

FlowVision — современный инженерный инструмент в исследовании газодинамических характеристик компрессоров

Сергей Барашков, Владимир Шмелев

Интенсивно развивающаяся CAE-система нового поколения FlowVision находит широкое применение как в научно-исследовательских работах, посвященных изучению вихревой динамики жидкости и газа, так и в сугубо практических приложениях — проектных работах, связанных с созданием устройств, где рабочим веществом является жидкость или газ.

Программный комплекс FlowVision в настоящее время широко используется для решения прикладных задач газовой динамики. В данной статье рассматривается опыт, полученный в ходе совместных работ ОАО ПКО «Теплообменник» и ООО «ТЕСИС», по применению комплекса для расчета и анализа газодинамических характеристик компрессоров.

Обсуждаются возможности FlowVision по постановке задачи расчета движения газа в проточной части компрессора, по применению специальных моделей течения в пространстве между лопатками колеса и корпусом компрессора и скользящих сеток, а также по выбору рациональных начальных и граничных условий.

Рассказывается о возможностях комплекса по представлению и анализу результатов расчета — как интегральных характеристик течения (включая суммарные силы и моменты), действующих

на агрегаты компрессора, так и распределения значений физических переменных по объему компрессора. Демонстрируются возможности программного комплекса FlowVision в части исследования качественной картины движения газа в проточной части с помощью анимации.

Подготовка геометрии компрессора в CAD-системе. Импорт модели в FlowVision

Подготовка геометрии в CAD-системе

FlowVision не имеет собственного геометрического процессора, поэтому геометрия компрессора должна импортироваться из CAD-системы. Пример геометрии компрессора, созданного в CAD-системе Unigraphics, приведен на рис. 1.

Расчет течения газа через компрессор относится к задачам внутреннего течения, поэтому, если пользователя не интересует теплообмен между корпусом компрессора и рабочим веществом, в FlowVision достаточно импортировать геометрию проточной части, то есть объем, ограниченный стенками компрессора. При этом внутренний объем компрессора должен быть представлен как твердотельная модель. Для создания твердотельной модели проточной части в CAD-системе нужно, «заглушив» выходное и входное сечения компрессора, средствами программы (например, при помощи булевых операций) выделить ее объем.

Следующий этап подготовки геометрии обусловлен спецификой решения задачи и заключается в разделении расчетных областей улитки и подвижного колеса. На этом этапе необходимо

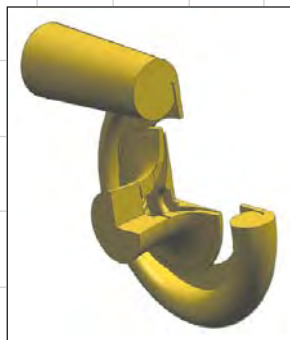


Рис. 2. Конечный вид проточной части компрессора с разделенными расчетными областями

линейчатой поверхностью, проходящей через диффузор компрессора, вырезать область колеса с входным патрубком и сдвинуть ее, чтобы она не соприкасалась с областью улитки. В результате получим твердотельную модель проточной части, которая готова к импорту в FlowVision (рис. 2).

Перед сохранением модель необходимо конвертировать в формат фасеточного представления геометрии VRML (Virtual Reality Modeling Language) или STL (STereo Lithography format). При конвертации пользователь должен задать ряд параметров, которые определяют точность представления поверхности совокупностью фасеток (треугольников). Так, например, в Unigraphics процесс конвертации реализуется через диалоговое окно, приведенное на рис. 3.

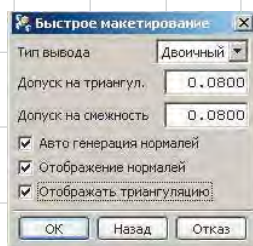


Рис. 3. Диалог создания фасеточной модели

Сергей Барашков

Заместитель начальника расчетного отдела
ОАО ПКО «Теплообменник»
(г. Нижний Новгород)

Владимир Шмелев

Руководитель центра технической поддержки программных продуктов
ООО «ТЕСИС»
(г. Нижний Новгород)

Импорт в FlowVision

Перед импортом геометрии проточной части компрессора в FlowVision в диалоговом окне «Предустановки» необходимо задать настройки препроцессора, главной из которых является значение допуска (рис. 4). Значение допуска должно соответствовать допуску (толерантности), с которым была создана в CAD-системе твердотельная модель.

