

7. Работа автомобильной шины/ В.И. Кнороз, В.Е. Кленников, И.П. Петров и др.; Под ред. В.И. Кнороза. - М.: Транспорт, 1976. - 236 с.
8. Бухин Б.Л. Введение в механику пневматических шин. - М.: Химия, 1988. - 224 с.

Применение программного комплекса FloEFD для численного исследования характеристик турбокомпрессора

Григоров И.Н., Каминский Р.В., Сибиряков С.В., Трофимович И.В.
Университет машиностроения, НПО «Турботехника»
turbo@kamturbo.ru

Аннотация. Описывается опыт использования программного комплекса FloEFD для трехмерного газодинамического расчета вязкого течения газа в турбинной ступени турбокомпрессора при проектировании системы турбонаддува двигателя.

Ключевые слова: турбокомпрессор, газодинамический расчет, распределение площадей, геометрия улитки

При создании системы турбонаддува двигателя для корректного согласования турбины и компрессора, турбокомпрессора и двигателя необходимо выполнить целый ряд расчетов компрессорной и турбинной ступеней турбокомпрессора [4]. В данной работе мы рассмотрим только небольшую часть расчетов, выполненных с использованием программного комплекса FloEFD.

Важной задачей при проектировании турбонаддува является обеспечение мощности турбины на привод компрессора по всей расходной характеристике двигателя [6]. Используя программный комплекс FloEFD, выполнен трехмерный газодинамический расчет вязкого течения газа в турбинной ступени турбокомпрессора ТКР 80.05.12, предназначенного для двигателя ЯМЗ-536 Евро-4. Определяющей частью решения газодинамических задач в FloEFD является построение сетки, которая, с одной стороны, обеспечивает приемлемую точность получаемого решения, с другой - позволяет считать задачу на персональном компьютере. FloEFD сетка имеет прямоугольную форму, так что стороны ячейки ортогональны осям системы координат и не совпадают с геометрией модели. Сетка должна удовлетворять следующим критериям:

- адекватно описывать твердотельную геометрию;
- возможность адаптации сетки с учетом больших градиентов параметров;
- иметь приемлемое число ячеек для расчета на обычном ПК;
- при дальнейшем уточнении сетки не должно наблюдаться качественного и/или существенного изменения результатов вычислений.

Для получения сетки, удовлетворяющей заданным критериям, были проведены расчеты при различных окружных скоростях колеса турбины 250 м/с и 450 м/с с грубой сеткой, имеющей 812205 потоковых ячеек (рисунок 2), и при окружной скорости колеса турбины 450 м/с и с улучшенной сеткой на поверхности твердотельной геометрии, имеющей 2870282 потоковых ячеек (рисунок 3). Расчетная 3D-модель турбинной ступени показана на рисунке 1.

В качестве граничных условий задавались следующие параметры:

- на входе - полное давление и статическая температура;
- на выходе Environment Pressure - давление внешней среды, интерпретируемое как полное давление втекающей в модель текущей среды и как статическое давление вытекающей из модели текущей среды.

Вращение колеса турбины задавалось специальным регионом с локальной вращающейся системой координат. При этом параметры течения на границе вращающейся области, рассчитанные с учетом течения в стационарной области, будут служить граничными условиями для этой области.

Расчетной средой является выхлопной газ, который задавался в виде массовых долей

четырёх газов: диоксид углерода, вода, кислород и азот.

