

УДК 621.43

## ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ САЕ/CAD-СИСТЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

©2011 А. А. Горшкалев, А. В. Кривцов, Е. А. Сайгаков, Д. В. Сморгалов, Д. А. Угланов

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

Представлен процесс проектирования двигателя внутреннего сгорания с помощью САЕ/САЕ - систем. Проведен расчет тепловых процессов в цилиндре двигателя. По реальным деталям построена трехмерная модель двигателя с помощью программ SolidWorks и КОМПАС. Также модель экспортирована в программы ADAMS – для кинематического и динамического расчета, в ANSYS mechanical – для расчета на прочность, в ANSYS Fluent – для газодинамического расчета. Выполнено проектирование наддува двигателя и системы охлаждения. Использование данных программ позволяет проводить проектирование ДВС на высоком уровне.

*Проектирование ДВС, САЕ/САЕ-системы, тепловой расчет, прочностной расчет, газодинамический расчет, кинематический расчет.*

Современные условия проектирования двигателей внутреннего сгорания требуют минимальных расходов времени и материальных средств. Вследствие чего для расчета и конструирования двигателей внутреннего сгорания необходимо пользоваться современными компьютерными технологиями, которые позволяют обеспечить с высокой точностью моделирование процессов, протекающих в ДВС.

Проектирование ДВС с помощью САЕ/САЕ - систем предполагается производить в несколько этапов. Вначале была создана объемная модель проектируемого двигателя. Для этого необходимо построить детали кривошипно-шатунного и газораспределительного механизмов и корпусные детали (рис. 1).



Рис. 1. Продольный разрез двигателя

На следующем этапе проектирования выполняется кинематический и динамический расчеты с использованием упрощенной стержневой модели, состоящей из простейших геометрических объектов, имитирующих элементы кривошипно-шатунного механизма двигателя (рис. 2). Далее осуществляются кинематический и динамический расчеты объемной модели двигателя (рис. 3).

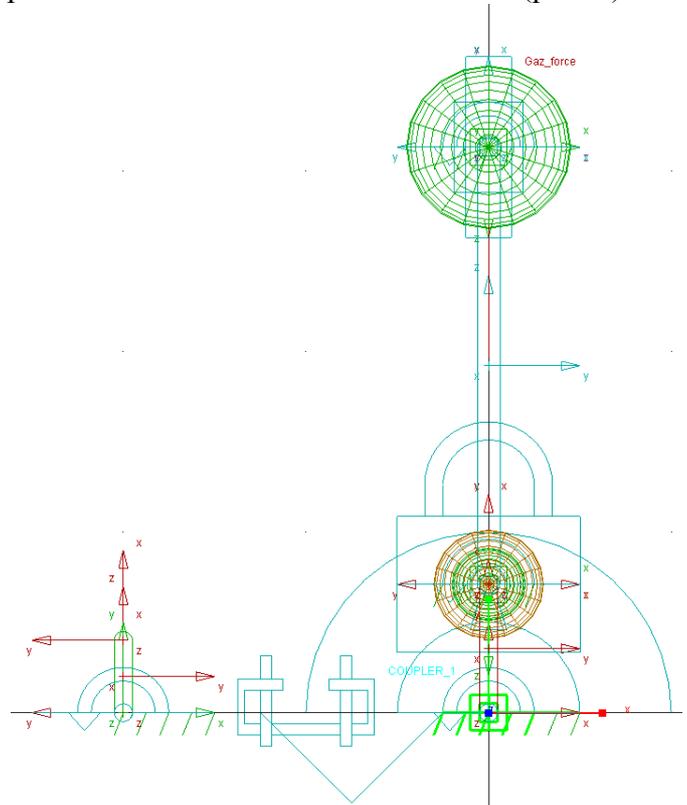


Рис. 2. Упрощенная стержневая модель двигателя



Рис. 3. Объемная модель двигателя

В результате определяются силы инерции, суммарные силы, крутящий момент, действующие в кривошипно-шатунном механизме. Это позволяет оценить силы, действующие на шатунные и коренные шейки коленчатого вала, а также сравнить результаты расчета упрощенной и объемной моделей. Расхождение результатов составило не более 10%.

