

УДК 621.4.621.58

Н.А.Лозовая (5 курс, каф. КВХТ), К.В.Солдатова (асп., каф. КВХТ),  
Ю.Б.Галёркин, д.т.н., проф., А.Ю.Прокофьев, к.т.н., доц.

## РАСЧЁТ ТЕЧЕНИЯ В ЗАЗОРЕ ПОКРЫВАЮЩЕГО ДИСКА И В ЛАБИРИНТНОМ УПЛОТНЕНИИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА

Кафедра компрессорной, вакуумной и холодильной техники СПбГПУ (кафедра КВХТ) на протяжении многих десятилетий занимается исследованием компрессоров динамического и объёмного действия. Получены важные теоретические результаты, созданы наиболее современные методы газодинамического проектирования.

Центробежные компрессоры применяются для обеспечения многих производственных процессов (доменного производства, производства аммиачных удобрений, пластмасс, получения продуктов нефтехимии и т. п.), при добыче нефти и газа, на магистральных газопроводах, для наддува двигателей внутреннего сгорания, в газотурбинных установках, для получения сжатого воздуха, имеющего силовое назначение (пневматический инструмент, молоты, прессы и т. д.). На привод центробежных компрессоров приходится значительная доля всей потребляемой энергии. Таким образом, проблема оптимального проектирования центробежных компрессоров имеет очень большое значение.

Развитие вычислительной техники сделало возможным применение новых методов проектирования компрессоров, использование которых ранее не представлялось возможным из-за значительной трудоёмкости расчётов. Сейчас при расчёте и проектировании центробежных компрессоров стали широко использоваться методы математического моделирования газовых течений. Эти методы обладают рядом существенных преимуществ по сравнению с другими методами. Методы математического моделирования позволяют провести количественную оценку совершенства проточной части компрессора, определить ее характеристики на различных режимах работы. При этом в отличие от экспериментального способа определения характеристик центробежной ступени, предполагающего значительные финансовые затраты и затраты времени на изготовление модельной ступени, проведение эксперимента, многократной доработки, доводки проточной части для выявления оптимального варианта и повторные эксперименты, метод математического моделирования требует значительно меньших затрат времени и денег. Безусловно, полностью отказаться от экспериментов нельзя, но сократить их количество возможно.

В настоящее время существует ряд коммерческих программ, позволяющих решать задачи вязкого сжимаемого течения, включая и задачи расчёта течения в проточной части центробежного компрессора (одной из таких программ является программа FLUENT).

Данная работа была проделана для изучения возможности применения программы FLUENT для совершенствования проточной части центробежных компрессоров, а именно, возможности визуализации картины движения газа в зазоре лабиринтного уплотнения. Также целью работы является рассмотрение течения в зазоре между корпусом и покрывающим диском и оценка трения в зазоре и определение величины массового расхода через зазор.

В качестве объекта исследования была рассмотрена малорасходная ступень 028 с расчётным значением условного коэффициента расхода  $\Phi_p = 0,028$ . Для таких малорасходных ступеней задача минимизации потерь дискового трения и протечек особенно важна, так как эти потери при малой расходности оказывают заметное влияние на КПД

рабочего колеса и всей ступени в целом.

Численный анализ выполнен в Центре Высокопроизводительных Вычислительных Кластерных Технологий СПбГПУ при консультациях проф. д.т.н. Н.Н. Шаброва, основываясь на результатах экспериментов, проведенных на кафедре Компрессоростроения Козаченко Л.И. и Зараевым В.И.

Область расчета, сечения входа и выхода и некоторые вспомогательные сечения показана на рис. 1. При расчёте использовались следующие исходные данные:

- рабочая среда – воздух, идеальный газ;
- режим течения – турбулентный, k-ε модель;
- стенки рабочего колеса и корпуса считаются адиабатными.

