

УДК 621.438

**Проектирование проточной части радиальной турбомашины с использованием
пакетов инженерного анализа и моделирования**

Киселёв Н.А.¹, Мячин К.В.², Перескоков Е.В.³

*^{1,2,3}Студенты, кафедра «Газотурбинные и нетрадиционные энергоустановки»
МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия*

*Научный руководитель: С.А. Бурцев
кандидат технических наук, доцент кафедры «Газотурбинные и нетрадиционные
энергоустановки» МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва, Россия*

МГТУ им. Н.Э. Баумана
Stul-007.5@mail.ru

Введение

Использование современных пакетов анализа и моделирования при проектировании значительно сокращает продолжительность этапа опытно-конструкторских разработок и позволяет применять накопленный опыт при создании образцов новой техники. Особенно этот подход бывает ценным, когда начинается разработка нового класса устройств (например, тригенерационных газотурбинных установок схемные решения которых представлены в работах [1, 2], а методика профилирования устройства газодинамической стратификации для повышения эффективности их работы в [3, 4]).

Описание работы

В данной работе рассматривается процесс автоматизации расчета, профилирования и создания моделей элементов проточной части радиальной турбомашины, позволяющий значительно сократить продолжительность процесса проектирования и получить изделие, наиболее полно отвечающее техническому заданию.

Исходными данными для проведения расчета является техническое задание на проектирование газотурбинной установки (ГТУ). Принятая последовательность проектирования ГТУ состоит из следующих этапов:

- 1) Определяются исходные данные для проектирования;
- 2) Рассчитывается цикл ГТУ [5] и определяются исходные данные для расчета элементов;
- 3) Расчет основных геометрических характеристик элементов ГТУ (ступеней компрессора и турбины [6], камеры сгорания, теплообменных аппаратов (ТОА) [7,8,9]
- 4) Моделирование элементов ГТУ [10,11];
- 5) Анализ элементов ГТУ (анализ напряженно-деформированного состояния полей скоростей, давлений и температур в проточной части [12,13,14].);
- 6) Оформление рабочих чертежей, разработка технологии изготовления деталей и узлов (программ для станков с ЧПУ и т.д.).

Автоматизация расчетов на этапах 1-3 проводится на основе данного подхода к проектированию; затем создаются параметризованные 3-D модели элементов ГТУ (этап 4), оптимально отвечающие всем конструктивным требованиям, предъявляемым к данному классу изделий. Этапы анализа (этап 5) и технологической проработки деталей (этап 6) в данной работе не рассматриваются.

При расчете параметров ступеней компрессора и турбины определяются оптимальная геометрия рабочих колес (рисунок 1) и выполняется профилирование всех элементов ступени. Профилирование рабочего колеса (РК) центробежной турбины (ЦСТ) рассмотрено в работе [15,16]; создание модели колеса центробежного компрессора (ЦБК) выполнено на базе трехмерного профилирования с учетом соответствующих рекомендаций (методика, изложенная в работе [17] и подтвержденная в работе [18]). Параметризованные модели ступеней ЦБК и ЦСТ создаются с учетом геометрии спроектированных колес. Пример полученной геометрии проточной части ступени компрессора и турбины представлены на рисунке 2.

При расчете теплообменного аппарата определяются оптимальная геометрия поверхностей теплообмена, а также выбираются его габаритные размеры и размеры подводящих и отводящих патрубков. Создаются параметризованные модели элементов ТОА и проводится автоматизация расчета. Пример геометрии поверхностей теплообмена представлена на рисунке 3.

Получаемая в процессе профилирования проточная часть ГТУ может уточняться (или – при необходимости – полностью перестраиваться) путем изменения наборов входных газодинамических и конструкторских параметров. Обновление расчета и моделей занимает значительно меньшее время, чем процесс проектирования «вручную», что позволяет получить модель проточной части, наиболее полно удовлетворяющую всем требованиям, актуальным для радиальных турбомашин.

