

Для проведения исследований задействовано 8 д.т.н., 16 к.т.н., 12 инженеров, 5 аспирантов и 12 магистрантов и студентов. Эти кадры участвуют одновременно и в образовательной деятельности НОЦ ГДИ.

Для проведения научно-исследовательских работ и учебного процесса используются лаборатория вычислительной газовой динамики, два вычислительных центра с

доступом к конфиденциальной информации и четыре учебных дисплейных класса.

При численном моделировании исследуемых рабочих процессов используются такие программные комплексы, как Ansys Fluent, Ansys CFX, NUMECA, Flowmaster, FlowVision, NX. Имеется возможность выхода на суперкомпьютер СГАУ «Сергей Королев».

УДК 536.202

ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ CAE/CAD-СИСТЕМ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ДВИГАТЕЛЯ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Угланов Д.А., Горшкалев А.А., Кривцов А.В., Сайгаков Е.А., Сморкалов Д.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет

EXPERIENCE OF USE CAE/CAD-SYSTEM AT DESIGNING INTERNAL COMBUSTION ENGINE

Uglanov D.A., Gorshkalev A.A., Krivtsov A.V., Saigakov E.A., Smorkalov D.V. In given work ICE on the basis of the engine of Mercedes-Benz M-115. 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 Solid Works and the COMPASS. Further models have been exported to programs ADAMS for kinematic and dynamic calculation, ANSYS mechanical – durability of calculation, and gasdynamic calculation in ANSYS Fluent. Also 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.

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 моделирование процессов протекающих в цилиндре ДВС.

Проектирование ДВС произведено в несколько этапов. Вначале была создана 3D модель проектируемого двигателя. Затем выполнялся кинематический и динамический расчёты с использованием упрощённой стержневой модели, состоящей из простейших геометрических объектов, имитирующих элементы кривошипно-шатунного механизма двигателя. На следующем этапе 3D модель двигателя была использована для расчета кинематики поршня (перемещения,

скорости, ускорения в зависимости от угла поворота коленчатого вала), а затем был построены соответствующие зависимости. Выбраны основные конструктивные размеры деталей двигателя: поршневая группа, шатунная группа, коленчатый вал, а затем были найдены силы давления газов, силы инерции, суммарные силы, действующие в КШМ, определены моменты, действующие в кривошипно-шатунном механизме. Также были оценены силы, действующие на шатунные и коренные шейки коленчатого вала.

Прочностной расчёт также был проведён на упрощённых моделях цилиндрической поршневой группы для получения предварительных результатов. Теплонапряженные детали двигателя имеют, как правило, сложную геометрическую 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 неустановившихся режимах, характерных для эксплуатации большинства современных двигателей, напряженность поршня меняется во времени, что приводит к появлению усталостных трещин и разрушению. Это обстоятельство вызывает необходимость уточнения существующих методик расчета прочности и остаточного ресурса, проведение численной оценки влияния перепада температуры поршня, давления газов.

На следующем этапе расчета была выполнен расчет тепловых и газодинамических процессов в камере сгорания проектируемого двигателя внутреннего сгорания. Для выполнения данных расчетов была построена двумерная модель камеры сгорания проектируемого двигателя внутреннего сгорания с впускным и выпускным коллекторами. Клапаны были 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. Была наложена треугольная сетка в зоне камеры сгорания, в остальных зонах прямоугольная сетка. На впускном и выпускном коллекторах заданы граничные условия давления. Отрезки, разделяющие зоны с различной сеткой, заданы проницаемыми. Остальные границы были заданы по умолчанию непроницаемой стенкой. Для настройки решателя была выбрана модель турбулентности $k-\varepsilon$ и параметры мультифазной среды. Затем была выбрана настройка движения поршня и движения клапанов. Движение поршня задается по создаваемому самой программой закону при задании частоты вращения и хода поршня. Для описания движение клапанов в программу интегрируется текстовый файл, в котором в табличном виде описывается данный процесс.

