

Виктор МЕЛЬНИК, Василий ЗИВЕНКО, Сергей ЛУКЬЯНЧИКОВ
г. Николаев

ГРАФИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ФОТО-ИЗОБРАЖЕНИЯ РАДУЖНОЙ ОБОЛОЧКИ ГЛАЗА

Данная работа является программным обеспечением для анализа и обработки радужной оболочки глаза, реализованным в среде программирования MS Visual Basic.

Результатом разработки является программное обеспечение (ПО), которое позволяет проводить различные операции над фото-изображением и делать специальные подсчеты. ПО может хранить все результаты в отдельном информационном файле для дальнейшего занесения в базу данных.

Ключевые слова: анализ фотоизображения, компьютерная-иридодиагностика, иридооскоп, идентификация личности, фотокамера, программирование, обработка фотографических снимков, радужная оболочка глаза.

Стаття надійшла до редколегії 01.03.2016

УДК 514.8

Всеволод МИХАЙЛЕНКО

г. Киев

Сергей УСТЕНКО

г. Николаев

ustenko.s.a@gmail.com

РОЛЬ ПРИКЛАДНОЙ ГЕОМЕТРИИ В ПОВЫШЕНИИ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТУРБОМАШИН

Определяется роль прикладной геометрии в решении проблемы, связанной с повышением эффективности турбомашин, широко применяемых в транспортной энергетике, различных отраслях промышленности. Установление этапов решения задачи оптимизации геометрических параметров лопаточных аппаратов турбомашин (построение геометрических моделей, формирование целевой функции, оптимизация параметров), базирующаяся на газодинамическом расчете пространственного течения вязкого рабочего вещества.

Ключевые слова: прикладная геометрия, эффективные показатели, турбомашин, лопаточный аппарат, геометрические параметры.

Эффективность турбомашин (турбин и лопаточных компрессоров осевого, радиального, осерадиального и диагонального конструктивного оформления) в значительной мере обуславливается геометрическим совершенством лопаточных аппаратов их проточных частей. Поэтому представляется вполне целесообразным использовать достижения прикладной геометрии и компьютерной графики, особенно в части моделирования и визуализации плоских и пространственных обводов, при создании высокоэффективных лопаточных аппаратов турбомашин.

Отметим, что несмотря на успехи, достигнутые в последние годы в газотурбостроении в деле повышения КПД компрессоров и турбин газотурбинных двигателей, тем не менее существуют резервы дальнейшего повышения эффективных показателей газовых турбомашин, применяемых в транспортной и стационарной энергетике. Данное утверждение базируется на возможности использования успехов прикладной геометрии в плане моделирования кривых линий и поверхностей, которые могут применяться при формировании проточных частей компрессоров и турбин, а также вычислительной гидродинамики, более известной в литературе по ее аббревиатуре CFD, происходящей от английского выражения «computational fluid dynamics». Применительно к турбомашинам целесообразнее вместо термина гидродинамика использовать термин газодинамика, поскольку рабочее вещество в газотурбинных двигателях является сжимаемым, что существенно усложняет расчет распределения параметров потока вдоль тракта двигателя.

Появление CFD-программ, численно реализующих решение системы дифференциальных уравнений в частных производных, предложенных Навье-Стоксом для расчета трехмерного вязкого нестационарного течения рабочего вещества в любой области, в том числе в решетках турбомашин, значительно расширило возможности исследователей турбин и компрессоров и позволило ставить и решать задачи оптимизации геометрических параметров не только решеток профилей лопаток, но и их венцов. Разумеется, этому способствовали быстроразвивающиеся возможности вычислительной техники, что позволило проводить расчеты течения даже на персональных компьютерах.

Одним из таких CFD-продуктов является программный комплекс FlowVision российских разработчиков, обладающий рядом преимуществ по сравнению с аналогичными западными программами. Используя этот программный комплекс можно с достаточной для практики точностью рассчитывать параметры течения рабочего вещества в лопаточных аппаратах, определять потери энергии, обусловленные вязкостными эффектами, анализировать влияние геометрических параметров профилей лопаток на эффективность энергетических преобразований, происходящих в проточных частях турбомашин.