Расчет напряженно-деформированного состояния сначала производится на упрощенных моделях цилиндропоршневой группы для получения предварительных результатов (рис. 4, 5).

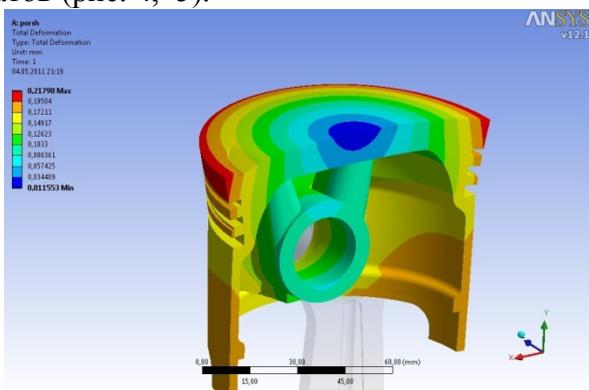


Рис. 4. Деформации поршня

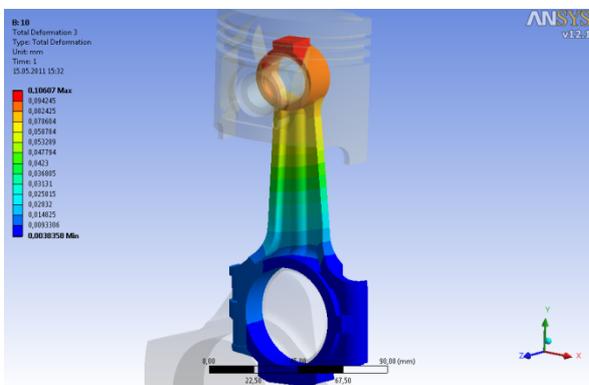


Рис. 5. Деформации шатуна

Теплонапряженные детали двигателя имеют, как правило, сложную геометриче-

скую форму, а их отдельные элементы находятся в тепловом, силовом и кинематическом взаимодействии. При проектировании, расчете и доводке двигателя необходим более полный и точный учет всех величин, определяющих надежность и ресурс.

На следующем этапе расчета выполняется расчет тепловых и газодинамических процессов в камере сгорания проектируемого двигателя внутреннего сгорания. Для выполнения данных расчетов строится двухмерная модель камеры сгорания проектируемого двигателя внутреннего сгорания с впускным и выпускным коллекторами. Клапаны построены в положении перекрытия при нахождении поршня в верхней мертвой точке. Модель была разбита на 6 зон: зоны во впускном и выпускном коллекторах, зоны между седлами клапанов и клапанами, камера сгорания, часть камеры сгорания над поршнем высотой 1 мм. Затем накладывается треугольная сетка в зоне камеры сгорания, в остальных зонах - прямоугольная сетка (рис. 6).

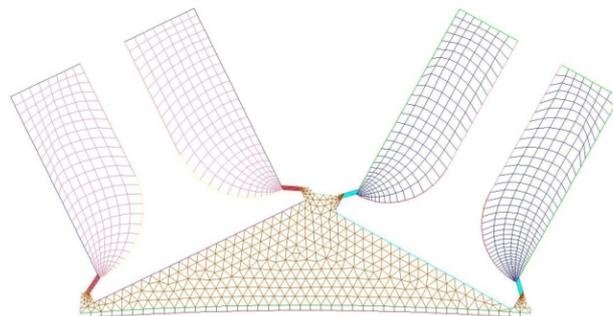


Рис. 6. Двухмерная модель камеры сгорания

На впускном и выпускном коллекторах задаются граничные условия давления. Отрезки, разделяющие зоны с различной сеткой, задаются проницаемыми. Остальные границы задаются по умолчанию непроницаемой стенкой. Для настройки решателя выбирается модель турбулентности  $k-\epsilon$  и параметры мультифазной среды. Затем в соответствии с методикой выполняется настройка движения поршня и движения клапанов. Движение поршня задается 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 выполняется моделирование процессов впуска, сжатия, рабочего хода и выпуска. В результате проведенного расчета получаются распределения давлений (рис. 7), температур (рис. 8), векторы скоростей, турбулентность потока в цилиндре при различных положениях коленчатого вала, также образование топливовоздушной смеси и дальнейшее ее смешение во впускном коллекторе и в цилиндре двигателя (рис. 9).