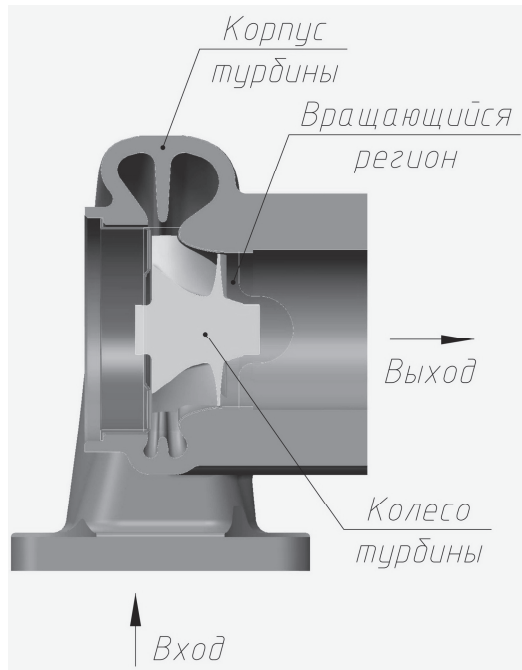


Рисунок 1. Расчетная 3D-модель турбинной ступени

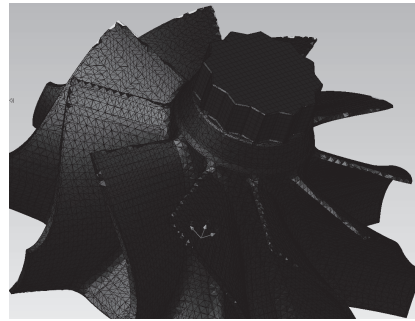


Рисунок 2. Грубая сетка

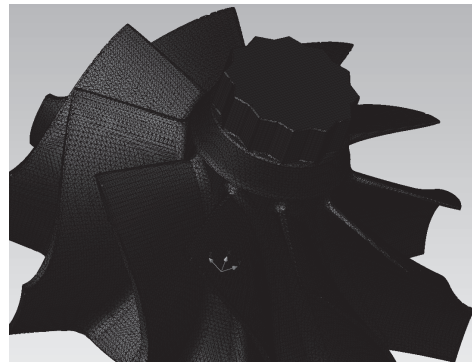
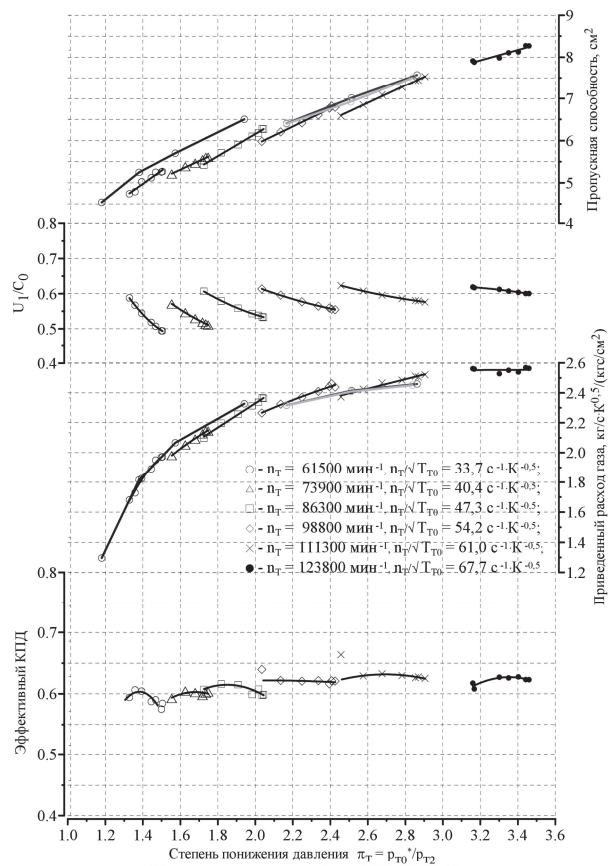


Рисунок 3. Улучшенная сетка на поверхности твердотельной геометрии



Характеристики турбины ТКР 80.05.12

$d_{T1} = 69,6 \text{ мм}$, $d_{T2} = 55,8 \text{ мм}$, $d_{T0} = 22 \text{ мм}$, $z = 10$, $F_T = 4+6\text{П см}^2$.

— CFD расчет при окружной скорости 250 м/с с грубой сеткой
 — CFD расчет при окружной скорости 450 м/с с грубой сеткой
 — CFD расчет при окружной скорости 450 м/с с улучшенной сеткой на поверхности твердотельной геометрии

Рисунок 4. Сравнение результатов CFD расчета с экспериментальной характеристикой

Расчет производился на компьютере Intel(R) Core(TM) i7 CPU 950 @ 3.07GHz с оперативной памятью 6 ГБ. Расчетное время одной точки при решении на грубой сетке составило 4 часа, на улучшенной сетке 12 часов. Объем оперативной памяти, затраченной на расчет, составил 1,7 Гбайта и 5 Гбайтов соответственно.