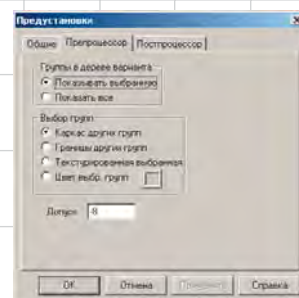


Рис. 4. Настройка препроцессора

Импорт геометрии в FlowVision задается командой «Создать» из меню «Файл». После этого геометрия модели из выбранного файла будет импортирована в расчетный вариант, проанализирована, разбита на поверхности и замкнутые подобласти. Структура нового варианта появится в окне препроцессора, а изображение геометрии — в графическом окне.

Если в процессе импортирования были обнаружены ошибки в геометрической модели, то они будут показаны в препроцессоре



Рис. 1. Геометрия компрессора

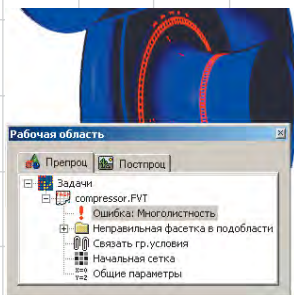


Рис. 5. Диагностика ошибок в геометрии

и графическом окне варианта красным цветом (рис. 5).

К ошибкам приводят ситуации, когда в модели присутствуют ребра, принадлежащие меньше или больше чем двум фасеткам, что приводит либо к открытым граням, либо к «многолиственности». Вариант с ошибками в модели рассчитывать нельзя. Следует поправить геометрию, а затем вновь произвести ее импортирование.

Мощным инструментом по исправлению возникающих при экспорте из CAD-систем ошибок является входящий в состав программного комплекса модуль Flow3D Vision. Не вдаваясь в подробное описание этого модуля, отметим, что Flow3D Vision может исправлять ошибки в параметрических (IGS, PRT, X_T) и фасеточных (WRL, STL) форматах. Откорректированная модель при этом сохраняется в специальном формате, доступном для чтения из FlowVision.

Работа в препроцессоре

Подготовка задачи к решению

После импорта твердотельной модели проточной части компрессора пользователь, используя опции дерева препроцессора (рис. 6), проводит определение расчетных областей которые в ходе анализа геометрии выявила программа. Для этого, выделяя каждую область с помощью мыши в окне препроцессора и наблюдая за активизацией в графическом окне соответствующей ей геометрической области, пользователь выполняет определение расчетных областей.

Первая область, в нашем случае имеющая название «Подобласть#1», соответствует объему

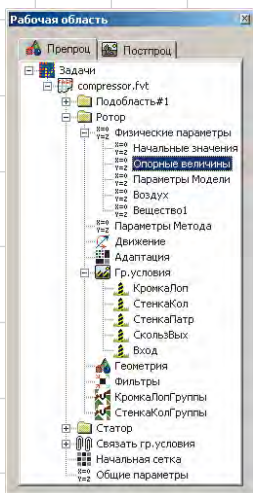


Рис. 6. Дерево препроцессора

колеса компрессора. Вторая, с названием «Ротор», — проточной части между корпусом и колесом, включая входной патрубок. В третью, под названием «Статор», входит проточная часть улитки с выходным патрубком.

Определив расчетные области, переходим к постановке задачи, которая состоит из нескольких этапов.

Выбор модели расчета

Выбор модели расчета — один из ключевых этапов решения всей задачи. Пользователь для каждой расчетной области задает модель расчета. В самом начале работы все области, определенные программой, имеют статус нерасчетных.