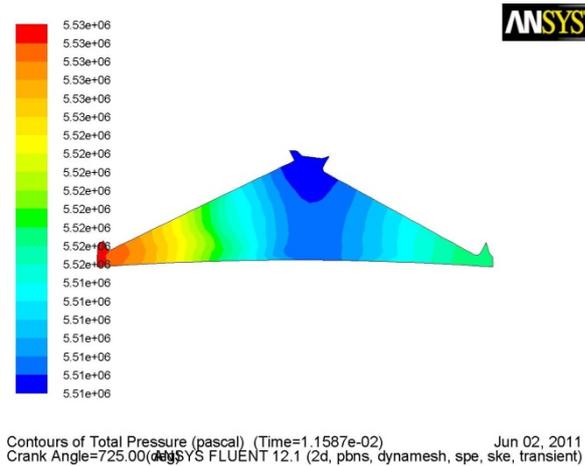


Рис. 7. Распределение давлений в цилиндре

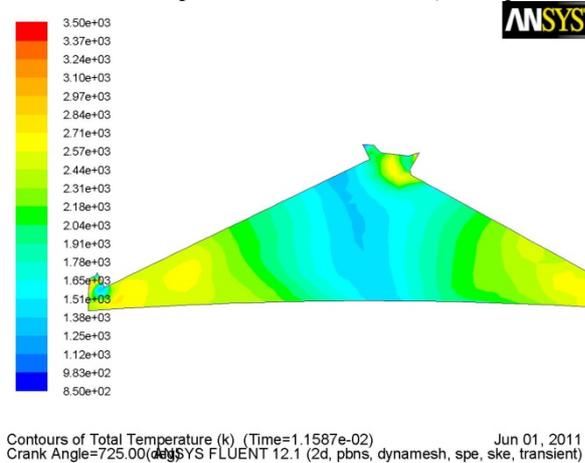


Рис. 8. Распределение температур в цилиндре

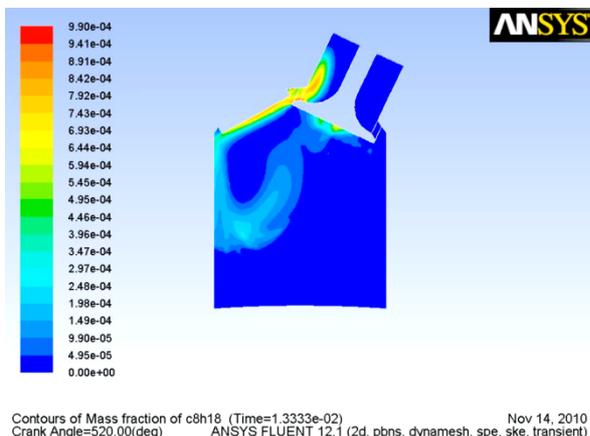


Рис. 9. Концентрация топлива в цилиндре

На следующем этапе выполняется моделирование тепловых и газодинамических процессов в элементах системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания, таких как радиатор и насос. Данное моделирование должно производиться на основе результатов проекторочного расчета системы охлаждения. Отдельное внимание в процессе проектирования уделено процессу моделирования в центробежном насосе кавитации. Решение последней задачи требует использования в программном комплексе FLUENT модели движущейся системы отсчета и модели кавитации. При этом также рассмотрены следующие аспекты использования программы FLUENT: применение  $k-\epsilon$  моделей турбулентности, выбор модели смеси, создание расчетной кавитационной модели, расчет задачи без кавитации в потоке и с кавитацией. Моделирование тепловых процессов в радиаторе происходит в два этапа. Вначале моделируется течение охлаждающей жидкости в двухмерной модели радиатора для определения значения его коэффициента теплопередачи. Затем проводится расчет и моделирование всех процессов на трехмерной модели проектируемого радиатора (рис. 10, 11).