Сравнение результатов CFD расчета с экспериментальной характеристикой представлено на рисунке 4. Следует отметить, что результаты CFD расчета отличаются от экспериментальных характеристик не более чем на 1 %. При этом расчет на улучшенной сетке совпал с расчетом на грубой сетке. Улучшение сетки на поверхности твердотельной геометрии не дало качественного (существенного) изменения результатов вычислений, при этом время расчета увеличилось в 3 раза. В связи с этим можно сделать заключение, что CFD расчет турбинной ступени можно выполнять на грубой сетке без существенного ухудшения точности совпадения экспериментальных и расчетных данных.

При расчете наддува двигателя важным этапом расчетов является также определение расходной характеристики турбины [1], [2], [3]. В автотракторной области, как правило, используются турбокомпрессоры с турбинами центростремительного типа с безлопаточными сопловыми аппаратами, поэтому элементом, определяющим расход, который протекает через турбину, является улитка [5].

На данном этапе развития науки и техники существуют различные одномерные методики проектирования улиток с учетом потерь на трения, а также с учетом потерь, связанных с вторичными течениями, которые возникают при профилировании сечения улитки сложной формы и поворотом потока. К сожалению, эти методы не могут учесть сложную пространственную структуру потока, протекающего в улитке. Численное решение трехмерного вязкого течения позволяет определить места с повышенными потерями и увидеть распределения параметров на входе в рабочее колесо турбины [7], которые влияют как на эффективность процесса расширения газа в турбине, так и на его расход.

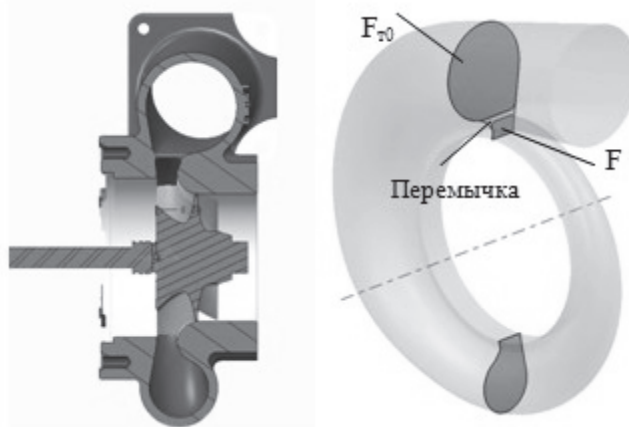


Рисунок 5

На рисунке 5 показана геометрия расчетной модели рабочего колеса турбины с улиткой. Здесь также показаны характерные площади, которые рассматривались в процессе оптимизации проходных сечений улитки (F_{T0} – площадь, определяющая расход газа через турбину, F – площадь под языком улитки). В результате расчетов исходной геометрии улитки была выявлена застойная зона под языком улитки. Укрупненно картина течения на входе в рабочее колесо турбины в области застойной зоны показана на рисунке 2 (приведены радиальные скорости, определяющие расход, протекающий через турбину).

Полученная структура потока с неравномерными полями параметров по окружности рабочего колеса приводит к снижению эффективности турбины, а также уменьшению расхода рабочего тела через турбину.

В результате конструкторских и газодинамических проработок была выбрана геометрия с уменьшенной неравномерностью потока на входе рабочего колеса (рисунок 6, справа). Расход, протекающий через турбину в соответствующих точках, увеличился на 3% по срав-

нению с исходным вариантом. Это очень важно учитывать при согласовании турбокомпрессора с двигателем.