Применительно к нашей задаче область с названием «Подобласть#1» оставляем нерасчетной. Областям с названием «Ротор» и «Статор» ставим в соответствие модель расчета с названием «Полностью сжимаемая жидкость». Выбор этой модели в нашем случае обусловлен сверхзвуковым течением газа на периферии колеса из-за значительной скорости его вращения. Стандартный набор уравнений для рабочей области «Ротор» дополним «Моделью зазора». Эту модель мы применим к щели между торцевыми кромками лопаток колеса и корпусом компрессора.

Для выполнения описанных выше действий используем диалоговое окно «Выбор модели» (рис. 7), которое вызывается ко-

Модели расчета

FlowVision поддерживает следующий набор расчетных моделей.

Базовые модели — моделирование движения однородной жидкости (газа) при различных скоростях с учетом эффектов сжимаемости, турбулентности и теплопереноса:

- твердый материал. Моделирование теплопереноса и диффузионных процессов в твердом теле;
- ламинарная жидкость. Моделирование течений газа (жидкости) при малых и умеренных числах Рейнольдса при небольших изменениях плотности (приближение Буссинеска);
- несжимаемая жидкость. Моделирование течений газа (жидкости) при больших (турбулентных) числах Рейнольдса и при малых изменениях плотности;
- слабо сжимаемая жидкость. Моделирование течений газа при дозвуковых числах Маха и любых изменениях плотности;
- полностью сжимаемая жидкость. Моделирование течений газа при любых числах Маха (до-, транс-, сверх- и гиперзвуковые течения).

Специальные модели — моделирование движения жидкости (газа) при учете дополнительных физико-химических эффектов, характерных для специальных приложений:

- пористая среда. Моделирование течения газа при дозвуковых числах Маха и любых изменениях плотности с учетом пористости среды;
- горение. Моделирование процессов сжигания различных газовых смесей и определение выбросов оксидов азота;
- свободная поверхность. Моделирование двухфазных течений со свободной поверхностью.

Дополнительные модели:

- радиационный теплоперенос. Моделирование количества тепла, переданного от одного тела к другому за счет излучения;
- зазор. Моделирование сопротивления, создаваемого узким каналом;
- частицы. Моделирование двухфазных течений с твердыми или жидкими частицами.

Выбирая расчетную модель, пользователь определяет класс решаемых задач и доступный для этого класса полный перечень физических процессов. С учетом специфики решаемой задачи из модели можно или исключить не интересующие пользователя, или добавить в нее недостающие физические процессы. Таким образом пользователь формирует необходимый для решения его задачи список физических процессов.

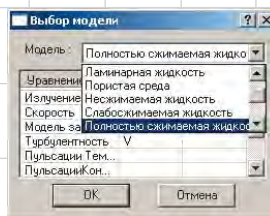


Рис. 7. Выбор расчетной модели

мандой «Изменить модель...» из всплывающего меню каждой расчетной области.

Задание физических параметров

На этапе задания физических параметров пользователь, используя соответствующие опции «Препроцессора», для каждой расчетной области задает опорные вели-

чины (рис. 8), которые отражают внешние условия. Для нашего случая это значения температуры и давления на входе в компрессор.

Далее в диалоговых окнах «Начальные значения» и «Параметры модели» определяются соответствующие величины. В окне

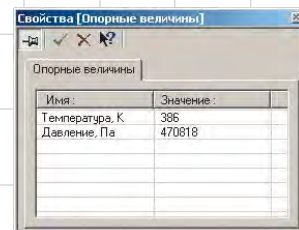


Рис. 8. Задание опорных значений

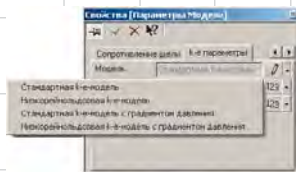


Рис. 9. Задание модели турбулентности

«Параметры модели» на вкладках «k-ε-параметры» и «Сопротивление щели» выбираются модели турбулентности (рис. 9) и зазора и задаются их параметры. В этом же окне на вкладке «Общие» пользователь уточняет диапазоны изменения рассчитываемых переменных.