После построения выполнялась моделирование процессов впуска, сжатия, рабочего хода и выпуска. После проведения расчета были получены распределения дав-

лений, векторы скоростей, турбулентность потока в цилиндре при различных положениях коленчатого вала. Так же образование топливовоздушной смеси и дальнейшее ее смешение во впускном коллекторе и в цилиндре двигателя.

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 в соответствии с методикой. 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 $k-\varepsilon$ 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 двумерной модели радиатора для определения значения его коэффициента теплопередачи. Затем проводится расчет и моделирование всех процессов на трехмерной модели проектируемого 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 был применен наддув двигателя.

Проектирование геометрической модели крыльчатки компрессора проводилось в программе КОМПАС. Создание геометрической модели воздуховода и построение сетки для заключенного внутри него объема. Геометрия и сетка выполнены в среде препроцессора ANSYS. Там же созданы именованные компоненты узлов, принадлежащих поверхностям на которых задаются

граничные условия. Сначала были импортированы сеточные модели крыльчатки и воздуховода, заданы тип анализа и граничные условия. После этого задавались параметры решения (количество итераций, величина невязки по сходимости решения и т.д.). На следующем этапе выполнялось решение. Созданная математическая модель воздушного центробежного компрессора позволила провести анализ внутреннего течения в

каналах всасывающей камеры, рабочего колеса и направляющего аппарата, а также получить интегральные характеристики – перепад давления на ступени компрессора.

В результате высокая информативность результатов численного моделирования способствует более глубокому анализу процессов протекающих в двигателе внутреннего сгорания.

УДК 621.452-226:620.191

КОМПЛЕКСНАЯ ФРАКТОДИАГНОСТИКА ФЛАТТЕРА РАБОЧИХ КОЛЁС КОМПРЕССОРОВ АВИАДВИГАТЕЛЕЙ

Сачин В.М., Туманов Н.В., Лаврентьева М.А., Черкасова С.А.

Центральный институт авиационного моторостроения (ЦИАМ), г. Москва

COMPLEX FAILURE ANALYSIS OF AERO ENGINE COMPRESSOR BLADES

Sachin V.M., Tumanov N.V., Lavrentyeva M.A., Cherkasova S.A. Techniques for blade flutter diagnostics using stationary transducers and microfractographic observations are presented. Both these methods have been applied for compressor blade failure analysis of preproduction aero engines. As a result the cause and kinetics of the failures have been established.

Флаттер (динамическая аэроупругая неустойчивость) является наиболее опасным типом аэроупругих колебаний рабочих колёс (РК) компрессоров авиадвигателей. Возникновение флаттера на рабочих режимах должно быть исключено в процессе проектирования и доводки РК. Это обуславливает актуальность проблемы обнаружения флаттера при испытаниях опытных РК – как на безопасном уровне вибронпряжений, так и при разрушении РК. В последнем случае вибронпряжения достигают такой величины, что расположенные на РК тензодатчики выходят из строя, и для диагностики разрушения (фрактодиагностики) необходимо анализировать записи виброакустических процессов в окрестности РК (с использованием методов бесконтактной виброакустической диагностики флаттера (БВАДФ)) и микрорельеф поверхности разрушения.

Используемые в настоящей работе методы БВАДФ базируются на закономерностях флаттера РК как волнового процесса [1-

7]. В системе координат, связанной с РК, флаттер поворотно-симметричного РК при связанных колебаниях по форме с m узловыми диаметрами и круговой частотой ω_m происходит в виде волны перемещений лопаток, бегущей в направлении вращения колеса с угловой скоростью ω_m/m . Это приводит к возмущению окружного распределения статического давления потока вблизи РК в виде волны давления, которая воздействует на элементы статора (корпус компрессора, лопатки направляющих аппаратов), вызывая соответствующие волны перемещений и деформаций. В неподвижной системе координат угловая скорость указанных волн превышает угловую скорость ω_m/m флаттерной волны в рабочем колесе на величину его угловой скорости ω_p . Поскольку число m пространственных периодов волн не изменится при переходе от связанной с РК системы координат к неподвижной, частота генерируемых флаттером диагностических сигналов (ДС), фиксируемая установленными на статоре датчиками (пульсаций дав-