

В СПбПУ Петра Великого на кафедре Турбины, гидромашин и авиационные двигатели под руководством доцента Ракова Г.Л. ведутся работы по модернизации осевых ступеней МРТ с осесимметричными соплами. Трёхмерные газодинамические расчеты соплового аппарата с модернизированной входной частью в программном комплексе ANSYS показали минимизацию потерь кинетической энергии во входной части сопел. Рисунок 4 демонстрирует практическое отсутствие вихревых зон при тангенциальном движении рабочего тела в кольцевом патрубке. Анализ варианта входной части соплового аппарата [5], и новый опыт, приобретенный в процессе численного моделирования потоков на входе в сопловой аппарат, выполненный в рамках НИРС, позволили выработать новый принцип формирования входной части соплового аппарата, рисунок 5.

*Выводы.* Работа, выполненная в рамках НИРС и выпускных работ студентов, подтвердила перспективность проектирования входной части сопловых аппаратов ступеней МРТ новым методом и необходимость проведения более детальных численных и физических экспериментов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Виноградов Л.В. Исследование сверхзвуковых осесимметричных сопел и аппаратов турбины. – М., 1975. – 153 с.
2. Власов Е.Н., Тихонов А.А. и др. Исследование влияния степени перерезывания сверхзвуковых осесимметричных сопел на экономичность турбинной ступени. Изв. Вузов. Серия «Машиностроение», № 9, 1975, с. 119 – 123.
3. Кириллов И.И. Теория турбомашин. Л.: Машиностроение, 1972 533 с.
4. Наталевич А.С. Воздушные микротурбины / 2-е изд., перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1979. 192 с.
5. Раков Г.Л. Аэродинамическое совершенствование малорасходных турбин: Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук. – Л.: ЛПИ, 1982. – 137 с.

УДК 625.855.3

А.О. Колисанов, Е.Ю. Семакина  
Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ЗАМКНУТЫЙ ЦИКЛ ОПТИМИЗАЦИОННЫХ РАСЧЕТОВ ТУРБИННОЙ РЕШЕТКИ В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ NUMECA FINE/TURBO

*Введение.* Программный комплекс NUMECA FINE/Turbo [1] предназначен для расчёта и анализа течений в элементах лопаточных машин, которыми могут быть многоступенчатые осевые, радиальные и смешанные компрессоры, турбины, насосы, вентиляторы, а также улитки, диффузоры, теплообменники и выхлопные системы. Данный комплекс актуален для турбомашиностроения ввиду его простоты в генерировании сеток лопаточных машин, а также наличия замкнутого цикла оптимизации при небольшой трудоёмкости.

*Цель работы* – показать актуальность и преимущества программного комплекса Numeca FINE/Turbo применительно к турбомашиностроению и разработать алгоритм реализации замкнутого оптимизационного цикла оптимизации турбинной решетки.

*Структура и функциональные возможности пакета.* Структура комплекса FINE/Turbo представлена следующими модулями:

- *AutoBlade* – параметрический генератор лопаточных венцов;
- *AutoGrid* – параметрический блочно-структурированный автоматический сеточный генератор для лопаточных машин;
- *IGG* – блочно-структурированный сеточный генератор для произвольной геометрии;
- *Euranius* – структурированный 3D решатель уравнений Навье-Стокса;

- *CFView* – постпроцессор.

*AutoBlade* позволяет быстро создавать и мгновенно модернизировать проточную часть турбомашин, работая при этом в терминах турбомашиностроения. *AutoGrid* неразрывно связан с *AutoBlade*. Такая связь позволяет параметризовать не только геометрическую, но и сеточную модель, что в свою очередь даёт возможность встроить программный комплекс *NUMECA* в общую систему проектирования всего предприятия. *AutoGrid* может создавать параметрические сеточные модели лопаток с учётом всех особенностей их газодинамики [2]. Связь *AutoBlade* и *AutoGrid* даёт большое преимущество по отношению к другим программным комплексам, т.к. при изменении геометрии сетка перестраивается автоматически, что даёт экономию во временном ресурсе и трудоёмкости, а также облегчает процесс оптимизации.

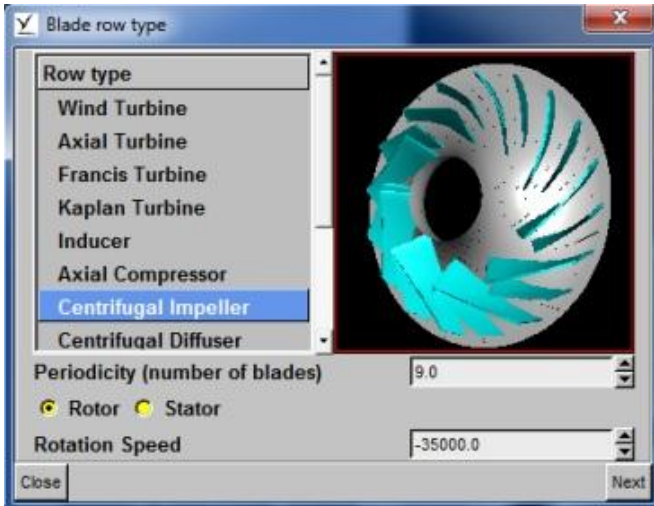


Рис. 1 Визард «Тип лопаточного аппарата»

