

## ВЛИЯНИЕ УЧЁТА ТЕПЛОБМЕНА ПРИ РАСЧЁТАХ ЦЕНТРОБЕЖНОГО КОМПРЕССОРА НА СИЛЫ И МОМЕНТЫ

А.С. Муравейко<sup>1</sup>, Д.В. Ворошнин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ООО «НУМЕКА», Санкт-Петербург

### 1 Введение

Для корректной оценки осевых усилий и мощности в центробежных компрессорах необходимо моделировать течение в проточной части с учётом притрактовых полостей с лабиринтными уплотнениями, соответствующих задисковому пространству для любых типов колёс и полостей между покрывным диском и корпусом для закрытых колёс.

### 2 Результаты

В работе проведено моделирование центробежного компрессора с притрактовой полостью за колесом с лабиринтными уплотнениями (рис.1).

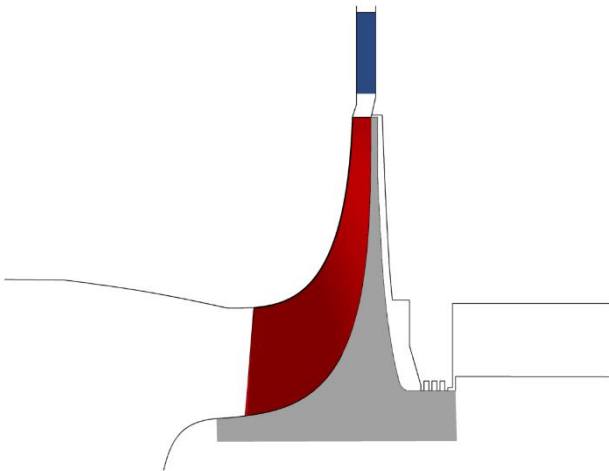


Рис. 1. Геометрическая модель компрессора

Граничные условия в расчётах – стандартные для турбомашин. В первой модели все стенки моделировались адиабатными. В ходе анализа результатов было замечено, что в полостях реализуется течение с экстремально высокими температурами (около 1000 К), которые совершенно не соответствуют реальным или предполагаемым.

Предложен ряд методов, направленных на уменьшение температуры, путём учёта теплообмена между потоком и твёрдыми телами в расчётной модели.

Особенностью рассматриваемого компрессора является водяное охлаждение корпусов, что требует знания дополнительных граничных условий. В

рассмотренной задаче для некоторых вариантов постановок задавалось распределение температур по задней стенке притрактовой полости.

На границе притрактовой полости присутствует сток, который моделируется граничным условием среднего статического давления (1 атм).

В итоге выполнены следующие расчёты компрессора:

- 1 Стандартная постановка с адиабатными стенками;
- 2 Постановка с моделированием твёрдых тел лопаток РК и диска РК, тело диска рабочего колеса было выполнено упрощённым (рис.1), коэффициент теплопроводности материала – 6.7 Вт/мК;
- 3 Постановка с заданием потока тепла по поверхности втулки и задней поверхности диска. Поток тепла задан профилем как функция радиуса, а для осевого участка полости как функция осевой координаты. Величины потока взяты на основе расчёта с моделированием сопряжённого теплообмена;
- 4 Постановка с заданием потока тепла по поверхности втулки и задней поверхности диска. Поток тепла задан профилем как функция радиуса, а для осевого участка полости как функция осевой координаты. Величины потока взяты на основе расчёта с моделированием сопряжённого теплообмена. Задание температуры стенок корпуса по полости (профиль по радиальной части 338 К – 346 К, 338 К – по осевой части);
- 5 Постановка с моделированием твёрдых тел лопаток РК и диска РК, тело диска рабочего колеса было выполнено упрощённым (рис.1), коэффициент теплопроводности материала – 6.7 Вт/м. Задание температуры стенок корпуса по полости (профиль по радиальной части 338 К – 346 К, 338 К – по осевой части). **Это наиболее корректная постановка с т.з. реальных физических процессов;**
- 6 Стандартная постановка с адиабатными стенками. Задание температуры стенок корпуса по полости (профиль по радиальной части 338 К – 346 К, 338 К – по осевой части).

Получены величины осевых сил и мощностей для всех указанных постановок (таблица 1). Мощность определена как произведение момента и угловой скорости. Осреднённые в окружном направлении поля температур представлены на рис.2.

