

Секция «Математика и механика»

Квазитрехмерная модель течения в программах Метода универсального моделирования для газодинамического проектирования центробежных компрессорных ступеней

Дроздов Александр Александрович

Аспирант

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет, Институт энергетики и транспортных систем, Санкт-Петербург, Россия

E-mail: A_drozdi@mail.ru

Центробежные компрессоры применяются для обеспечения многих производственных процессов. Они используются в доменном производстве, производстве аммиачных удобрений, пластмасс, получении продуктов нефтехимии и т.п. Центробежные компрессоры потребляют значительное количество энергии, затрачиваемой на их привод. Таким образом, проблема оптимального проектирования центробежных компрессоров имеет очень большое значение. Для решения проблемы быстрого и достоверного определения характеристик компрессора был создан метод оптимального газодинамического проектирования. Он является результатом обобщения и анализа большого объема экспериментальных данных, накопленных на кафедре «Компрессорная, вакуумная и холодильная техника» СПбГПУ (кафедра КВХТ). Комплекс соответствующих компьютерных программ получил название Метод универсального моделирования [3,2]. Он позволяет решать вопросы расчета параметров потока в одномерной постановке и является так называемой программой первого уровня. Программы второго уровня рассчитывают параметры потока в рабочем колесе ЦК в квазитрехмерной постановке, разбивая проточную часть РК на сетку из квазиортогоналей и линий тока. Однако быстродействие программ второго уровня не позволяет в полной мере эффективно и быстро решать проблемы оптимизации проточной части. В связи с этим было принято решение о применении элементов квазитрехмерного расчета в программе первого уровня.

Широкое применение в конструкциях современных компрессоров осерадиальных рабочих колес (ОРК), имеющих ряд особенностей по сравнению с обычными радиальными рабочими колесами (РК), вызывает необходимость вносить корректировки в расчетный алгоритм пакета программ Метода универсального моделирования. Значительная высота лопаток ОРК, а так же высокие коэффициенты напора и расхода приводят к значительной неравномерности параметров потока по высоте лопатки. Геометрия рабочих колес так же гораздо более сложная по сравнению с геометрией радиальных колес. В частности имеет место значительное изменение углов установки лопатки на входе и выходе по её высоте.

Для решения этих, а так же некоторых других проблем корректного расчета ОРК, в модель 1-го уровня впервые внедрена методика квазитрехмерного расчета. Она подразумевает расчет параметров потока в РК на нескольких линиях тока по высоте лопатки. После определения параметров на выходе из РК производится их осреднение и дальнейший расчет неподвижных элементов проточной части ЦК производится на одной линии тока.

В новом расчетном алгоритме Метода универсального моделирования расчет параметров в рабочем колесе производится на пяти линиях тока по высоте лопатки. Это поз-

воляет не только более точно определять параметры в контрольных сечениях, но и учитывать неравномерность изменения параметров потока по высоте лопатки осерадиального колеса, особенно на входе, где высота лопаток значительная. Для этого проходное сечение РК на входе делится на пять кольцевых участков одинаковой площади, таким образом, массовый расход через каждый участок одинаковый. Это позволяет в дальнейшем легко осреднить параметры на выходе из рабочего колеса.

Лопаточные углы на входе на каждой линии тока рассчитываются из условия безударного обтекания, пользователь задает только величину угла лопатки на входе на периферийной линии тока $\beta_{л1s}$. Для остальных линий тока в случае сверхзвукового характера течения (при $\lambda_{w1i} \geq 1$) угол лопатки равен углу потока на входе в РК, так как сверхзвуковой поток не реагирует на возмущения, вносимые в него лопатками, расположенными ниже по течению (рисунок 1):

$$\beta_{л1i} = \beta_{1i}.$$

Вслучаееслискоростьпотокана входе в рабочее колесо меньше скорости звука ($\lambda_{w1i} < 1$), то при расчете угла безударного обтекания лопатки, необходимо учитывать стеснение потока лопатками РК и перестройки потока из-за разницы давлений на передней и задней поверхностях лопатки (рисунок 2):

$$\beta_{л1i} = \beta'_{1pci}.$$

Угол потока с учетом перестройки и стеснения определяется выражением [1]:

$$\beta'_{1pci} = \arctan \left(\frac{c'_{1i}}{u_{1i} - \Delta c_{u1i}} \right),$$

где Δc_{u1i} - перестройка потока на входе в лопаточную решетку РК.