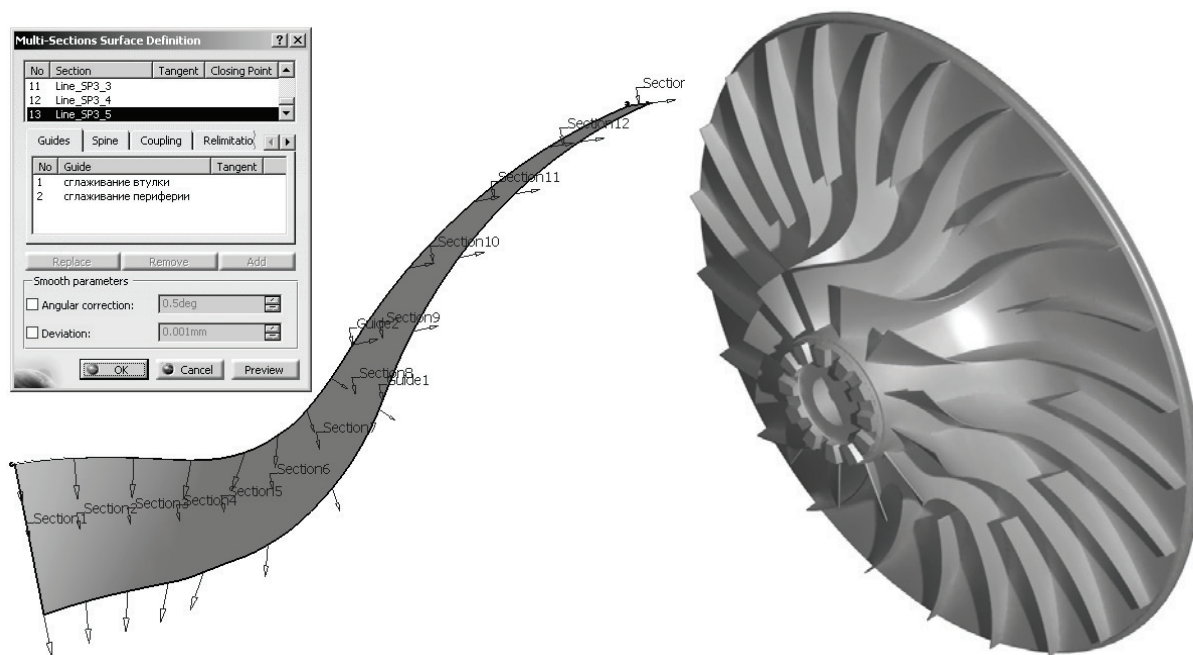


Рис. 1. Профилирование РК ЦБК

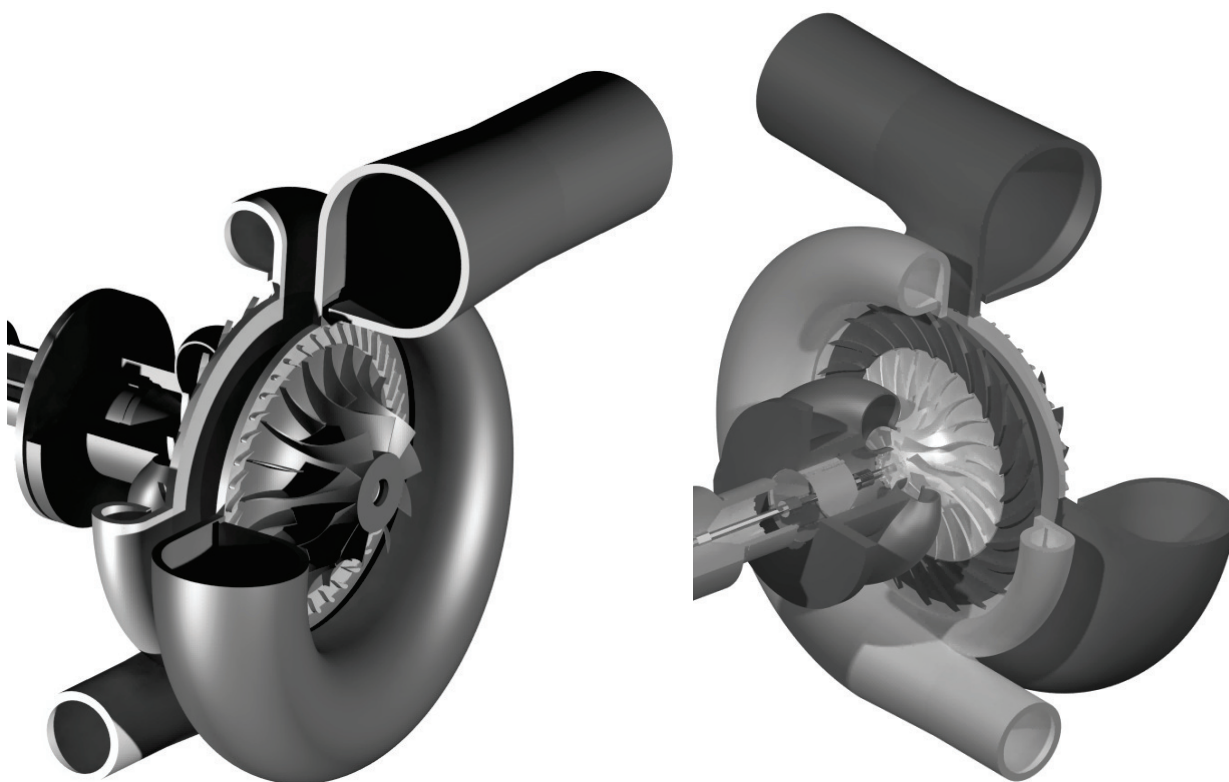


Рис. 2. Элементы проточной части ГТУ – ступени ЦБК и ЦБС

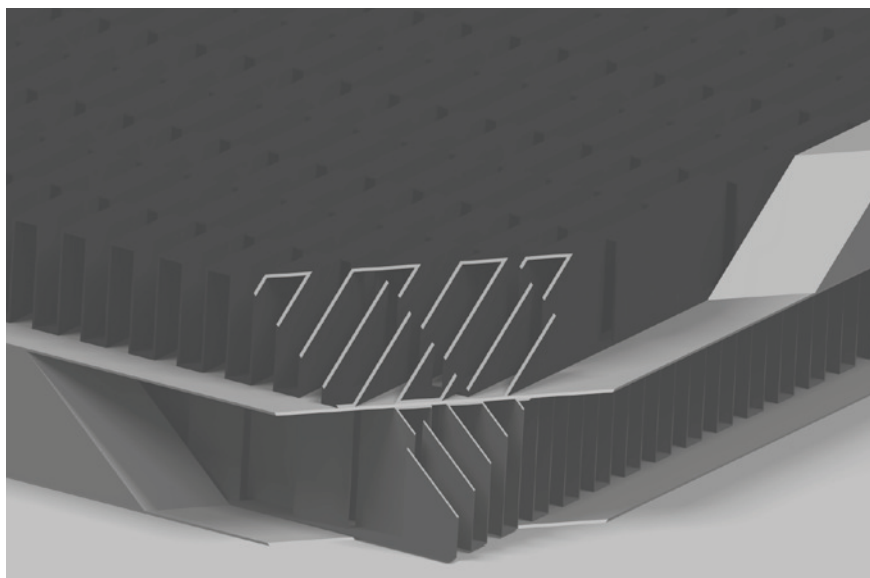


Рис. 3. Пластинчато-ребристые поверхности теплообмена

Результаты

В ходе выполнения данной работы были получены методики расчета и профилирования 3D-моделей проточной части, позволяющие автоматизировать процесс проектирования радиальной турбомшины и, после выполнения конструкторской проработки, проводить различные расчеты (оценку массы, различных геометрических и динамических характеристик, прочности и т.д.) и создавать технологию изготовления и сборки различных составляющих ГТУ

Дальнейшее развитие работы