Окно «Начальные значения» позволяет определить в каждой расчетной области значения давления и температуры в приращении относительно опорных величин, а также характеристики турбулентности (пульсация и масштаб турбулентности) и значения компонентов скоростей по осям координат в начальный момент времени (рис. 10).

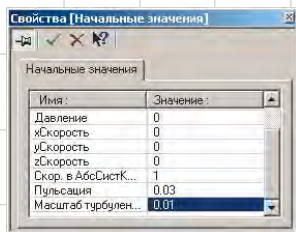


Рис. 10. Задание начальных значений

Заключительным этапом формирования физических параметров в задаче является задание свойств рабочего вещества, которое проводится выбором из всплывающего меню опции «Вещество» команды — либо «Загрузить из базы», либо «Свойства».

В первом случае пользователю предлагается воспользоваться имеющейся в программе базой данных различных веществ (рис. 11). В этом случае все необ-

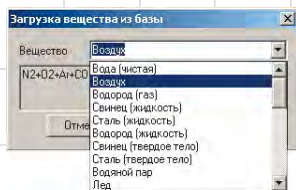


Рис. 11. Задание рабочего вещества из базы данных

ходимые для расчета физические характеристики рабочего вещества будут загружены из базы данных. В нашей задаче мы воспользуемся этим вариантом, выбрав из базы данных в качестве рабочего вещества обычный воздух.

Во втором случае, если интересующего рабочего вещества в базе данных нет, пользователь сам может ввести его характеристики либо численными значениями (рис. 12), либо другими предлагаемыми программой вариантами.

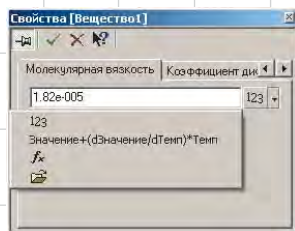


Рис. 12. Задание физических характеристик рабочего вещества пользователем

Задание характеристик вращения колеса

Расчет движения газа относительно вращающегося колеса в FlowVision проводится во вращающейся вместе с колесом расчетной сетке. Для задания характеристик вращения необходимо во всплывающем меню опции «Дви-

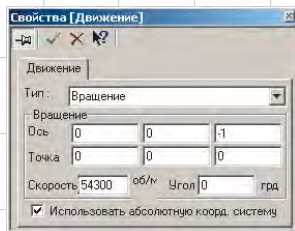


Рис. 13. Задание характеристик вращения расчетной области

жение» расчетной области «Ротор» выбрать команду «Свойства» и в открывшемся диалоговом окне (рис. 13) задать:

- тип движения — «Вращение»;
- направление вектора угловой скорости («Ось»);
- координаты точки, находящейся на оси вращения («Точка»);
- величину угловой скорости («Скорость»);
- начальный угол поворота («Угол»).

Дополнительно установим флажок в окошке «Использовать

База данных веществ

База данных программы FlowVision содержит обширный, постоянно расширяющийся набор веществ, в том числе и в их различных агрегатных состояниях (газ, жидкость, твердое тело). На данный момент, с учетом разных агрегатных состояний, в ней представлено более тридцати веществ.

Для каждого компонента имеется набор физических свойств, которые представлены в виде зависимости от температуры и давления. Перечень физических характеристик вещества определен кругом расчетных моделей программы.

Дополнительно для газообразных состояний вещества в базе данных определен закон, который устанавливает соотношения между плотностью, давлением и температурой (по умолчанию принят закон идеального газа).

База данных является открытой, то есть пользователь, используя средства программы, может дополнить ее своими веществами.

абсолютную координатную систему», что дает возможность вести описание задачи в неподвижной системе координат.

Определение и задание граничных условий

На этом этапе пользователь определяет типы граничных условий и задает их на конкретных поверхностях. В нашей задаче в обеих расчетных областях определим четыре типа граничных условий:

- вход — входное сечение входного патрубка;
- выход — выходное сечение патрубка улитки;
- скользящая поверхность — граница между расчетными областями «Ротор» и «Статор»;
- стенка — колесо и корпус компрессора.

