

Рис. 1. Зависимость $\eta_u=f(\rho_{cm}; u_1/c_s)$, полученная для турбины для регистровой системы наддува дизеля Д21-26ДГ

На диаграмме наносятся линии ограничивающие области, существование турбин в которых невозможно по прочностным, технологическим и другим соотношениям.

Указанные ограничения практически однозначно определяют значения степени реактивности и параметра нагруженности, позволяющие получить высокий КПД при существующих ограничениях (рис. 1).

Например, из рис. 1 видно, что оптимальная, с точки зрения достижения максимального значения КПД, при имеющихся ограничениях значение параметра нагруженности, находится в интервале $0,695...0,71$, а значение степени реактивности превышает $0,47$. При этом видно, что КПД турбины из-за существующих ограничений не может быть выше, чем $0,861$

УДК 621.452

ОПЫТ ТЕСТОВОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА CFTurbo НА КАФЕДРЕ ТЕОРИИ ДВИГАТЕЛЕЙ СГАУ

Батурин О.В.

Самарский государственный аэрокосмический университет

EXPERIENCE IN TEST OPERATION OF SOFTWARE SYSTEM CFTurbo AT THE ENGINE THEORY DEPARTMENT OF SSAU

Baturin O.V. The paper describes the results of the test operation of turbomachinery design program CFTurbo at the chair of theory of engine for flying vehicle of SSAU. The strengths and weaknesses of the program identified in the course of solving the test problems are described in detail.

Относительно недавно на российском рынке появилась программа *CFTurbo* предназначенная для проведения проектного расчета турбомашин. Программа позволяет проектировать лопаточные машины с нуля, отталкиваясь от основных исходных данных, таких как расход рабочего тела, степень сжатия, частота вращения и т.п. В *CFTurbo* производится газодинамический расчет рабочего колеса турбомашин по линиям тока, на основании которого осуществляется его профилирование в меридиональной плоскости и

в контрольных сечениях лопатки. Проектирование может проводиться в автоматическом режиме (уже после ввода основных исходных данных, программа предлагает некий вариант турбомашин, с наилучшим по ее мнению сочетанием параметров), либо в интерактивном с участием пользователя. Расчет проводится с помощью одно и двухмерных расчетных методик. Конечными результатами работы в *CFTurbo* являются:

— 3D модель рабочего колеса, которая может быть в дальнейшем использована для

расчетов на прочность или проработки конструкции;

— область течения рабочего тела, которая может быть передана в CFD программу для изучения структуры потока в спроектированном венце;

— результаты газодинамического расчета турбомашин в проектной точке;

— характеристика турбомашин, полученная с помощью упрощенных расчетных методик.

Программа допускает также загрузку и модернизацию существующей геометрии с помощью универсальных форматов, таких как *IGES*, *DXF* и т.п.

Текущая версия программы *CFTurbo 8.2* поддерживает проектирование турбин, компрессоров, насосов и промышленных вентиляторов радиального или диагонального типа. В скором времени ожидается выход релиза 9, где по заверению разработчиков, будет доступно проектирование осевых турбомашин.

Следует отметить, что на российском рынке коммерческих программных продуктов *CFTurbo* практически не имеет аналогов. Единственная известная автору программа проектирования турбомашин аналогичного класса *ConceptNREC* хотя и обладает существенно большими возможностями, очень сложна в освоении и имеет высокую цену.

В рамках опытной эксплуатации на кафедре ТДЛА СГАУ в программе *CFTurbo* были спроектированы две тестовые турбины отличающиеся перепадом давления и расходом и центробежный компрессор со степенью сжатия 4. Полученный опыт позволил выявить слабые и сильные стороны программы.

Главным достоинством программы является ее простота, наглядна и потребляет малые ресурсы компьютера. Кроме того программа имеет подробную справку с информацией о работе в *CFTurbo* и физических моделях примененных в ней. Программа позволяет описывать рабочий процесс турбомашин большим сочетанием разных размерных и безразмерных переменных. Однако методики, лежащие в основе программы, основаны на опыте западной школы турбомашиностроения и зачастую непонятны российским проектировщикам вследствие того, что в русскоязычной литературе они не описаны. Параметры же, которые обычно применяются для описания рабочих процессов турбины в отечественной практике, такие как параметр нагруженности Y_m , степень реактивности ρ_{cm} и т.п. недоступны в *CFTurbo*. Данное обстоятельство осложняет работу с

программой и требует специальной подготовки. Пожалуй, это является наиболее крупным выявленным недостатком программы.