Таким образом, определяются углы лопаток на входе в лопаточную решетку. Далее последовательно рассчитываются параметры во всех контрольных сечениях рабочего колеса. Учитывается возможность возникновения скачков уплотнения на той или иной линии тока. С учетом этого определяются параметры на выходе из РК и производится осреднение полученных параметров по высоте лопатки.

На выходе из рабочего колеса возможно задать линейное изменение угла лопатки по её высоте. Задаются значения углов у втулки $\beta_{л2h}$ и на периферии $\beta_{л2s}$, остальные значения углов рассчитываются по очевидным соотношениям для линейной зависимости.

Описанный подход позволяет учитывать различия параметров по высоте лопатки, в частности возникновение скачков уплотнения на периферийной поверхности тока и наличие дозвукового течения у втулки РК, что приводит к различным коэффициентам потерь для каждой линии тока.

Усовершенствования, внесенные в алгоритм расчет газодинамических характеристик ступени с известными размерами и начальными условиями, привели к увеличению точности и достоверности расчетных данных.

Литература

1. Галеркин Ю.Б. Турбокомпрессоры: учеб. пособие / Ю.Б. Галеркин, Л.И. Козаченко. – СПб – Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – 378 с.
2. Галеркин, Ю.Б., Солдатова, К.В. Моделирование рабочего процесса промышленных центробежных компрессоров. Научные основы, этапы развития, современное состояние. Монография. Изд-во Политехнического ун-та. – 2011. – С. 327.

3. Труды научной школы компрессоростроения СПбГПУ [Текст]/Под ред. Ю.Б.Галеркина. С-Пб.: 2010. – 670 с.

Слова благодарности

Хочу выразить свою благодарность своему научному руководителю: доктору технических наук, Юрий Борисовичу Галеркину.

Иллюстрации

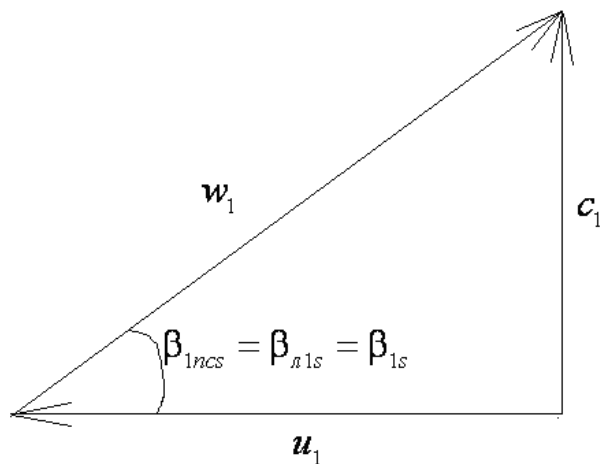


Рис. 1: Определение угла лопатки в случае сверхзвукового течения на входе в рабочее колесо

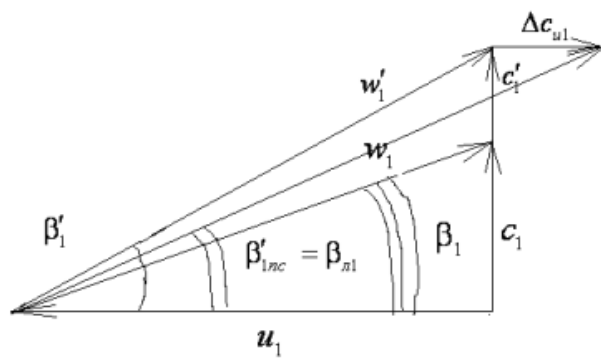


Рис. 2: Определение угла лопатки в случае дозвукового течения на входе в рабочее колесо