамического расчётов

В газораспределительном механизме (ГРМ) определяются сила действия кулачка на впускное коромысло и суммарный крутящий момент, возникающий на распределительном валу. Определяется влияние опор двигателя на характер кривых реальной модели.

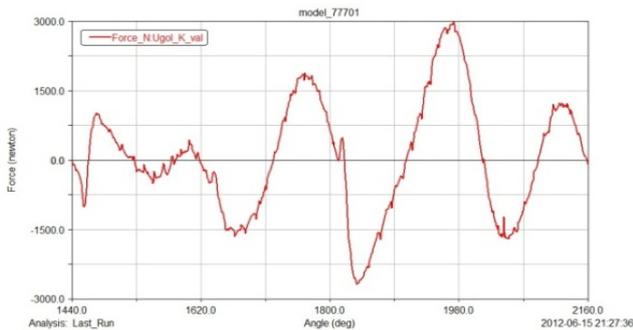


Рис. 3. График нормальной силы N

Расчёт на прочность производится на моделях цилиндропоршневой группы (ЦПГ). Теплонапряжённые детали двигателя имеют, как правило, сложную геометрическую форму, а их отдельные элементы находятся в тепловом, силовом и кинематическом взаимодействии. При проектировании, расчёте и доводке двигателя необходим полный и точный учёт всех величин, определяющих надёжность и ресурс. Результаты прочностного расчёта представлены на рис. 4.

На следующем этапе проектирования ДВС выполняется расчёт тепловых и газодинамических процессов в камере сгорания проектируемого двигателя. Для моделирова-

ния рабочих процессов была построена трёхмерная модель камеры сгорания проектируемого двигателя с впускным и выпускным каналами.

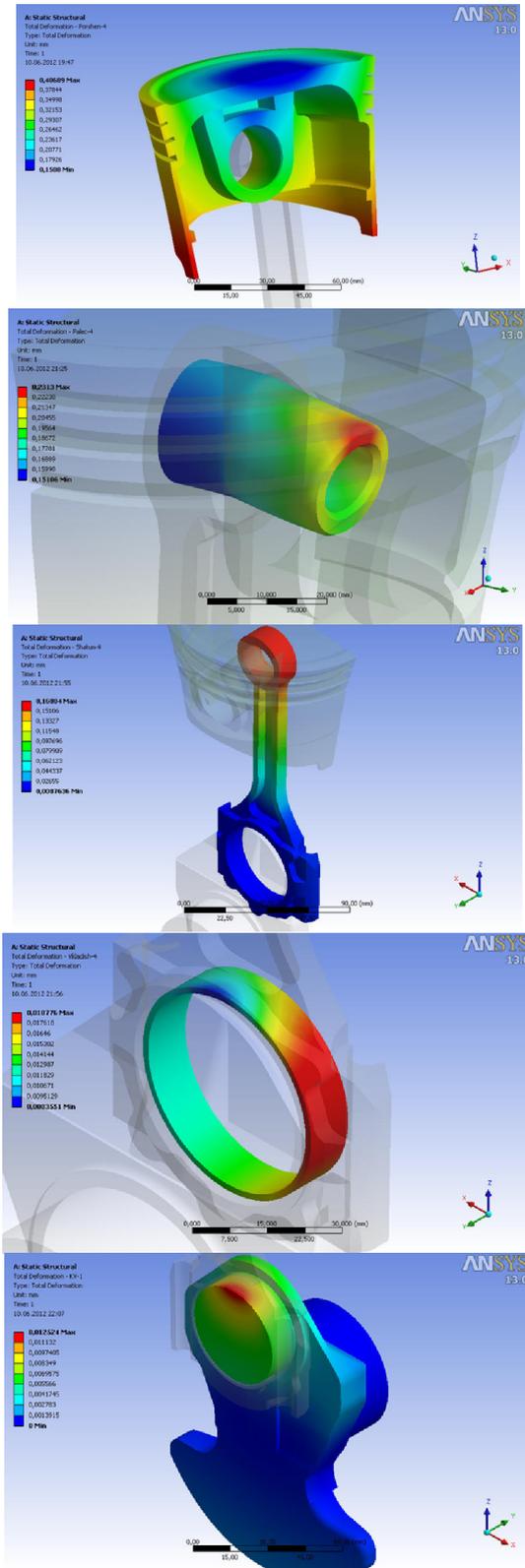


Рис. 4. Деформации поршня, поршневого пальца, шатуна, вкладыша и коленчатого вала