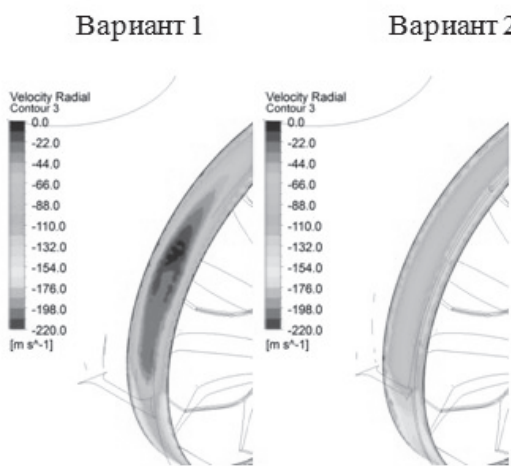


Рисунок 6

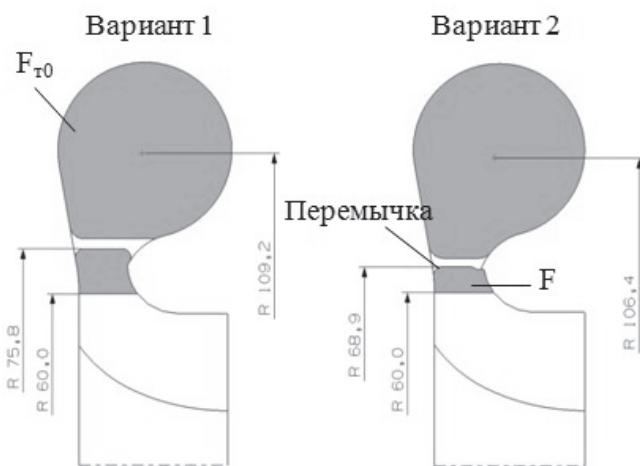


Рисунок 7

Оптимизация геометрии улитки проводилась путем изменения площади под языком улитки F , при этом площадь F_{T0} оставалась неизменной. Схемы двух вариантов улиток показаны на рисунке 7 (слева - вариант исходной геометрии, справа - после доработки). Изменение расходной характеристики турбины показано на рисунке 8.

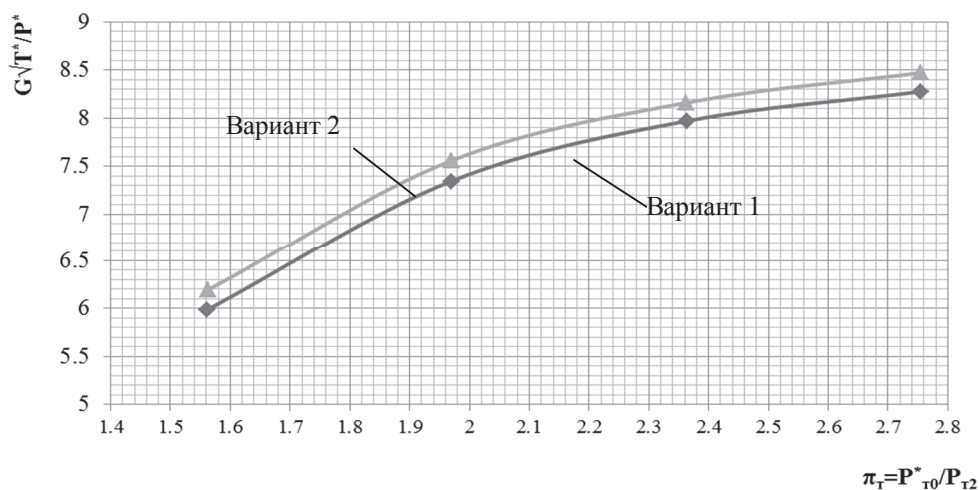


Рисунок 8

Таким образом, в результате проведенных расчетов показано, как важно правильно учитывать распределения параметров на входе в рабочее колесо турбины. Неверный учет потерь, а также структуры потока в улитке приводит к ошибке в определении расхода через турбину, что недопустимо при проектировании нового изделия. Использование трехмерных численных методов помогает учесть сложное течение газа в улитке и скорректировать геометрию, полученную в результате одномерного или двумерного проекторочного расчета.

Литература

1. Алямовский А.А. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике. СПб.:БХВ-Петербург, 2008-1040 с.
2. Алямовский А.А. Инженерные расчеты в SolidWorks Simulation. М.: ДМК Пресс, 2010-464 с.
3. Каминский В.Н., Григоров И.Н., Каминский Р.В., Сибиряков С.В. и др. Опыт разработки систем наддува двигателей КАМАЗ Euro-4. Журнал Автомобильных Инженеров № 4 (69) 2011, № 5(70) 2012, Издательский дом ААИ, Москва, 2011, 2012, с. 28-35, 16-17.
4. Каминский В.Н., Каминский Р.В. и др. Разработка программных продуктов в НПО «Турботехника» для проектирования систем наддува на примере двигателя Д-242 EURO-4. Сб.