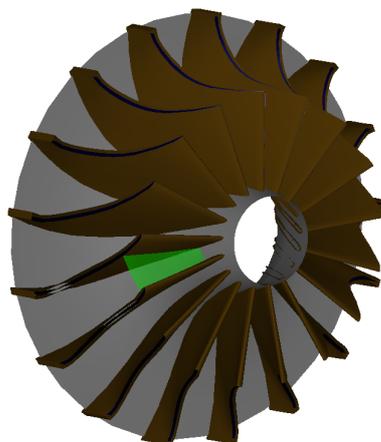


Рис. 1 Рабочее колесо радиальной турбины, спроектированное в программе *CFTurbo*

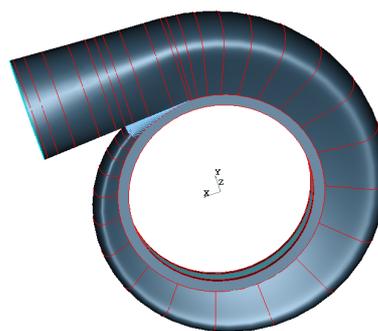


Рис. 2. Улитка, спроектированная в программе *CFTurbo*

К другим важным достоинствам программы можно отнести следующее:

1. *CFTurbo* имеет удобный в работе модуль профилирования рабочих колес радиальных турбин, который позволяет для получения рациональной формы варьировать практически всеми мыслимыми геометрическими размерами от основных диаметров, до радиусов кромок.

2. *CFTurbo* является одной из немногих программ на коммерческом рынке который имеет полноценный модуль проектирования улиток радиальных машин. Он позволяет проектировать спиральные сборники всех известных форм поперечных сечений.

3. *CFTurbo* позволяет на основании одно и двухмерного расчета в первом приближении получить характеристику турбомашин. Причем в программе имеется

возможность вносить поправочные коэффициенты, которые по результатам эксперимента или CFD расчета позволят приблизить характеристику к реальной.

4. Файл базы данных *CFTurbo* имеет простую текстовую структуру. В нем все переменные прописываются в явном виде. Данное обстоятельство позволяет легко вписать *CFTurbo* в процесс оптимизации с помощью специальных программ, например *IOSO*.

5. В программе *CFTurbo* реализован качественный импорт результатов в большинство распространенных CAD и CAE про-

грамм для их дальнейшего применения, например, в структурном или CFD расчетах.

Резюмируя сказанное выше можно заключить, что *CFTurbo* является программой предназначенной для проектирования высокоэффективных турбомашин в режиме диалога с пользователем. Причем упор в ее создании создан именно на диалог с пользователем. Работа в программе удобна, проста. Это позволяет проектировщику всецело сосредоточиться на создание высокоэффективной турбомашин. Также важным является динамическое развитие программы, что позволит ей догнать конкурентов и занять достойное место на рынке.

УДК 621.431.75

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ ЛОПАТОК ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Никулин А.С., Попов Г.М.

ООО “Аксистек”, г. Санкт-Петербург,
Самарский государственный аэрокосмический университет

GAS TURBINE ENGINE BLADE COOLING SYSTEM SIMULATION

Nikulin A.S., Popov G.M. The subject of the article is the innovative methods of gas turbine engine blade cooling channel simulation with the use of 1D code. Classical 3D calculation methods and 1D methods are compared.

Современные газотурбинные двигатели работают на предельных параметрах и в очень жестких условиях. Этот факт предьявляет высокие требования к проектированию и расчету всех узлов такой установки ибо малейший просчет, неточность или учет каких-либо локальных особенностей может привести к разрушению турбоустановки и более серьезным последствиям. Стоимость таких ошибок с каждым годом становится все выше и выше, а сложность расчетов возрастает многократно.

Одним из самых интересных и сложных, с точки зрения моделирования, является расчет охлаждения лопаток турбоустановки. Классический способ расчета этого узла – нахождение расходов охлаждающего агента экспериментально, после приближенного эмпирического расчета. С появлением мощных программных средств трехмерного газодинамического моделирования стали практиковаться расчеты сопряженных задач. Однако такой расчет требует огром-

ных вычислительных мощностей, существенных временных затрат и высокой квалификации расчетчика. В связи с этим продолжают попытки найти компромисс между точностью, скоростью и простотой расчета.

Одним из путей является связка трехмерного газодинамического расчета внешнего обтекания лопатки с одномерным кодом. 1D код позволяет получить температурное распределение и распределение расходов охлаждающего агента по каналам лопаток. Такая постановка позволяет значительно ускорить проведение расчетов, практически не теряя в точности.

В качестве примера одномерного кода, позволяющего осуществить подобные операции можно привести программный комплекс Flowmaster. Данный пакет обладает открытым интерфейсом, что позволяет связывать его практически со всеми пакетами CFD и получать устойчивую связку для работы по передачи данных в обе стороны.