Модель была разбита на 16 отдельных объёмов - объём впускных каналов, выпускных, объём камеры сгорания, надпоршневой объём и по три объёма для каждого клапана, которые были дополнительно рассечены пополам для наложения конечно-элементной сетки. В цилиндрических и кольцевых объёмах вокруг клапана была наложена гексаэдральная конечно-элементная сетка; в объёме камеры сгорания, впускном и выпускном каналах была наложена тетраэдральная сетка. Поверхности, разделяющие объёмы с различной сеткой, заданы проницаемыми. Остальные границы были заданы по умолчанию непроницаемой стенкой. Для настройки решателя была выбрана модель турбулентности $k-\epsilon$ и параметры мультифазной среды. Затем была выбрана настройка движения поршня и движения клапанов. Движение поршня задаётся по создаваемому самой программой закону при задании частоты вращения и хода поршня. Для описания движения клапанов в программу интегрируется текстовый файл, в котором в табличном виде описывается данный процесс.

После построения расчётной модели выполняется моделирование процессов впуска, сжатия, рабочего хода и выпуска. Результатами являются поля образования топливозвоздушной смеси и дальнейшее её смешение во впускном коллекторе и цилиндре двигателя (рис. 5), поля распределений давления, поля векторов скоростей, поля турбулентности потока в цилиндре при различных положениях коленчатого вала. Проведено сравнение индикаторных диаграмм, полученных в результате расчёта во Fluent, и тепловом расчёте, выполненном на основании известных методик [2], представленное на рис. 6.

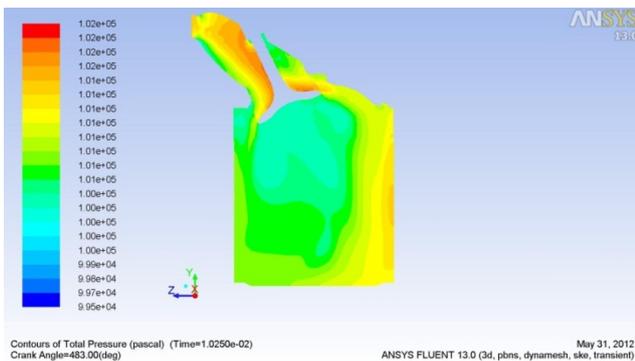


Рис. 5. Распределение давления в цилиндре двигателя

С учётом полученных распределений давления и температуры по углу поворота коленчатого вала выполняется уточнённый расчёт на прочность основных деталей ЦПГ для определения коэффициента запаса.

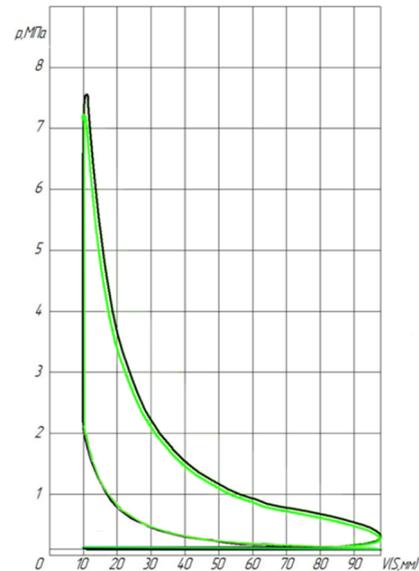


Рис. 6. Сравнение индикаторных диаграмм: — тепловой расчёт; - - - расчёт в ANSYS Fluent

Затем выполняется моделирование тепловых и газодинамических процессов в теплообменнике системы охлаждения двигателя. Моделирование тепловых процессов в радиаторе происходит в два этапа. Вначале моделируется течение охлаждающей жидкости в двухмерной модели радиатора для определения значения его коэффициента теплопередачи, а после проводится расчёт тепловых процессов в трёхмерной модели проектируемого радиатора. Моделирование структуры потока при обоснованном выборе модели турбулентности позволяет с достаточной точностью получить распределение основных теплотехнических характеристик текущей жидкости в трубках радиатора (рис. 7).