Следующим (после профилированием проточной части ГТУ) этапом является моделирование всей установки в целом (подшипниковых узлов, корпуса и т.д.). В ходе данной проработки можно провести анализ различных деталей и узлов (например, провести частотный анализ элементов ротора ГТУ, представленного на рисунке 4).

После создания элементов установки проводится их анализ и уточнение геометрических размеров для получения моделей, отвечающих всем предъявляемым к турбомашине требованиям и стандартам. Выполняются прочностные (моделирование теплонапряженного состояния, частотный анализ и пр.) и газодинамические анализы. Оформляются рабочие чертежи и технологические карты изготовления деталей установки.

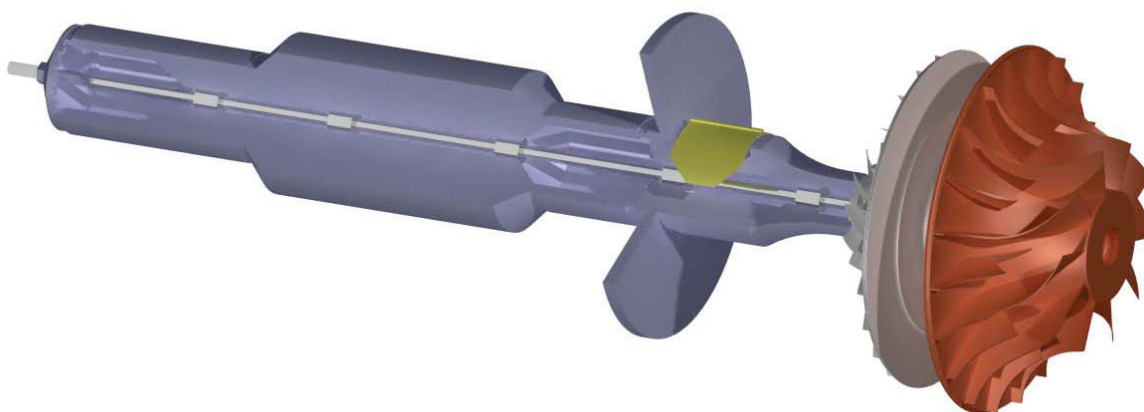


Рис. 4. Ротор ГТУ

При необходимости более детального изучения модели в современных пакетах инженерного анализа возможно экспортирование модели в сторонние САЕ-пакеты, что позволяет проводить любые дальнейшие исследования.