В опции «Граничные условия» препроцессора каждой расчетной

области, используя контекстное меню опций, создаем указанные типы граничных условий. Далее, вызывая диалоговое окно каждого граничного условия через его контекстное меню, задаем его характеристики.

В качестве граничных условий на входном сечении патрубка компрессора (рис. 14) введем условие равенства абсолютных значений температуры и давления воздуха опорным величинам (равенство нулю приращений), а турбулентной энергии и масштаба турбулентности — их начальным значениям в расчетных областях.

В качестве граничных условий на выходе из улитки компрессора возьмем «Нормальную массовую скорость», определяемую как отношение заданного расхода воздуха к его площади (рис. 15). Отрицательный знак величины при

FlowVision
надежный инструмент для моделирования течений любой сложности.

FlowVision – программный комплекс инженерного анализа по вычислительной аэро- и гидродинамике.

Компания «ТЕСИС»
127083, Москва, ул. Юннатова, 18, оф. 706
т/ф +7(095) 212-4422, 212-4262
www.flowvision.ru www.thesis.com.ru
flowvision@thesis.com.ru

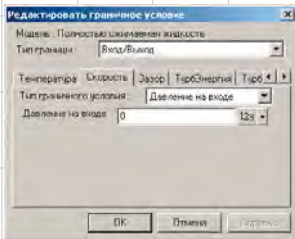


Рис. 14. Граничное условие «Вход»

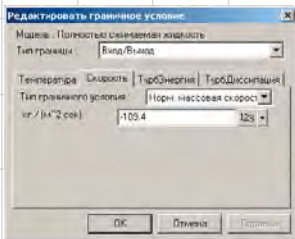


Рис. 15. Граничные условия «Выход»

этом означает, что воздух через данное граничное сечение выходит из расчетной области. Температура, турбулентная энергия и масштаб турбулентности при этом определяем как «Нулевой поток», что означает обнуление градиента величины по нормали к поверхности границы.

Следует отметить, что для рассматриваемой задачи граничные условия входа и выхода можно поменять местами, если в качестве опорных значений принять условия на выходе из компрессора.

ра. Возможно также задание значений перепада давлений между входом и выходом или задание на одной из границ скорости газа.

Поскольку проточная часть компрессора была разделена на две расчетные области, которые к тому же были разнесены в пространстве, в каждой области появилась цилиндрическая поверхность. На этих поверхностях решения из обеих областей должны совпадать. Применим граничное условие «Скользящая поверхность», цель которого и заключается в связывании расчетных областей, к выходной скользящей поверхности области «Ротор» и входной скользящей поверхности «Статор». Установление связи между расчетными областями проведем, используя команду «Создать» контекстного меню опции «Связать граничные условия» препроцессора. Результат создания этой связи закрепляется по-

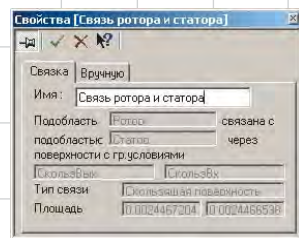


Рис. 16. Связь скользких поверхностей

явлением компонента «Связь ротора и статора» в вышеуказанной опции. Свойства этого компонента (рис. 16) показывают, какие расчетные области связаны, через какие поверхности и какова вычисленная площадь последних.

Граничное условие «Стенка», которое мы применим к корпусу компрессора, отражает особенности движения газа около твердой поверхности. Параметры этого условия в программе могут быть уточнены пользователем как за счет применения условия «Стенка, логарифмический закон», задающего свойства пограничного слоя, так и за счет введения шероховатости поверхности, что также влияет на характеристики пограничного слоя. В нашем случае — на всей поверхности компрессора в обеих расчетных областях применим условие «Стенка, логарифмический закон» с нулевой шероховатостью (рис. 17).