трудов «V Международная научно-практическая конференции «Информационные и коммуникационные технологии в образовании, науке и производстве» Часть 2, Протвино, 2011г.415 с., с.312-313

5. Митрохин В. Т. Выбор параметров и расчет центростремительной турбины на стационарных и переходных режимах. М., «Машиностроение», 1974, 228 с.
6. Симсон А.Э., Каминский В.Н. Турбонаддув высокооборотных дизелей, М., Машиностроение, 1976.
7. Шерстюк А. Н., Зарянкин А. Е. Радиально-осевые турбины малой мощности. М., «Машиностроение», 1976, 208 с.

Информационные технологии – важнейший инструмент в создании современного производства автокомпонентов

д.т.н. проф. Каминский В.Н.

Университет машиностроения, НПО «Турботехника»

turbo@kamturbo.ru

Аннотация. Статья содержит краткое обобщение результатов научно-технических разработок и их практического воплощения в производстве турбокомпрессоров и других агрегатов на предприятии НПО «Турботехника».

Ключевые слова: турбокомпрессор, информационные технологии, автоматизация, расчетный комплекс

Уровень развития машиностроительной отрасли, в частности двигателестроения, во многом определяет уровень экономики страны в целом. В современных условиях мирового рынка, с учетом высокой конкурентоспособности иностранных производств, необходимости соблюдения жестких норм по качеству и экологии, создание современных отечественных производств является сложной, многоплановой и безотлагательной задачей. На всех этапах ее решения важнейшим инструментом служат информационные технологии.

Опыт НПО «Турботехника» является примером создания, становления и развития отечественного производства. Почти четверть века предприятие занимается разработкой, проектированием и производством турбокомпрессоров и других систем и агрегатов двигателей, а также разработкой и созданием контрольно-исследовательских стендов для агрегатов наддува. На предприятии создана, действует и непрерывно совершенствуется единая информационная структура предприятия (рисунок 1).

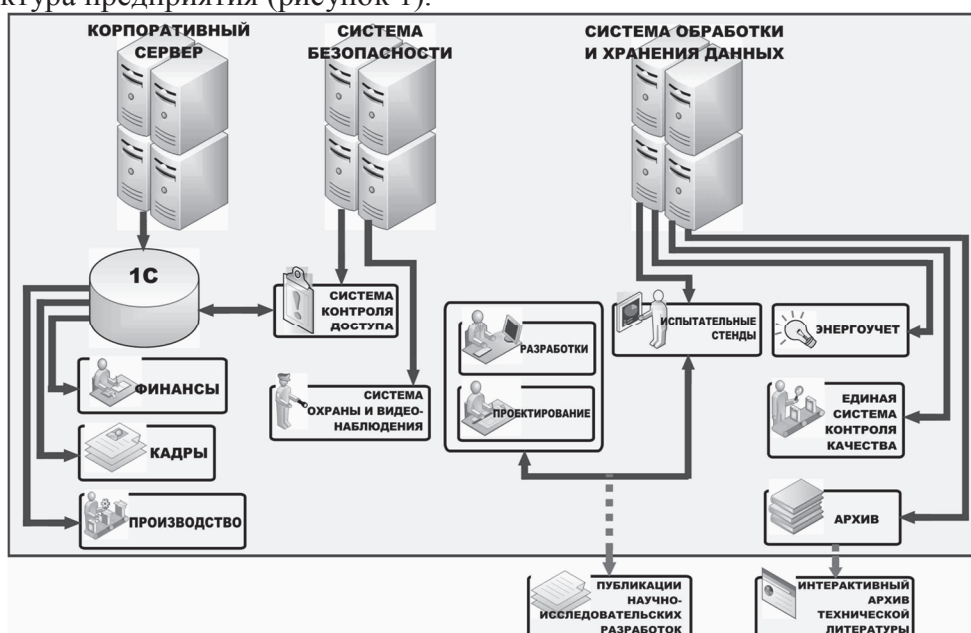


Рисунок 1. Единая информационная структура НПО «Турботехника»