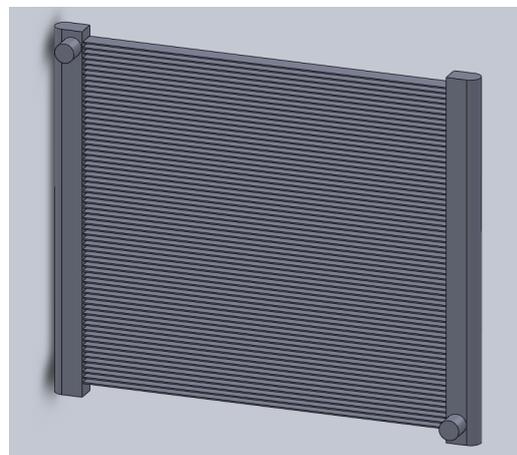


Рис. 10. Трехмерная модель радиатора

Моделирование структуры потока при обоснованном выборе модели турбулентности позволяет с достаточной точностью получить распределение основных термодинамических параметров внутри центробежного насоса двигателя и в трубках радиатора.

Для увеличения мощности двигателя предполагается использовать наддув двигателя.

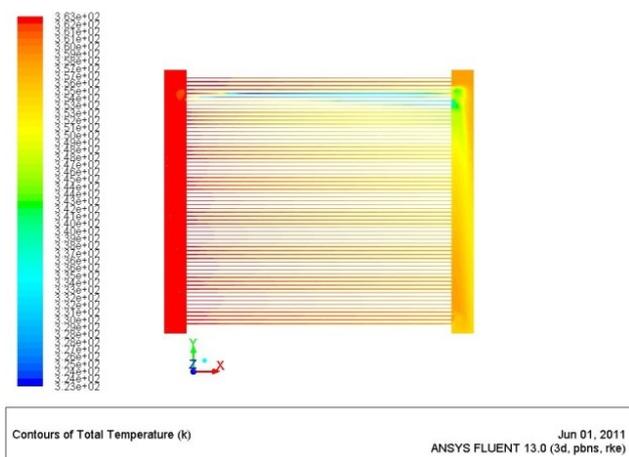


Рис. 11. Распределение температуры в радиаторе

Проектирование геометрической модели крыльчатки компрессора проводилось в программе КОМПАС. Создание геометрической модели воздуховода и построение сетки для заключенного внутри него объема выполнены в среде препроцессора ANSYS. Там же созданы именованные компоненты узлов, принадлежащих поверхностям, на которых задаются граничные условия. Далее импортируются сеточные модели крыльчатки и воздуховода, заданы тип анализа и граничные условия. После этого задаются параметры решения (количество итераций, величина невязки по сходимости решения и т.д.). На следующем этапе выполняется решение. Созданная математическая модель воздушного центробежного компрессора позволила провести анализ внутреннего течения в каналах всасывающей камеры, рабочего колеса и направляющего аппарата (рис. 12), а также получить интегральные характеристики и перепад давления на ступени компрессора.

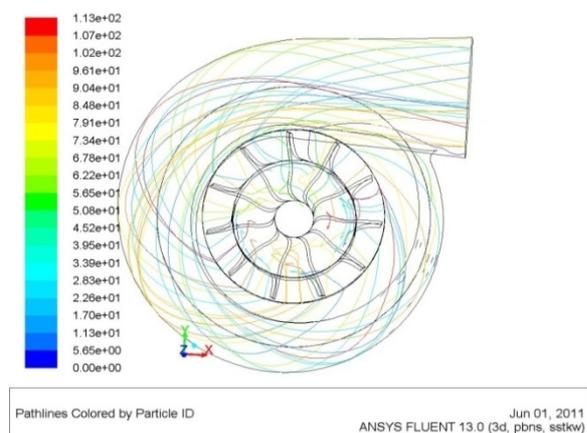


Рис. 12. Линии тока в агрегате наддува

В результате высокая информативность результатов численного моделирования способствует более глубокому анализу процессов, протекающих в двигателе внутреннего сгорания. Все это позволяет на высоком уровне выполнить проектирование двигателей внутреннего сгорания и существенно сократить время выполнения этой задачи.