Объединение усилий прикладной геометрии и вычислительной газодинамики при создании турбин и компрессоров, несомненно, приведет к положительным результатам, поскольку позволит перейти к проектированию лопаточных аппаратов их проточных частей на базе оптимизации режимных и геометрических параметров.

Вопросам проектирования, исследования и совершенствования проточных частей лопаточных турбомашин посвящено достаточное количество публикаций как отечественных, так и зарубежных авторов [1–3 и др.]. Вместе с тем следует отметить, что основные работы по компрессорам и турбинам, в том числе и по их лопаточным аппаратам, выполняются специализированными научно-исследовательскими и проектно-конструкторскими организациями и результаты многих из этих работ является закрытыми. В литературе можно найти относительно несложные методики построения профилей плоских сечений лопаток и формирования на их основе поверхностей проточных частей, взаимодействующих с движущимся рабочим веществом – воздухом в компрессорах и продуктами сгорания жидкого или газообразного топлива в турбинах. Анализ литературных источников показал, что исследователи и проектанты турбомашин имеют определенные успехи в деле достижения достаточно высоких значений их эффективных показателей. Поэтому дальнейшие шаги в этом направлении требуют проведения широкого, более тщательного комплекса исследований, связанных с разработкой новых методов геометрического моделирования лопаточных аппаратов и профилей лопаток, применения современных достижений вычислительной газодинамики к изучению влияния различных факторов на эффективность профилей, межлопаточных каналов, решеток и ступеней, формируемых на их основе.

Целью настоящей статьи является определение роли прикладной геометрии в решении важной научно-технической и экономической проблемы, связанной с повышением эффективности турбомашин, широко применяемых в транспортной энергетике, различных отраслях промышленности; установление этапов решения задачи оптимизации геометрических параметров лопаточных аппаратов турбомашин (построение геометрических моделей, формирование целевой функции, оптимизация параметров), базирующаяся на газодинамическом расчете пространственного течения вязкого рабочего вещества. В некотором смысле процесс создания высокоэффективных проточных частей турбомашин можно считать итеративным, когда на каждом итерационном шаге осуществляется целенаправленное изменение значений геометрических параметров профилей лопаток и аэродинамических поверхностей, ограничивающих течение рабочего вещества. Направление движения в многомерном пространстве этих параметров обуславливается выбранным методом решения задачи оптимизации.

Развитие газотурбинных установок требует решения задач, связанных с дальнейшим повышением экономичности их турбин и компрессоров. Пути повышения эффективных показателей предложены в работе [4], где отмечено, что одним из основных резервов их повышения является проектирование проточных частей лопаточных машин с оптимальными значениями режимных и геометрических параметров.

Задача оптимизации параметров лопаточных аппаратов турбомашин разбивается на два этапа. На первом этапе поиск оптимальных геометрических и режимных параметров осуществляется с использованием упрощенной одномерной модели течения рабочего вещества в проточной части турбома-

шины. При этом используются экспериментальные данные по потерям энергии в неподвижных и вращающихся лопаточных венцах.

На втором этапе для нахождения оптимальных параметров применяется пространственная модель течения вязкого рабочего вещества, для чего создается трехмерная геометрическая модель проточной части турбомашин. В качестве целевой функции используются либо коэффициент потерь энергии, если рассматривается отдельная решетка профилей, либо КПД, если рассматривается ступень в целом. Поскольку расчет трехмерного течения требует больших затрат времени работы компьютера, то создать единый вычислительный процесс при решении оптимизационной задачи не представляется возможным. Поэтому реальная поверхность, описываемая целевой функцией в многомерном пространстве оптимизируемых параметров, заменяется полиномиальной моделью. Для минимизации затрат на определение коэффициентов этой модели можно воспользоваться трехуровневыми планами проведения, в данном случае численного, эксперимента, предложенными в работе [10]. Варьирование оптимизируемых параметров на трех уровнях, обозначаемых -1 , 0 и $+1$, позволяет в полиномиальной модели, кроме линейных, удерживать квадратичные и смешанные эффекты. Замена реальной гиперповерхности, описываемой целевой функцией, полиномиальной моделью второй степени вполне оправдана, поскольку зависимости коэффициентов потерь в решетках или КПД ступеней имеют пологий характер. Расчеты показали, что полиномиальные модели адекватны изучаемым явлениям.

