

УДК 621.515.001

К.Д.Авакян (6 курс,каф. КВиХТ), Ф.В.Малинин (6 курс,каф.КВиХТ),
Ю.Б.Галеркин, д.т.н., проф, А.Ю.Прокофьев, асс.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАММЫ FLUENT ДЛЯ РАСЧЁТА ТЕЧЕНИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ СТУПЕНИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Центробежные компрессоры относятся к машинам, получившим очень широкое применение в современной технике и промышленности. Они используются в химической, газовой и нефтяной промышленности, на магистральных газопроводах, в энергетике, машиностроении, металлургической и горнорудной промышленности, на строительстве, на железных дорогах и судах, в автомобильном и воздушном транспорте, в пищевой промышленности, холодильниках, установках глубокого холода и т.д. Таким образом, проблема оптимального проектирования центробежного компрессора имеет очень большое значение.

Кафедра компрессорной, вакуумной и холодильной техники СПбГТУ (далее кафедра КВХТ) на протяжении многих десятилетий занимается исследованием компрессоров динамического и объёмного действия. Получены важные теоретические результаты, созданы наиболее современные методы термогазодинамического проектирования. По проектам кафедры было построено и модернизировано большое количество центробежных компрессоров различного назначения, включая линейные и дожимные центробежные нагнетатели газоперекачивающих агрегатов.

При проектировании проточной части необходимо достигнуть двух целей: обеспечить заданное отношение давлений при заданном расходе газа и получить максимально возможный КПД (или выполнить какое-либо другое требование к характеристике компрессора, соответствующее заданию). Проточная часть при этом должна быть спроектирована с учётом ограничений прочностного, технологического или унификационного характера.

Неотъемлемой частью работы при проектировании является эксперимент, предполагающий значительные финансовые затраты и затраты времени на изготовление модельной ступени, многократной доработки, доводки проточной части для выявления оптимального варианта и повторные эксперименты. Изготовление и экспериментальная продувка альтернативных вариантов проточной части являются обычным способом поиска лучшего решения. Высокая стоимость экспериментов и значительные затраты времени на их подготовку и проведение ограничивают число сопоставляемых вариантов настолько, что эту процедуру нельзя рассматривать как процесс оптимизации.

Снижение себестоимости производства за счет уменьшения затрат на проектирование возможно путем использования методов математического моделирования газовых течений. В настоящее время существует уже целый ряд программ, позволяющих решать задачи расчёта течения потока в проточной части центробежного компрессора. Одной из таких программ является программа FLUENT, которая представляет особый интерес, поскольку позволяет смоделировать рабочий процесс в элементах компрессора, рассчитать его характеристики, определить любой параметр в любой точке проточной части. Подобные расчеты позволяют существенно снизить количество экспериментов при проектировании компрессора и тем самым снизить его себестоимость.

Таким образом, применение программы FLUENT позволит сотрудникам кафедры КВХТ повысить эффективность проектируемых проточных частей, одновременно снизив затраты на проектирование. FLUENT даёт возможность проанализировать структуру потока, и в случае обнаружения зон повышенных потерь (пики скорости у входных кромок

лопаточных аппаратов, отрывные зоны на поверхности лопаток и др.) попытаться внести в форму проточной части изменения, дающие положительный результат.

Для решения поставленной выше задачи следует быть уверенным, что расчет правильно отражает действительный характер течения. С этой целью расчеты следует сопоставлять с экспериментальными данными по уже имеющимся проточным частям. Сомнения в достоверности расчетов связаны с тем, что используемые в коммерческих пакетах уравнения движения вязкого потока включают эмпирические законы вязкости, которые не могут быть универсальными. Кроме того, результаты расчёта могут зависеть от выбора граничных условий, размера и формы элементов расчётной сетки и т.д.

На настоящий момент с помощью программы FLUENT выполняется расчет обтекания реально существующего центробежного рабочего колеса и обратно-направляющего аппарата. Для обоих элементов существуют экспериментальные данные, что позволит сравнить их с полученными при моделировании характеристиками, оценить возможности пакета FLUENT и соответствие результатов расчета действительной картине течения потока в рассматриваемых элементах. Интерес представляют не только интегральные характеристики колеса и обратно-направляющего аппарата, но и рассчитанная структура потока в элементах ступени. В ближайшее время расчёт будет завершён, после чего результаты расчёта будут сопоставлены с экспериментом.

Планируется сравнение экспериментальных характеристик данного рабочего колеса, таких как значения коэффициента напора, КПД, отношения давлений по статическим параметрам и параметрам торможения на разных режимах работы колеса с характеристиками, полученных с помощью программы FLUENT. Это позволит сделать вывод о целесообразности применения программы для расчета характеристик центробежного компрессора при проектировании, о величине возможного отклонения рассчитываемых характеристик от действительного.

В результате проделанных расчетов планируется проанализировать рассчитанную структуру потока. Интерес представляет наличие зон отрыва на задней и передней стороне лопатки, на основном и покрывающем диске рабочего колеса, имеется возможность сравнить результаты расчёта с полученными экспериментально результатами визуализации структуры потока в рассчитываемом рабочем колесе. Экспериментальная визуализация течения в колесе проводилась на кафедре КВХТ путём введения в проточную часть порошкового красителя, оседающего на стенке в зонах с низким уровнем касательных напряжений, т.е. в зонах отрыва.

Планируется проверить значение угла атаки при обтекании лопаток рабочего колеса на расчётном режиме работы и оценить справедливость выбора входного угла лопатки. Предполагается оценить также изменение угла атаки по высоте лопатки рабочего колеса, что позволит сделать вывод о совершенстве исполнения входной кромки и при необходимости дать рекомендации по её оптимизации.

Данные расчеты позволят также проанализировать картину течения в обратно-направляющем аппарате и выявить различные негативные явления. Сюда можно отнести отрыв на поверхности лопатки и пики скоростей у ее входной кромки, изменение угла атаки по высоте лопатки обратно-направляющего аппарата вследствие неравномерности потока после поворотного колена. Расчет позволит подобрать оптимальный входной угол лопатки.

Обратно-направляющий аппарат рассчитывается в двух вариантах. В первоначальном исполнении при экспериментах характеристика КПД ступени получилась заниженной. В результате уменьшения проходного сечения на входе в обратно-направляющий аппарат КПД увеличился. Это также планируется проследить в результате моделирования.

В расчетах предполагается использовать различные модели вязкости, разные варианты расчетной сетки, назначения граничных условий, и в результате этого, выбрать оптимальную методику расчёта. На основании проведённого исследования будет сделан окончательный вывод о целесообразности применения программы FLUENT для расчета течения в рабочем колесе и обратно-направляющем аппарате и поиска оптимальной формы этих элементов проточной части центробежного компрессора.