Результаты расчёта представлены на рис. 1. Массовый расчёт протечек  $\bar{m}_{np}$  определялся программой FLUENT непосредственно. Для определения величины мощности трения  $N_{mp}$  во FLUENT была введена пользовательская функция в интегральном виде

$$N_{mp} = \int_F dN_{mp} = \omega \int_F \tau_u r dF .$$

Расчёт коэффициента протечек выполнялся по формуле

$$\beta_{np} = \bar{m}_{np} / \bar{m}$$

Коэффициент потерь дискового трения рассчитывался как

$$\beta_{mp} = N_{mp} / N_m,$$

где  $N_m = \bar{m} \psi_m u_2^2$ .

Для сравнения, на график нанесена теоретическая зависимость, суммы коэффициентов протечек и трения, рассчитанная по эмпирической формуле

$$\beta_{mp} + \beta_{np} = \frac{0,0012}{\Phi} . \quad (*)$$

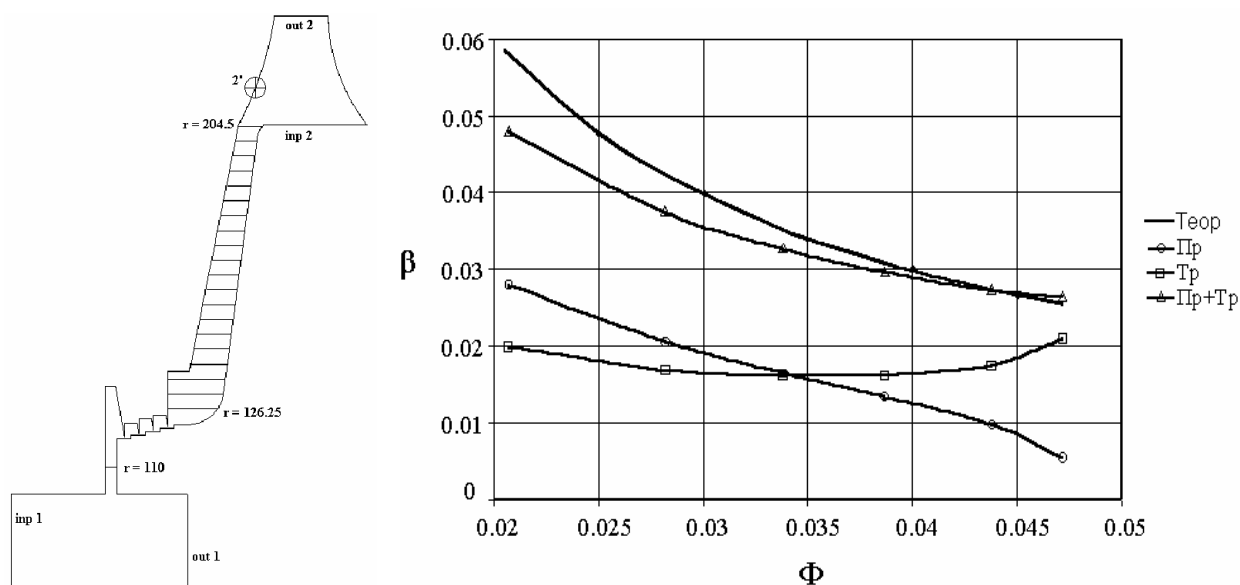


Рис. 1. Область расчёта (слева) и полученные зависимости коэффициентов дискового трения и протечек (справа).

Из представленного на рис. 1 графика видно, что результаты расчёта на FLUENT достаточно хорошо согласуются с эмпирической формулой (\*), выведенной на основании многочисленных опытов, и не вызывающей каких-либо сомнений. Наибольшее расхождение наблюдается в области наименьших расходов.

Как показала настоящая работа, существенный недостаток программ “вязких” расчетов, заключающийся в низком быстродействии этих программ, может быть в значительной степени преодолен за счет перехода к двумерной постановке. Безусловно, двумерная

постановка не может быть использована при расчете абсолютно всех элементов проточной части, но в тоже время для таких объектов как безлопаточный диффузор, поворотное колено, зазор между диском рабочего колеса и корпусом, лабиринтное уплотнение, она вполне применима.