В свете изложенного решение задачи оптимизации параметров турбомашин на втором этапе может быть представлено в виде следующей последовательности действий:

1) определение геометрических параметров, подлежащих оптимизации, и разработка на их основе в соответствии с планом проведения численного эксперимента геометрических моделей областей для расчета в них трехмерного вязкого течения с помощью программного комплекса FlowVision. Для решетки профилей расчетная область представляет собой профиль лопатки, помещенный в пространство, ограниченное поверхностями, проходящими со стороны спинки и корытца профиля посередине межлопаточного канала. На входе и выходе из решетки добавляются участки течения, ограниченные плоскостями, наклоненными к фронту решетки под углами, определяемыми углами входа и выхода потока, соответственно. Протяженность этих областей принимается кратной шагу исследуемой решетки. По высоте расчетная область ограничена внешним и внутренним меридиональными обводами проточной части. Каждый из обводов наклонен под углом γ к горизонтальной плоскости;

2) поскольку программный комплекс FlowVision не имеет встроенного графического редактора, то подготовка всех вариантов расчетных областей решеток профилей осуществляется в среде автоматизированного проектирования SolidWorks. Информация по геометрии профилей и границ расчетных областей подготавливается специально разработанными программами, реализующими методы моделирования кривых по заданному закону изменения их кривизны (линейному, квадратичному, кубическому) применительно к построению обводов профилей лопаток турбомашин [8, 9]. Закон изменения кривизны вдоль дуги обвода определяется заданными условиями моделирования профиля лопатки турбомашин;

3) выполнение газодинамических расчетов пространственного течения рабочего вещества, расчет коэффициентов потерь энергии решетки профилей или КПД ступени с учетом изменения параметров потока по высоте лопатки, получение аналитической зависимости целевой функции на основе аппроксимации гиперповерхности полиномиальной моделью второго порядка;

4) нахождение экстремума целевой функции и сочетания параметров, соответствующих минимуму потерь или максимуму КПД. Для решения этой части задачи используется генетический алгоритм.

На рис. 1 (слева), показана расчетная область для определения потерь в осевой решетке профилей. В центре рисунка виден профиль лопатки, построенной по трем сечениям: корневому, среднему и периферийному. Три плоскости на этом рисунке демонстрируют тот факт, что в меридиональном сечении канал имеет некоторый угол раскрытия проточной части.

На рис. 1 (справа) показан вид в плане расчетной области. Сопловая лопатка первой ступени турбины имеет угол входа близкий к 90° и постоянный угол выхода потока. Цифрами в порядке возрастания обозначены (снизу-вверх) корневое, среднее и периферийное сечения лопатки, по которым формировались поверхности спинки и корытца, а также входной и выходной кромок. Методика по-

строения расчетной области решетки для проведения расчетов пространственного течения во FlowVision приведена в работе [7].

Для относительно длинных лопаток количество контрольных сечений увеличивают до 7–9, что приводит к усложнению построения геометрической модели рабочей части лопатки, поскольку профили лопаток следует разместить таким образом, чтобы поверхности спинки, корытца, входной и выходной кромок были плавными. Волнистость этих поверхностей недопустима. При этом из прочностных соображений профили по высоте лопатки размещают с некоторым навалом в сторону спинки, чем достигается разгрузка газодинамических нагрузок, обусловленных перепадом давлений на спинке и корытце лопатки, действием центробежной силы. Для этого предварительно определяются площади плоских фигур, ограниченных профилями лопатки, их моменты площади и инерции, координаты центров тяжести.

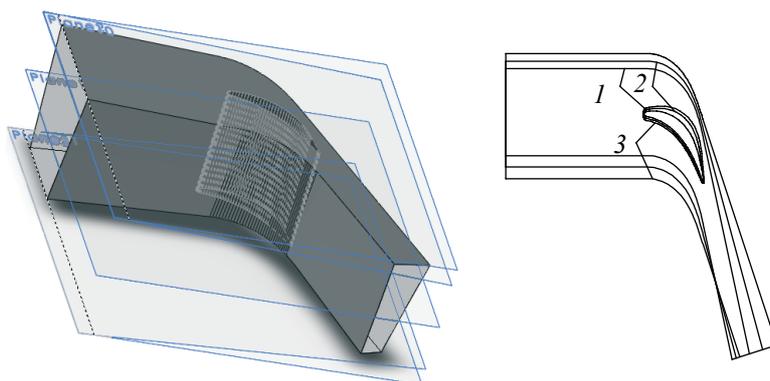


Рис. 1. Расчетная область

Как указывалось выше, полученная информация по геометрии лопатки используется в системе автоматизированного проектирования SolidWorks для получения твердотельной модели расчетной области, импортируемой затем программным комплексом FlowVision.