### Библиографический список

1. Орлин, А.С. Двигатели внутреннего сгорания. Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей [Текст] / А.С. Орлин - М.: Машиностроение, 1990. – 253с.
2. Колчин, А.И. Расчет автомобильных и тракторных двигателей [Текст] / А.И. Колчин, В.П. Демидов - М.: Высшая школа, 2008. - 496 с.
3. Батулин, О.В. Расчет течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса. Ч. 2. Построение расчетных моделей в препроцессоре Gambite [Текст] / О.В. Батулин, И.И. Морозов, В.Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. - 125с.
4. Батулин, О.В. Расчет течений жидкостей и газов с помощью универсального программного комплекса. Ч. 3. Работа в программе Fluent [Текст] / О.В. Батулин, И.И. Морозов, В.Н. Матвеев – Самара: Изд-во Самар. гос. аэрокосм. ун-та, 2008. - 115с.
5. Расчет тепловых процессов в камере сгорания ДВС с помощью программы «FLUENT» [Текст] / В.В. Бирюк, А.А. Горшкालёв, 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.

## EXPERIENCE OF CAE/CAD-SYSTEMS USING AT DESIGNING OF INTERNAL COMBUSTION ENGINE

©2011 A. A. Gorshkalev, A. V. Krivtsov, E. A. Saigakov, D. V. Smorkalov, D. A. Uglanov

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

This article deals with designing processor of internal combustion engine by CAD/CAE - system. Thermal calculation of the processes proceeding in given power installation is carried out. On real details it has been created 3D prototype model in program complexes Solid Works and the COMPASS. Further models have been exported to programs ADAMS for kinematic and dynamic calculation, ANSYS mechanical – durability of calculation, and gas dynamic calculation in ANSYS Fluent. Also the given technique allows to execute designing of pressurization and system of cooling of the engine. Using of all this programs allows to project ICE with very good.

*Designing ICE, CAD/CAE - systems, thermal calculation, durability calculation, gasdynamic calculation, kinematic calculation.*

### Информация об авторах

**Горшкалев Алексей Александрович**, инженер кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Тел.: (846) 335-18-12. E-mail: [AGorsh@bk.ru](mailto:AGorsh@bk.ru). Область научных интересов: моделирование рабочих процессов тепловых машин.

**Кривцов Александр Васильевич**, инженер кафедры теории двигателей летательных аппаратов, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [a200009@rambler.ru](mailto:a200009@rambler.ru). Область научных интересов: моделирование рабочих процессов тепловых машин.

**Сайгаков Евгений Аркадьевич**, инженер кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [korvin@ro.ru](mailto:korvin@ro.ru). Область научных интересов: моделирование рабочих процессов тепловых машин.

**Сморкалов Дмитрий Владимирович**, инженер кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). E-mail: [SDV89@bk.ru](mailto:SDV89@bk.ru). Область научных интересов: моделирование рабочих процессов тепловых машин.

**Угланов Дмитрий Александрович**, кандидат технических наук, доцент кафедры теплотехники и тепловых двигателей, Самарский государственный аэрокосмический университет имени академика С.П. Королёва (национальный исследовательский университет). Тел.: (846) 335-18-12. E-mail: [dmitry.uglanov@mail.ru](mailto:dmitry.uglanov@mail.ru). Область научных интересов: рабочие процессы тепловых и холодильных машин, бортовая энергетика, энергосбережение.

**Gorshkalev Alexey Aleksandrovich**, engineer of department heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone: (846) 335-18-12. E-mail: [AGorsh@bk.ru](mailto:AGorsh@bk.ru). Area of research: work processes of heat engines.

**Krivtsov Alexander Vasilevich**, engineer of department heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: [a200009@rambler.ru](mailto:a200009@rambler.ru). Area of research: work processes of heat engines.

**Saigakov Evgeniy Arkadevich**, engineer of department heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: [korvin@ro.ru](mailto:korvin@ro.ru). Area of research: work processes of heat engines.

**Smorkalov Dmitry Vladimirovich**, engineer of department heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). E-mail: [SDV89@bk.ru](mailto:SDV89@bk.ru). Area of research: work processes of heat engines.

**Uglanov Dmitry Aleksandrovich**, candidate of technical science, associate senior lecturer of department heat engineering and heat engines, Samara State Aerospace University named after academician S.P. Korolyov (National Research University). Phone: (846) 335-18-12. E-mail: [dmitry.uglanov@mail.ru](mailto:dmitry.uglanov@mail.ru). Area of research: work processes of heat engines and refrigerators, airborne power engineering, energy saving.