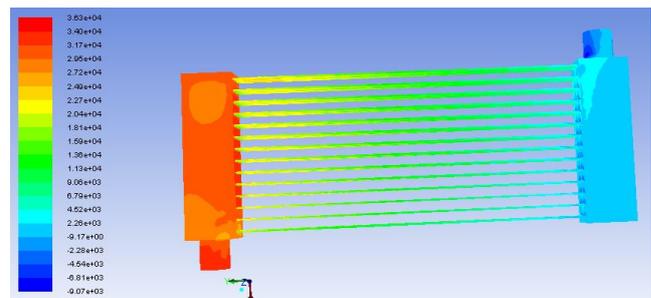


Рис. 7. Поле распределения давления в теплообменнике

Высокая информативность результатов численного моделирования способствует более глубокому анализу процессов, протекающих в двигателе внутреннего сгорания. Следующим этапом исследования является выполнение физических экспериментов в ДВС и сравнение с результатами численного моделирования.

Библиографический список

1. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / А.С. Орлин. – М.: Машиностроение, 1990. – 253 с.
2. Колчин, А.И. Расчёт автомобильных и тракторных двигателей [Текст] / А.И. Колчин, В.П. Демидов – М.: Высш. школа, 2008. - 496 с.
3. Батурин, О.В. Расчёт течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса [Текст] Ч. 2. Построение расчетных моделей в препроцессоре

Gambit / О.В. Батурин, И.И. Морозов, В.Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. – 125с.

4. Батурин, О.В. Расчёт течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса [Текст] Ч. 3. Работа в программе Fluent / О.В. Батурин, И.И. Морозов, В.Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. – 115с.

5. Расчёт тепловых процессов в камере сгорания ДВС с помощью программы «Fluent» [Текст] / В.В. Бирюк, А.А. Горшкалёв, М.Ю. Орлов [и др.] – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 71с.

6. Моделирование тепловых и газодинамических процессов в системе охлаждения ДВС с помощью программы Fluent [Текст] / В.В. Бирюк, И.В. Коломин, А.В. Кривцов [и др.] – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2011. – 92с.

MAIN RESULTS OF USE CAE/CAD-SYSTEMS IN THE PROCESS OF DESIGN AND CALCULATION OF THE WORKING PROCESSES IN INTERNAL COMBUSTION ENGINE

© 2012 V. V. Biryuk, D. A. Uglanov, S. S. Kayukov, A. A. Gorshkalev, A. A. Vakarchuk, A. M. Burdanov

Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov
(National Research University)

In given work ICE on the basis of the engine of Mitsubishi 4G63. Thermal calculation of the processes proceeding in given power installation is carried out. On real details it was created 3D prototype model in program complexes SolidWorks. The given technique allows to execute designing of pressurization and system of cooling of the engine. On each of points the technique of performance of calculations that allows to project any ICE has been made.

ICE designing, CAD/CAE systems, finite element mesh, finite-element mesh, boundary conditions, thermal calculation design, gas-dynamic calculation.

Информация об авторах

Бирюк Владимир Васильевич, доктор технических наук, профессор кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: теплообмен в закрученных потоках жидкости и газа, энергоресурсосбережение.

Угланов Дмитрий Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Область научных интересов: тепломассообмен в закрученных потоках жидкости и газа, энергоресурсосбережение.

Каюков Сергей Сергеевич, инженер, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: street999@mail.ru. Область научных интересов: моделирование процессов тепловых машин.

Горшкалёв Алексей Александрович, инженер, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: AGorsh@bk.ru. Область научных интересов: моделирование рабочих процессов тепловых машин.

Вакарчук Александр Артемович, студент, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: street999@mail.ru. Область научных интересов: моделирование процессов тепловых машин.

Бурданов Алексей Михайлович, студент, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: street999@mail.ru. Область научных интересов: моделирование процессов тепловых машин.

Biryuk Vladimir Vasilevich, Doctor of Technical Sciences, professor, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). Area of research: piston engines.

Uglanov Dmitriy Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate professor, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). Area of research: piston engines.

Kayukov Sergey Sergeevich, engineer, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: street999@mail.ru. Area of research: work processes of heat engines.

Gorshkalev Alexey Aleksandrovich, engineer, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: AGorsh@bk.ru. Area of research: work processes of heat engines.

Vakarchuk Aleksandr Aleksandrovich, student, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: street999@mail.ru. Area of research: work processes of heat engines.

Burdanov Alexey Mikhaylovich, student, Samara State Aerospace University named after academician S. P. Korolyov (National Research University). E-mail: street999@mail.ru. Area of research: work processes of heat engines.