Газодинамический расчет вязкого пространственного течения рабочего вещества выполняется для модели полностью сжимаемой жидкости. Начальные значения температуры и давления принимаются из проектировочного расчета турбомшины и задаются во входном и выходном сечениях. Кроме этих, для рассматриваемого выше примера используются следующие граничные условия: «стенка» на лопатке и поверхностях, ограничивающих течение сверху и снизу, и «периодические» – для боковых поверхностей. На рис. 2 приведен пример разбивки расчетной области на ячейки. Для увеличения точности расчета количество ячеек можно увеличивать, ограничивающим фактором является объем оперативной памяти компьютера, измеряемой многими гигабайтами.

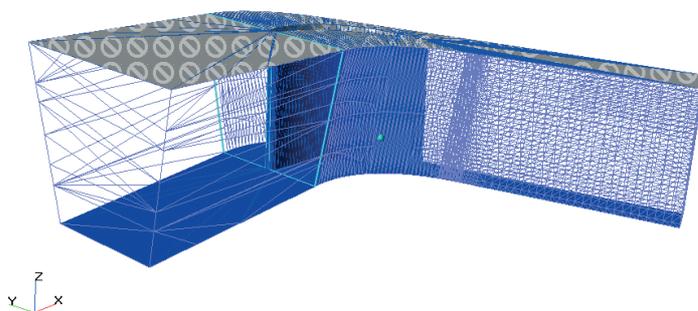


Рис. 2. Разбивка расчетной области на ячейки

Для качественной оценки результатов расчета на рис. 3 приведена картина течения, полученная визуализацией векторов скорости течения методом вспышек. На экране компьютера можно видеть частички, летящие с рассчитанной скоростью и оставляющие след соответствующей длины. Результаты, приведенные на рис. 3, полностью соответствуют характеру течения рабочей среды в канале проточной части турбины. Видно, что на спинке лопатки скорость заметно выше, нежели на корытце.

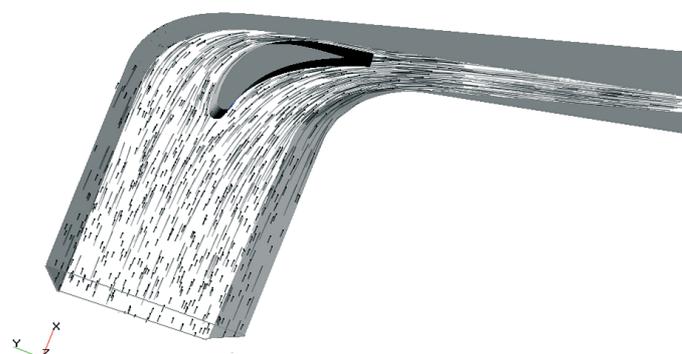


Рис. 3. Течение рабочего вещества

Программный комплекс FlowVision позволяет получать и количественные результаты в виде эпюр распределения скоростей, давлений, температур. После соответствующей обработки можно определить эффективные показатели решетки профилей или ступени в целом.

В работах [5, 6] приведены некоторые результаты совершенствования геометрии лопаточных аппаратов турбомашин на базе газодинамического расчета пространственного течения рабочего вещества.

На основании вышеизложенного можно утверждать, что успехи, достигнутые в прикладной геометрии в сфере моделирования плоских и пространственных кривых, генерации на их основе разнообразных поверхностей для различных технических объектов, применимы и при создании лопаточных аппаратов проточных частей турбомашин. Более того, роль геометрического моделирования трудно переоценить, если речь идет о создании современных высокоэффективных турбин и компрессоров промышленных и транспортных газотурбинных двигателей. Объединение усилий специалистов в прикладной геометрии и вычислительной газодинамики будет способствовать дальнейшему повышению эффективных показателей турбомашин различного целевого назначения.