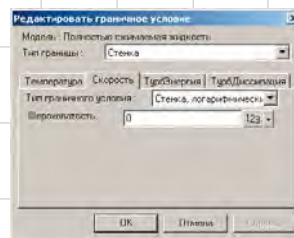


Рис. 17. Граничное условие «Стенка»

Остановимся на особенностях применения граничного условия «Стенка» к поверхности компрессора в расчетной области «Ротор», учитывая, что описание задачи ведется в абсолютной системе координат, а также то, что в этой области применяется модель зазора. В диалоговом окне граничного условия «Стенка» в этом случае появляется дополнительная закладка «Зазор», отражающая применение в этой области специальной модели. В этой закладке пользователь для корпуса компрессора и выделенных в отдельную группу торцевых кромок лопаток колеса выбирает вариант «Зазор» (рис. 18).

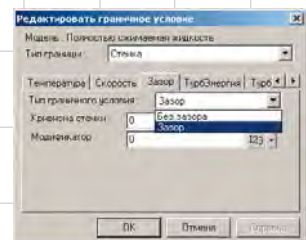


Рис. 18. Применение модели «Зазор»

Описание задачи ведется в абсолютной системе координат, что задается в закладке «Скорость» варианта «Вращающаяся стенка, логарифмический закон» для всех вращающихся поверхностей. ►

Продолжение следует

НОВОСТИ

Инженерные центры РАО ЕЭС выбрали комплексные решения CSoft

5 ноября компания CSoft (www.csoft.ru), специализирующаяся на предоставлении комплексных решений для автоматизации проектирования, признана победителем конкурса на право заключения договора комплектной поставки систем автоматизированного проектирования (САПР) для нужд инженерных центров ОАО РАО «ЕЭС России».

«Это серьезные инвестиции, требующие взвешенного подхода, — отметил генеральный директор организатора конкурса ОАО «Южный инженерный центр энергетики» С.В.Инков. — Поэтому решение о победе CSoft принималось на основании детальной юридической, коммерческой и технической экспертизы поданных предложений, с привлечением экспертов инженерных центров и ОАО РАО «ЕЭС России»».

В конкурсной заявке компания CSoft не только предложила программное обеспечение, продемонстрировав на конкретных примерах преимущества его применения, но и сформулировала концепцию комплексной автоматизации, объединяющую все разделы проектирования (21 специальность). Решения CSoft масштабируемы, соответствуют нормам проектирования, действующим в Российской Федерации, отвечают требованиям к организации совместной и параллельной работы над проектом.

Объем комплектной поставки САПР составит около 1000 рабочих мест для проектных институтов, входящих в Южный, Уральский, Сибирский и Поволжский инженерные центры ОАО РАО «ЕЭС России».

Компания Consistent Software объявляет о выпуске новой версии Project Studio^{CS} Электрика

Компания Consistent Software объявила о выпуске новой версии САПР Project Studio^{CS} Электрика, обеспечивающей автоматизацию проектирования системы электроснабжения строительных объектов различного назначения.

В Project Studio^{CS} Электрика 3.0 модули «Освещение» и «Сила» предыдущих версий объединены в единый модуль, что позволяет осуществлять проектирование осветительных и силовых сетей одновременно, с использованием одинаковых мастеров. Добавлен ряд новых возможностей и произведена доработка существующего функционала с учетом пожеланий пользователей. Значительно пересмотрена схема создания и редактирования распределительных устройств (РУ) в базе аппаратов. Введена концепция «базы проекта» и «общей базы» с возможностью обмена данными между ними.

Предлагаемые системой Project Studio^{CS} Электрика инструменты и предоставляемая техническая поддержка разработчиков позволяют:

- повысить производительность труда и сократить сроки проектирования;
- уменьшить число ошибок, неизбежных при неавтоматизированном проектировании, или полностью исключить их;
- сократить расходы на строительство и эксплуатацию объекта.

Внимание! Пользователям предыдущих версий системы предоставляется бесплатное обновление через дилерскую сеть Consistent Software.