Список литературы

- 1) Арбеков А.Н., Бурцев С.А. Исследование цикла замкнутой газотурбинной тригенерационной установки параллельной схемы // Тепловые процессы в технике. 2012. Т. 4 № 7. С. 326-331.
- 2) Арбеков А.Н., Бурцев С.А. Исследование цикла замкнутой газотурбинной тригенерационной установки последовательной схемы // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 3. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/359008.html> (дата обращения 12.09.2012).
- 2) Бурцев С.А. Исследование температурной стратификации газа // Вестник МГТУ. Машиностроение. – 1998. № 2. – С. 65-72.
- 3) Бурцев С.А. Оптимизация геометрии сверхзвукового канала в устройстве для энергоразделения // Вестник МГТУ. Машиностроение. – 1999. № 2. – С. 48-54.
- 4) Михальцев В.Е., Моляков В.Д. - Расчет цикла газотурбинной установки: Учеб. пособие / Под ред. И.Г. Суровцева. - М., Изд-во МГТУ, 2000, - 32 с.
- 5) Михальцев В.Е., Моляков В.Д. - Теория проектирование газовой турбины: Учеб. пособие по курсу "Лопаточные машины газотурбинных и комбинированных установок". - Ч.2: Теория и проектирование многоступенчатой газовой турбины / Под ред. М.И. Осипова. - М., Изд-во МГТУ, 2008. - 116 с.

- 6) Иванов В.Л., А.И. Леонтьев, Э.А. Манушин, М.И. Осипов - Теплообменные аппараты и системы охлаждения газотурбинных и комбинированных установок: Учебник для ВУЗов / Под ред. А.И. Леонтьева. - М., Изд-во МГТУ, 2003, 592 с.
- 7) В.М. Кейс, А.Л. Лондон - Компактные теплообменники. Изд-во "Энергия", 1967, 224 с.
- 8) В.Л. Иванов - Методы расчетов теплообменных аппаратов газотурбинных установок. Изд-во МГТУ, 1989, 22 с.
- 9) Киселёв Н.А. - Автоматизированное проектирование проточной части рабочего колеса радиальной турбины в программном комплексе CATIA. Сборник статей Молодежной научно-инженерной выставки «Политехника» - 2011. МГТУ им. Н.Э. Баумана/ М.: НТА «АПФН», 2011, с. 111 - 120.
- 10) Киселёв Н.А. - Прочностной анализ рабочего колеса центростремительной турбины. Сборник статей докладов участников общеуниверситетской научно-технической конференции «Студенческая научная весна – 2012», посвященной 165-летию Н.Е. Жуковского, 02-29 апреля 2012 г. Том XII, часть 3, С. 132-138
- 11) Киселев Н.А., - Автоматизированное проектирование проточной части ступени радиальной турбины в программном комплексе CATIA. Сборник статей докладов участников общеуниверситетской научно-технической конференции «Студенческая научная весна – 2012», посвященной 165-летию Н.Е. Жуковского, 02-29 апреля 2012 г. Том XII, часть 3, С. 138-144.
- 12) Киселёв Н.А., Мячин К.В. - Моделирование сборки ротора с использованием пользовательский примитивов. Сборник трудов пятой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов "будущее машиностроения России". Москва, 26-29 сентября 2012, с. 158 - 159.
- 13) Киселёв Н.А., Перескоков - Анализ напряженно-деформированного состояния рабочего колеса центростремительной турбины в зависимости от его геометрии. Е.В.Сборник трудов пятой Всероссийской конференции молодых ученых и специалистов "будущее машиностроения России". Москва, 26-29 сентября 2012, с. 161-162.
- 14) Шерстюк А.Н., Зарянкин А.Е. - Радиально-осевые турбины малой мощности: М., Машиностроение, 1976, -207 с.
- 15) Митрохин В.Т. - Выбор параметров и расчет центростремительной турбины. М., изд-во Машиностроение, 1966, 200с.
- 16) Бекнев В.С., Куфтов А.Ф., Тумашев Р.З.: Расчет и проектирование центробежных компрессоров ГТД: Методические указания. М., Изд-во МГТУ, 1996, 44 с.

17) Арбеков А.Н., Новицкий Б.Б. Экспериментальное исследование характеристик ступени малоразмерного центробежного компрессора // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. № 8. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/432308.html>. (дата обращения 12.09.2012).