Таблица 1 – Расчётные параметры для постановок

	Fz (H)	Pwr (Вт)
Adiabatic	-1623.5	-81559.7
CHT	-1265.9	-80878.1
Ht flx	-1328.8	-81163.2
Ht flx+T	-1125.2	-80892.7
CHT+T	-1174.3	-80866.4
Adiabatic + T	-1222.2	-80990.3

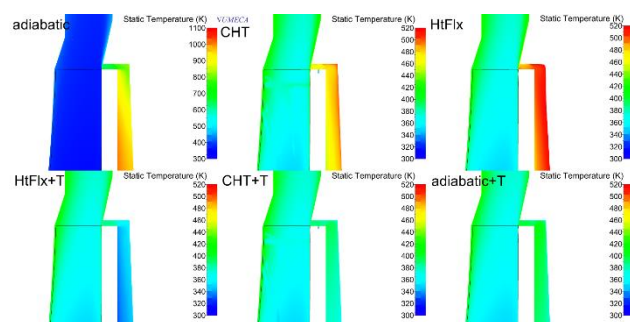


Рис. 2. Осреднённые поля температур. Для адиабатной постановки шкала шире по диапазону температур

Любой вариант постановки с теплообменом и/или заданием температур/потоков характеризуется существенно меньшими температурами, по сравнению с постановкой с адиабатными стенками. Меньшие температуры приводят к меньшим статическим давлениям и, как следствие, к иным значениям осевой силы. Мощность зависит от постановки в меньшей степени.

В полостях (не только в лабиринтных уплотнениях, а во всей полости) образуются обширные вихревые структуры, температура которых возрастает и из-за наличия адиабатных стенок: тепло не успевает сноситься отбираемым воздухом. При учёте теплообмена часть тепла отводится в твёрдые тела.

Для большего понимания процессов полости посчитаны отдельно. На входе задавались полное давление и температура, соответствующие выходу из РК, осевое направление потока. Все твёрдые поверхности – адиабатные. На входном осевом участке стенки не вращаются (рисунок 4). На выходе установлено среднее статическое давление (1 атм). Выполнен расчёт, в котором лабиринтные уплотнения были исключены из модели, при этом все граничные условия оставлены идентичными. Сопоставление полей температур для обоих вариантов представлено на рис.3. Вариант без уплотнений заметно холоднее варианта с уплотнениями. Больше зазор – больше

расход – больше тепла уносится. Таким образом ещё раз подтверждается корректность расчётных сверхвысоких температур в полостях при использовании адиабатных стенок. Т.е. температуры обусловлены наличием адиабатных стенок и ростом температуры вихревых структур при малом расходе воздуха через уплотнения.

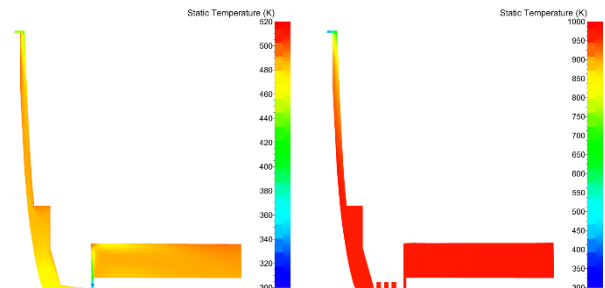


Рис. 3. Осреднённые поля температур

### 3 Заключение

Проведены расчёты компрессора с сопряжённым теплообменом и с неадиабатными стенками (задание теплового потока и температур по твёрдым поверхностям).

Расчётный нагрев воздуха до 1000K в полостях – следствие адиабатных стенок и малого расхода воздуха через уплотнения.

Осевые силы, в первую очередь, и мощность, во вторую, зависят от корректности моделирования температур в притрастовой полости.

Для получения наиболее корректных результатов по осевым силам и мощности необходимо учитывать теплообмен с диском РК и корпусами.

### Список использованных источников

- [1] Кампти, Н. Аэродинамика компрессоров Текст. / Н. Кампти.- М.: Мир, перевод под ред. Ф. Ш. Гельмедова, 2000.
- [2] Japikse D. Nicholas C. Baines "Introduction to Turbomachinery", Concepts ETI, Inc., 1997
- [3] C. Hirsch, Numerical Computation of Internal & External Flows: the Fundamentals of Computational Fluid Dynamics, 2nd ed. Butterworth-Heinemann (Elsevier), 2007.