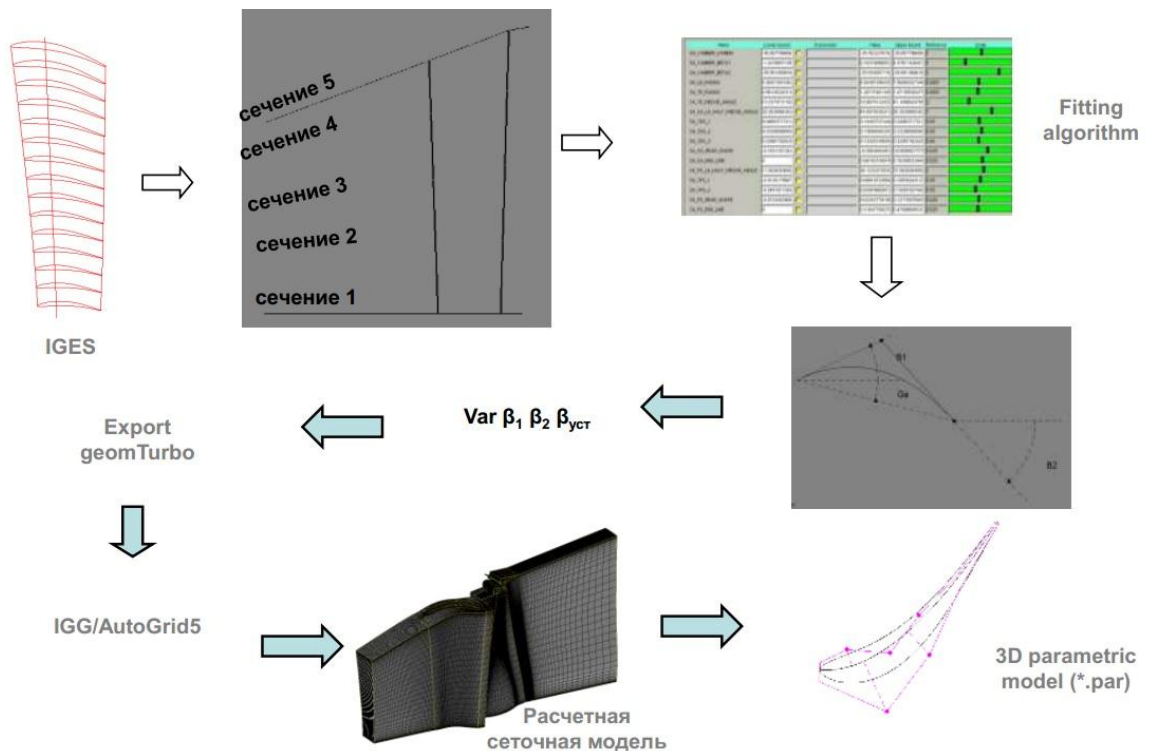


Рис. 2. Алгоритм замкнутого цикла оптимизационного *CFD* исследования

*AutoBlade* предоставляет возможность импортирования геометрии из других *CAD* комплексов с расширениями *IGES*, *Parasolid* и *geomTurbo*. С помощью *Fitting Control* импортированная геометрия становится параметризованной [3].

Расчётная сетка проточной части любого типа лопаточных машин строится с помощью специального Визарда в автоматическом режиме (см. рис.1). Таким образом, при минимальном участии ручного труда обеспечивается генерация высококачественной расчётной сетки на широкой базе сеточных шаблонов.

*Алгоритм замкнутого цикла оптимизационного CFD исследования.* Одним из больших преимуществ программного комплекса *NUMECA FINE/Turbo* является возможность организации замкнутого цикла оптимизации в рамках одного пакета. Это устраняет трудности, связанные с проблемами совместимости и точности при экспорте/импорте данных.

Схема алгоритма замкнутого цикла оптимизационного численного исследования представлена на рис. 2. Первым производится создание расчётной модели, после чего параметризованная модель, полученная на выходе из модуля *AutoGrid*, передается в модуль *FineTurbo*, где накладываются граничные условия и происходит моделирование течения рабочего тела. Далее производится оптимизация параметрической модели [4]. За счёт того, что сетка перестраивается автоматически при изменении геометрии, оптимизационный процесс становится менее трудоёмким и занимает немного времени.

*Вывод.* На основе представления о функциональных возможностях программного комплекса *NUMECA FINE/Turbo*, разработан алгоритм замкнутого оптимизационного цикла расчета турбинных решеток.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *NUMECA INTERNATIONAL* [Электронный ресурс]. – Электронные данные. – *Belgium*. – Режим доступа: <http://www.numeca.com/en/products/finetmturbo>, свободный.
2. Дейч М.Е. Газодинамика решёток турбомашин. – Москва: Энергоатомиздат, 1996. – 528 с.
3. Воробьёв А.К. Оптимизация параметров профилей лопаток последней ступени турбины ГТД: автореф. – Санкт-Петербург. – 12 с.
4. Лапшин К.Л. Оптимизация проточных частей паровых и газовых турбин [Электронный ресурс]: [монография]/ К.Л. Лапшин; Санкт-Петербургский государственный политехнический университет. – Электрон. текстовые дан. – Санкт-Петербург, 2013. – Режим доступа: <http://elib.spbstu.ru/dl/2/3476.pdf/view>, свободный.

УДК 621.165

В.В. Усенко, А.И. Суханов

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

#### ДИАГНОСТИКА ЗАДЕВАНИЙ В КОНЦЕВЫХ УПЛОТНЕНИЯХ ПАРОВЫХ ТУРБИН

Широкое использование лабиринтных уплотнений в турбинах определяет важность диагностики состояния этих уплотнений [1]. Любые задевания в уплотнениях могут приводить к нарушению нормальной работы энергетической установки, поэтому устранение указанных задеваний являются важной и актуальной задачей.

Настоящая работа посвящена совершенствованию одного из способов диагностики уплотнений – диагностике на основе анализа звуковых возмущений (шума), возникающих при задеваниях ротором за сегмент уплотнения и распространяющихся в теле обоймы. Вопрос приобрел дополнительную актуальность в связи с тем, что при модернизации паровых