Список использованных источников

1. Аэродинамический расчет и оптимальное проектирование проточной части турбомашин / А. В. Бойко, Ю. Н. Говорушенко, С. В. Ершов [и др.]. — Х. : НТУ ХПИ, 2002. — 356 с.
2. Епифанова В. И. Компрессорные и расширительные турбомашинны радиального типа / В. И. Епифанова. — М. : Изд-во МГТУ, 1998. — 624 с.
3. Кампти Н. Аэродинамика компрессоров : [пер. с англ.] / Н. Кампти. — М. : Мир, 2000. — 688 с.
4. Михайленко В. Є. Шляхи підвищення ефективних показників осьових і радіальних турбомашин / В. Є. Михайленко, С. А. Устенко // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — К. : КНУБА, 2009. — Вип. 81. — С. 3—10.
5. Vox G. E. P. Some new three level designs for study of quantitative variables / G. E. P. Vox, D. W. Behnken // Technometrics. — 1960. — Vol. 2, No 4. — P. 455—475.
6. Устенко С. А. Побудова обводів спинки та коритця профілів лопаток осьових турбін [Електронний ресурс] / С. А. Устенко // Вісник Національного університету кораблебудування. — Миколаїв : НУК, 2010. — № 2. — С. 84—88. — Режим доступу: <http://ev.nuos.edu.ua/content/10usalot>.
7. Устенко С. А. Удосконалення профілів лопаток осьових компресорів та побудова на їх основі геометричних моделей / С. А. Устенко // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — К. : КНУБА, 2010. — Вип. 85. — С. 221—226.
8. Устенко С. А. Побудова геометричної моделі плоского перерізу лопатки для газодинамічних розрахунків в системі FLOW VISION / С. А. Устенко // Праці Харківського державного університету харчування та торгівлі «Геометричне та комп'ютерне моделювання». — Х. : ХДУХТ, 2009. — Вип. 25. — С. 153—158.
9. Устенко С. А. Застосування геометричної моделі каналу решітки при обчисленні втрат енергії / С. А. Устенко // Прикладна геометрія та інженерна графіка. — К. : КНУБА, 2010. — Вип. 83. — С. 103—110.
10. Устенко С. А. Аналітичне подання залежності швидкісного коефіцієнта лопаткового апарату турбомашини від геометричних параметрів, що оптимізуються / С. А. Устенко // Вестник Херсонського національного технічного університету. Вип. 3 (39). — Херсон : ХНТУ, 2010. — С. 482—486.

Vsevolod MIKHAILENKO

Київ

Serhiy USTENKO

Mykolaiv

THE ROLE OF APPLIED GEOMETRY TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF PERFORMANCE OF TURBOMACHINERY

The role of applied geometry in solving problems related to improving the efficiency of turbomachinery, widely used in transportation energy, a variety of industries. Establish steps for solving the problem of optimization of the geometric parameters of turbomachinery blade devices (construction of geometrical models, the formation of the objective function, the optimization parameters), based on a gas-dynamic calculation of viscous working substance.

Key words: Applied geometry, effective indicators, turbomachine, blading, geometric parameters.

Всеволод МИХАЙЛЕНКО

м. Київ

Сергій УСТЕНКО

м. Миколаїв

РОЛЬ ПРИКЛАДНОЇ ГЕОМЕТРІЇ В ПІДВИЩЕННІ ЕФЕКТИВНИХ ПОКАЗНИКІВ ТУРБОМАШИН

Визначається роль прикладної геометрії у вирішенні проблеми, пов'язаної з підвищенням ефективності турбомашин, широко застосовуваних у транспортній енергетиці, різних галузях промисловості. Встановлення етапів вирішення задачі оптимізації геометричних параметрів лопаткових апаратів турбомашин (побудова геометричних моделей, формування цільової функції, оптимізація параметрів), що базується на газодинамічному розрахунку просторової течії в'язкої робочої речовини.

Ключові слова: прикладна геометрія, ефективні показники, турбомашинна, лопатковий апарат, геометричні параметри.

Стаття надійшла до редколегії 07.03.2016